

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON ADITIVO BIOCEC
PARA LAS DEFORMACIONES DE LAS VÍAS NO
PAVIMENTADAS EN ALTO LOCUMBA, TACNA, 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. JACKELYN JANETH CHÁVEZ CHAMBILLA

Bach. MARITZA CLAUDIA GOMEZ CONDORI

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON ADITIVO BIOCEC
PARA LAS DEFORMACIONES DE LAS VÍAS NO
PAVIMENTADAS EN ALTO LOCUMBA, TACNA, 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 13 de noviembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

SECRETARIA : Mtra. ELIANA NANCY CHAMBILLA VELO

VOCAL : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

ASESORA : Mtra. ELVIRA ALVARADO AMONES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotras, Jackelyn Janeth Chávez Chambilla y Maritza Claudia Gomez Condori, egresadas, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificadas con DNI 75384214 y 71575263 respectivamente, así como Elvira Alvarado Amones con DNI 00507163; declaramos en calidad de autores y asesora que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: “*Mejoramiento de la subrasante con aditivo BioCEC para las deformaciones de las vías no pavimentadas en Alto Locumba, Tacna, 2023*”, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

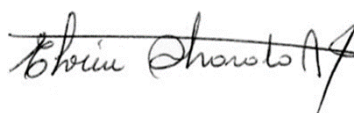
Tacna, 13 de noviembre de 2023



Jackelyn Janeth Chávez Chambilla
DNI: 75384214



Maritza Claudia Gomez Condori
DNI: 71575263



Elvira Alvarado Amones
DNI: 00507163

DEDICATORIA

A Dios, mi guía constante y fuente de fortaleza, y a mi querida familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental en cada etapa de este camino. Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis.

Jackelyn Janeth Chávez Chambilla

Dedico esta tesis a mi hijo Aarón por ser la razón y fuerza que me impulsa a no rendirme, a mi madre por ser un ejemplo de superación y por su apoyo constante en los momentos más difíciles de mi vida y a mi hermana y hermano por sus consejos y por estar allí apoyándome incondicionalmente.

Maritza Claudia Gomez Condori

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien nos ha guiado y dado fuerzas en cada etapa de nuestras vidas. A nuestras familias, que siempre han estado ahí en los momentos difíciles.

Agradecemos mucho a nuestra asesora, Mtra. Elvira Alvarado Amones, por su apoyo. También queremos reconocer a todos nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes nos brindaron las habilidades esenciales para superar los desafíos de esta investigación.

Con gratitud, dedicamos este trabajo a todos los que han contribuido a nuestro crecimiento académico y personal.

Jackelyn Janeth Chávez Chambilla

Maritza Claudia Gomez Condori

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Formulación del problema	6
1.2.1 Problema general.....	6
1.2.2 Problemas Específicos	6
1.3 Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Hipótesis.....	7
1.5.1 Hipótesis general	7
1.5.2 Hipótesis específicas	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	9
2.2 Bases teóricas	10
2.2.1 Estabilización de suelos.....	10
2.2.2 Método de estabilización	11
2.2.3 Estabilización química	11
2.2.4 Aditivo BioCEC	11
2.2.5 Ensayos de laboratorio	13
2.3 Definición de términos	19
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 Diseño de la investigación.....	21

3.2	Acciones y actividades	21
3.3	Técnicas e instrumentos.....	21
3.3.1	Técnicas.....	21
3.3.2	Instrumentos	21
3.4	Población y muestra de estudio	22
3.4.1	Población	22
3.4.2	Muestra de estudio	22
3.5	Operacionalización de variables.....	23
3.6	Procesamiento y análisis estadístico.....	23
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		24
4.1	Resultados del trabajo en campo	24
4.1.1	Ensayo con aditivo BIOCEC	28
4.2	Ensayos de mecánica de suelos	39
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		52
CONCLUSIONES		67
RECOMENDACIONES.....		68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		69
ANEXOS.....		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica del aditivo BioCEC	12
Tabla 2. Clasificación de los suelos según Índice de plasticidad.....	14
Tabla 3. Tamaños de mallas estándar en Estados Unidos.....	16
Tabla 4. Categorías de subrasante.....	19
Tabla 5. Técnicas, instrumentos y fuentes de información para la recolección de datos	22
Tabla 6. Operacionalización de variables	23
Tabla 7. Ensayo de Proctor Modificado	39
Tabla 8. Ensayo de Proctor Modificado con Aditivo BioCEC.....	40
Tabla 9. Ensayo de granulometría.....	42
Tabla 10. Ensayos de Límite de Atterberg.....	43
Tabla 11. Ensayos de Límite de Atterberg con Aditivo BioCEC	44
Tabla 12. Valores del CBR.....	45
Tabla 13. Porcentajes de reducción para 0,1”	47
Tabla 14. Porcentajes de reducción para 0,2”	47
Tabla 15. Porcentajes de expansión.....	48
Tabla 16. Valores del CBR con aditivo BioCEC.....	48
Tabla 17. Porcentajes de reducción para 0,1”	51
Tabla 18. Porcentajes de reducción para 0,2”	51
Tabla 19. Porcentajes de expansión.....	51
Tabla 20. Porcentajes de la reducción a la expansión del suelo natural y con aditivo BioCEC	53
Tabla 21. Densidad seca con 12 golpes	59
Tabla 22. Densidad seca con 25 golpes	59
Tabla 23. Densidad seca con 56 golpes	59
Tabla 24. Densidad seca con 12 golpes	60
Tabla 25. Densidad seca con 25 golpes	61
Tabla 26. Densidad seca con 56 golpes	61
Tabla 27. Densidad seca con aditivo BioCEC	64
Tabla 28. Cuadro comparativo con los valores del CBR	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía del área de estudio	3
Figura 2. Estado actual de esta vía.....	3
Figura 3. Grietas en pavimento y muros en zona posterior al coliseo	4
Figura 4. Grietas en pavimento en zona de muro de contención	4
Figura 5. Grietas en pavimento en la urbanización Nueva Locumba	5
Figura 6. Grietas en pavimento en Promuvi Señor de Locumba	5
Figura 7. Fotografía del área de estudio	24
Figura 8. Estado actual de esta vía.....	25
Figura 9. Tipo de Suelo Predominante en la vía.....	25
Figura 10. Tipo de Suelo Predominante en la vía.....	26
Figura 11. Ubicación de calicata.....	26
Figura 12. Calicata 01	27
Figura 13. Bloque de muestra de la calicata 01.....	27
Figura 14. Aditivo BioCEC	28
Figura 15. Succión del aditivo BioCEC	29
Figura 16. Mezcla del aditivo BioCEC y Agua desionizada	29
Figura 17. Incorporación de la solución BioCEC + Agua desionizada.....	30
Figura 18. Homogenización de la solución BioCEC + Agua desionizada.....	30
Figura 19. Aplicación de la muestra.....	31
Figura 20. Mezcla Homogénea.....	31
Figura 21. Saturación de la solución BioCEC + Agua desionizada	32
Figura 22. Decantación de la muestra saturada	32
Figura 23. Secado de la muestra con solución BioCEC + Agua desionizada	33
Figura 24. Peso de muestra para el ensayo de límite líquido	33
Figura 25. Humedecimiento de la muestra	34
Figura 26. Ensayo de Límite Líquido con aditivo BioCEC	34
Figura 27. Ensayo de Límite Plástico con aditivo BioCEC.....	35
Figura 28. Toma de muestra del ensayo de Límite Plástico con aditivo BioCEC	35
Figura 29. Preparación del material para el ensayo de Proctor modificado	36
Figura 30. Compactación del material con el pisón	36
Figura 31. Preparación de la muestra con aditivo BioCEC para el ensayo CBR.....	37
Figura 32. Compactación de la muestra	37
Figura 33. Muestras con aditivo BioCEC sumergidas en agua.....	38
Figura 34. Carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR.....	38

Figura 35. Curva de Compactación	39
Figura 36. Curva de Compactación con Aditivo BioCEC	40
Figura 37. Curva Granulométrica.....	41
Figura 38. Gráfico de Casagrande.....	43
Figura 39. Grafico de Casagrande de ensayo con Aditivo BioCEC.....	44
Figura 40. Gráfico de la determinación del CBR.....	45
Figura 41. Gráfico de Penetración CBR con 12 golpes	46
Figura 42. Gráfico de Penetración CBR con 25 golpes	46
Figura 43. Gráfico de Penetración CBR con 56 golpes	47
Figura 44. Determinación del CBR con aditivo BioCEC	49
Figura 45. Gráfico de Penetración CBR con 12 golpes con aditivo BioCEC	49
Figura 46. Gráfico de Penetración CBR con 25 golpes con aditivo BioCEC	50
Figura 47. Gráfico de Penetración CBR con 56 golpes con aditivo BioCEC	50
Figura 48. Grafico de la curva de compactación.....	52
Figura 49. Gráfico de Proctor modificado	53
Figura 50. Gráfico de expansión vs densidad con suelo natural y aditivo BioCEC	54
Figura 51. Gráfico de comparación del Límite Líquido	55
Figura 52. Gráfico de comparación del Límite Plástico.....	55
Figura 53. Gráfico de comparación de los índices de plasticidad.....	56
Figura 54. Gráfico de plasticidad del SUCS.....	57
Figura 55. Grafico comparativo del ensayo de Límites de Atterberg	58
Figura 56. Gráfico de Penetración CBR en suelo natural.....	60
Figura 57. Gráfico de Penetración CBR con aditivo BioCEC.....	62
Figura 58. Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 12 golpes.....	62
Figura 59. Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 25 golpes.....	63
Figura 60. Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 56 golpes.....	63
Figura 61. Gráfico comparativo del CBR con 0,1”	65
Figura 62. Gráfico comparativo del CBR con 0,2”	65

RESUMEN

La presente investigación titulada "Mejoramiento de la subrasante con aditivo BioCEC para las deformaciones de las vías no pavimentadas en Alto Locumba, Tacna, 2023", tiene como objetivo principal determinar la influencia del aditivo BioCEC en la subrasante de la vía no pavimentada en el distrito de Alto Locumba. Para llevar a cabo esta investigación aplicada, se realizaron Ensayos Granulometría, Límites Líquido y Plástico, Proctor y CBR con el fin de analizar la influencia del aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante. En los resultados se concluyó que el aditivo BioCEC influyó en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba, al disminuir la máxima densidad seca de $1,71 \text{ gr/cm}^3$ a $1,63 \text{ gr/cm}^3$ y el óptimo contenido de humedad de $17,60 \%$ a 17% , así mismo redujo la expansión del suelo entre 53% y 65% . En cuanto al índice de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba al reducirlo de 15% a 7% , lo cual genera que la clasificación AASHTO mejore de A-6 a A-4 y la SUCS cambie de arcilla de baja plasticidad (CL) a limo de baja plasticidad (ML). La resistencia de la subrasante en Alto Locumba con el aditivo BioCEC no mejora según el CBR al 100% de la máxima densidad seca con penetración de $0,1''$, sin embargo, en la gráfica esfuerzo deformación, aumenta considerablemente la pendiente, de $0,65 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ a $3,27 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ con 12 golpes y de $3,29 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ a $7,73 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ con 25 golpes. Los resultados muestran que el aditivo BioCEC mejora las propiedades físicas de la subrasante de Alto Locumba, reduciendo la plasticidad y la expansión del suelo, aunque no se reflejó una mejora directa en la resistencia según el ensayo del CBR.

Palabras clave: Aditivo BioCEC; influencia; estabilización.

ABSTRACT

The present research titled "Improvement of the subgrade with BioCEC additive for the deformations of unpaved roads in Alto Locumba, Tacna, 2023", has as its main objective to determine the influence of the BioCEC additive on the subgrade of the unpaved roads in the district from Alto Locumba. To carry out this applied research, Granulometry, Liquid and Plastic Limits, Proctor and CBR Tests were carried out in order to analyze the influence of the BioCEC additive on the physical characteristics of the subgrade. The results concluded that the BioCEC additive influenced the physical characteristics of the subgrade in Alto Locumba, by decreasing the maximum dry density from 1,71 gr/cm³ to 1,63 gr/cm³ and the optimal moisture content of 17,60 % to 17 %, and also reduced soil expansion between 53 % and 65 %. Regarding the plasticity index of the subgrade in Alto Locumba by reducing it from 15 % to 7 %, which causes the AASHTO classification to improve from A-6 to A-4 and the SUCS changes from low plasticity clay (CL) to low plasticity silt (ML). The resistance of the subgrade in Alto Locumba with the BioCEC additive does not improve according to the CBR at 100 % of the maximum dry density with penetration of 0,1", however, in the stress-strain graph, the slope increases considerably, of 0,65 kg/cm²/mm to 3,27 kg/cm²/mm with 12 blows and from 3,29 kg/cm²/mm to 7,73 kg/cm²/mm with 25 blows. The results show that the BioCEC additive improves the physical properties of the Alto Locumba subgrade, reducing the plasticity and expansion of the soil, although a direct improvement in resistance was not reflected according to the CBR test.

Keywords: BioCEC additive; influence; stabilization.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolló en la zona de Alto Locumba, la cual se ubica en el distrito de Locumba, en la Provincia de Jorge Basadre, en el departamento de Tacna. Esta área se destaca por la presencia de suelos compuestos principalmente por arcilla de baja plasticidad con arena, lo que los hace propensos a debilidades y daños. Estas particularidades han ocasionado un rápido deterioro en las vías, tanto las pavimentadas como las no pavimentadas. Considerando estos aspectos, se basó la investigación para la tesis.

Como objetivo principal de esta investigación fue evaluar la influencia del aditivo BioCEC en la mejora de la subrasante de la vía no pavimentada en la región de Alto Locumba. Para lograr este objetivo, se realizaron los ensayos de laboratorio de geotecnia diseñados específicamente para este propósito, para determinar cómo el aditivo BioCEC afecta a la subrasante de la vía no pavimentada en la región de Alto Locumba.

Esta investigación consiste de cinco capítulos principales. En el capítulo I, se aborda la descripción y formulación de la problemática de la investigación, junto con la justificación y la definición de los objetivos e hipótesis. En el capítulo II de marco teórico, se enfoca en la exposición de los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y definición de términos que resultaron relevantes para su desarrollo. En el capítulo III de marco metodológico, se proporcionan detalles sobre el tipo y diseño de la investigación, así como la población y la muestra de estudio, junto con la operacionalización de variables; luego se describen las técnicas e instrumentos utilizados para recopilar y procesar datos. En el capítulo IV se presentan los resultados del laboratorio de geotecnia de la investigación. En el capítulo V se lleva a cabo la discusión de estos resultados en relación con las hipótesis planteadas. Finalmente, se incluyen las conclusiones, recomendaciones y la lista de referencias bibliográficas correspondientes a la investigación, junto con los anexos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

En el Perú, la presencia de vías no pavimentadas representa un desafío importante para la movilidad y el desarrollo de diversas comunidades. Estas vías carecen de un revestimiento de pavimento, lo que resulta en superficies irregulares, baches y obstáculos que dificultan la circulación de vehículos y peatones. Esta situación afecta negativamente la accesibilidad a servicios básicos, el transporte de personas y mercancías, y limita las oportunidades de desarrollo económico en las áreas donde se encuentran estas vías. Además, las vías no pavimentadas son más susceptibles a los efectos de las condiciones climáticas, como las lluvias intensas, generando barro y dificultando aún más la circulación.

El Distrito de Locumba, se encuentra ubicado en la Provincia de Jorge Basadre, en el departamento de Tacna, se caracteriza por contar con suelos finos de limos y arcillas inorgánicas, con una mezcla de grava, arenas limosas y arcillosas. Con una composición que los hace susceptibles a debilidades y daños.

Los suelos expansivos, caracterizados por su contenido de limos y arcillas, presentan un potencial de expansión que puede ser influenciado por diversos factores, como la presencia de cargas superficiales, cambios en la humedad debido a lluvias, vegetación o limitaciones en la evaporación. Asimismo, el tipo de mineral arcilloso y los cationes de absorción también afectan la capacidad de expansión de las arcillas (Peralta, 2021).

Estas características del suelo han causado problemas de deformación en las vías de transporte, lo que ha llevado a un deterioro acelerado de vías no pavimentadas y pavimentadas. Estos problemas afectan la seguridad y comodidad de la población, ya que aumentan el riesgo de accidentes al no contar con vías en buen estado.

La zona de Alto Locumba, ubicada en el Distrito de Locumba, Provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna, consta de tres zonas: Asoc. de viv. Viña del Sur y Ampliación, Asentamiento Humano Urbanización Nuevo Locumba y Promuvi Señor de Locumba, por las cuales atraviesa la vía no pavimentada de 1,20 km que une la vía hacia Cinto con Alto Locumba y el Cementerio, según se aprecia en la figura 1.

Figura 1

Fotografía del área de estudio



Nota. Obtenido de Google Earth fotografía del 22 de junio de 2023.

En la figura 2 observamos el estado actual de la vía no pavimentada:

Figura 2

Estado actual de esta vía



Nota. Vía no pavimentada, fotografía de 22 de junio de 2023.

Al respecto, la Contraloría General de la República (2023) comunicó que las obras públicas en la zona de Alto Locumba como sus vías urbanas, coliseo, local comunal, colegio, y viviendas particulares tienen grietas, lo que afecta a la población en su conjunto, del panel fotográfico se aprecia que el pavimento con asfalto en frío tiene fisuras por deformaciones de la subrasante, según se aprecia en las figuras 3, 4, 5 y 6.

Figura 3

Grietas en pavimento y muros en zona posterior al coliseo



Nota. En la figura se observa grietas en pavimento y muros en zona posterior al coliseo.

Figura 4

Grietas en pavimento en zona de muro de contención



Nota. En la figura se muestra grietas en pavimento en zona de muro de contención.

Figura 5*Grietas en pavimento en la urbanización Nueva Locumba*

Nota. En la figura se observa Grietas en pavimento en la urbanización Nueva Locumba.

Figura 6*Grietas en pavimento en Promuvi Señor de Locumba*

Nota. En la figura se puede visualizar grietas en el pavimento del Promuvi Señor de Locumba.

Por ese motivo, con el objetivo de lograr una mejor calidad de vida de la población de Alto Locumba, esta investigación plantea analizar la utilización del aditivo BioCEC como solución para abordar los problemas en este tipo de vías no pavimentadas; así mismo, se busca encontrar alternativas que permitan resolver los problemas de deformación y brindar una infraestructura vial más segura y duradera, para evitar la deformación del suelo y grietas en la superficie de rodadura.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023?

1.2.2 Problemas Específicos

- a. ¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba?
- b. ¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en el índice de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba?
- c. ¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba?

1.3 Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación tiene como justificación, realizar la estabilización de suelos no pavimentados aplicando el aditivo BioCEC, para el mejoramiento de la subrasante en la zona de Alto Locumba, este aditivo es un producto químico líquido que aportaría resistencia, mejoraría la compactación e incrementaría el índice de plasticidad y con ello el pavimento tendría un funcionamiento óptimo durante toda su vida útil.

Actualmente las nuevas tecnologías de productos químicos estabilizadores para diversos tipos de suelos, llevan a la presente investigación emplear estas nuevas tecnologías a fin de mejorar la calidad del proceso constructivo del tratamiento del suelo en las vías de bajo volumen de tránsito beneficiando directamente a la población.

Desde el punto de vista social, la zona de Alto Locumba tiene vías no pavimentadas, lo cual genera un deficiente tránsito vehicular y peatonal, esta investigación contribuirá en mejorar la calidad de vida de la población y tránsito vehicular al proponer alternativas de mejoramiento de la subrasante con el aditivo BioCEC, para ayudar a un desplazamiento seguro y duradero en Alto Locumba.

Desde el punto de vista económico, al proponer una alternativa de mejoramiento de la subrasante de las vías no pavimentadas de la zona de Alto Locumba con el aditivo BioCEC contribuirá en futuras investigaciones o proyectos como alternativa de solución técnica – económica, para evitar mayores inversiones en la construcción y mantenimiento de la vía no pavimentada.

Desde el punto de vista científico, esta investigación analizará el comportamiento del suelo de subrasante desde sus características físicas, plásticas, de resistencia y deformaciones con la cantidad de aditivo BioCEC, y establecer la mejor mezcla.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la influencia del aditivo BioCEC en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia del aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba.
- b. Determinar la influencia del aditivo BioCEC en los índices de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba.
- c. Determinar la influencia del aditivo BioCEC en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El aditivo BioCEC influye en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023.

1.5.2 Hipótesis específicas

- a. El aditivo BioCEC influye significativamente en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba.
- b. El aditivo BioCEC influye en los índices de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba.
- c. El aditivo BioCEC influye en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Ramos & Lozano (2019) desarrollaron la tesis “Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos”, tuvo como objetivo establecer las características físicas y mecánicas mediante la utilización de cenizas de carbón y cal como aditivos alternativos. Concluyendo que para la estabilización del suelo la mejor mezcla en el caso de la cal, fue S90-C10 donde se empleó 90 % de caolín y 10 % de cal, debido a que esta mezcla fue la que mayor esfuerzo máximo soporto, en el caso de las cenizas la mejor mezcla fue S60-CCM40 donde se empleó 60% de caolín y 40 % de ceniza, ya que mejoro eficazmente el suelo base.

Abello et al. (2014) desarrollaron la investigación titulada “Formulación de criterios de estabilización de taludes compuestos por cenizas volcánicas mediante el tratamiento químico de los suelos”, que tuvo como objetivo investigar la potencial mejora de las propiedades físicas y químicas de los suelos compuestos por cenizas volcánicas mediante la aplicación de aditivos químicos adicionales. Como resultado, se concluyó que la resistencia del suelo varía en función del porcentaje de aditivo químico utilizado. Se encontró que la mezcla de cal con el suelo exhibió una mayor resistencia en comparación con la mezcla de silicato de sodio con el suelo. Los valores obtenidos para el esfuerzo máximo fueron de 1,0292 kg/cm² para la mezcla de silicato de sodio y 1,8765 kg/cm² para la mezcla de cal. Estos resultados respaldan la efectividad de la incorporación de aditivos químicos para mejorar la resistencia del suelo. Además, se observó que estos valores superaron el límite de resistencia máximo del suelo natural, que se registró en 0,6229 kg/cm².

En resumen, las mezclas de silicato de sodio y cal mostraron un aumento significativo en la resistencia en comparación con el suelo natural.

Rodríguez (2016) desarrollo la tesis “Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (TerraSil), de la vía ecológica del cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos”, que tuvo como objetivo analizar el uso de TerraSil como una alternativa para mejorar la calidad de la subrasante, determinar el porcentaje óptimo de TerraSil para estabilizar suelos arcillosos limosos, comparar los resultados obtenidos con el suelo natural y encontrar la mejor opción para estabilizar este tipo de suelo. Los hallazgos

concluyeron que el uso de TerraSil proporciona beneficios al hacer que el suelo sea impermeable, mejorando su resistencia y reduciendo la necesidad de utilizar material pétreo adicional. Se observó que el aditivo TerraSil redujo el contenido de humedad y la capacidad de absorción en un 27,86 % después de 7 días, tomando en consideración las condiciones climáticas específicas del área.

2.1.2 Antecedentes nacionales

De La Cruz & Salcedo (2016) desarrollaron la tesis “Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian - Huancayo - Junín”, donde se realizaron diversos de ensayos de suelos con el objetivo de examinar el impacto del aditivo en las propiedades físicas y mecánicas. Los resultados obtenidos permitieron llegar a la conclusión de que el aditivo Eco Road 2000 posee la capacidad de alterar tanto las características físicas y mecánicas del suelo. Esto se debe a la presencia de componentes en el aditivo que aceleran el proceso de expansión y contracción del suelo. Además, se observó que los suelos con una mayor cantidad de finos mostraron una mejor respuesta al aditivo Eco Road 2000, lo que resultó en una mejora en la estabilidad del suelo. El estudio demostró que el aditivo Eco Road 2000 tiene la capacidad de influir de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas en suelos cohesivos. Al contener componentes que aceleran los procesos de expansión y contracción, el aditivo logra contribuir un suelo más estable, principalmente en aquellos suelos con una mayor proporción de finos.

Estos hallazgos son relevantes en el ámbito de la pavimentación, ya que el uso del aditivo puede conducir a la formación de una base de suelo más resistente y duradera.

Ventura & Alarcón (2018) desarrollaron la tesis “Suelos arcillosos mejorados con Cemento y Aditivo Con-Aid, para la estabilización de la subrasante, camino vecinal Ruta PA-701, Pasco, 2018”, que tuvo como objetivo estabilizar la subrasante utilizando cemento y el aditivo Con-Aid con el fin de mejorar la resistencia, compresibilidad y reducir la permeabilidad del suelo. A través de una serie de ensayos realizados, se observó una mejora significativa en el Índice de Soporte California (CBR, por sus siglas en inglés) en el suelo tratado con una combinación de suelo natural, 8,4 % de cemento y 0,007 litros de aditivo Con-Aid. Específicamente, se logró un incremento del CBR en un 63 % en comparación con el suelo natural sin tratamiento. Concluyendo que los resultados obtenidos indican que el CBR se va incrementando de acuerdo al porcentaje de cemento utilizado en la mezcla y se mantiene constante la dosificación del aditivo

Con-Aid. Esto demuestra que la incorporación de cemento y el aditivo Con-Aid son efectivos para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso, incluyendo la resistencia y compresibilidad, así como para reducir su permeabilidad.

García (2015) desarrollo la tesis “Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca, 2015”, que tuvo como objetivo analizar los efectos de la cal en la resistencia y plasticidad del suelo en Cajamarca. Se visualiza que a medida que va incrementando el porcentaje de cal, aumentaba el valor de CBR. Concluyendo que la adición de cal estructural en suelos limo arcillosos mejora la resistencia de la subrasante, aumentando la capacidad de carga y la estabilidad del suelo. Además, la cal redujo la plasticidad del suelo, disminuyendo su susceptibilidad a los cambios de volumen.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estabilización de suelos

La estabilización del suelo es un proceso donde el suelo es modificado mediante diversos procedimientos con el fin de aprovechar al máximo sus cualidades, logrando una mejora en términos de solidez, estabilidad y resistencia a largo plazo.

Esto permite al suelo soportar las exigencias del tráfico y las condiciones climáticas extremas. Con el fin de lograr dicha estabilización, es necesario mejorar las distintas características inherentes del suelo (Ruiz, 2019).

Según Ruiz (2019) las propiedades pueden ser las siguientes:

- a. Resistencia / Deformación: El aumento en la solidez mejora la estabilidad y la capacidad de carga.
- b. Estabilidad de volumen: Permite controlar los procesos en los que el suelo experimenta colapso debido a cambios en la humedad.
- c. Durabilidad: La incrementación de la durabilidad fortalece la resistencia a la erosión, proporciona mayor respuesta más efectiva a los cambios climáticos y al incremento del tráfico.
- d. Permeabilidad: La disminución en la permeabilidad y en la circulación de agua contribuye a mejorar la estabilidad.

2.2.2 Método de estabilización

Se emplean diversos métodos de estabilización que contribuyen a mejorar las propiedades del suelo (Álvarez, 2015).

2.2.3 Estabilización química

Según Ruiz (2019) es el método en el cual se emplean productos químicos aprobados, con la finalidad de modificar las propiedades del suelo mejorando la resistencia, disminuyendo la plasticidad y el hinchamiento.

Los usos de estas sustancias químicas están relacionados con intercambios iónicos, que permiten disminuir la cantidad de agua retenida. Como resultado las partículas arcillosas quedan unidas mediante el uso de estas sustancias químicas, evitando el ingreso de agua (Ruiz, 2019).

2.2.4 Aditivo BioCEC

BioCEC es un agente químico estabilizador de suelos que contiene compuestos iónicos complejos ionizantes vinculados a elementos de intercambio. Estos ingredientes se encuentran en una base oleosa que se mezcla fácilmente con agua y tiene la capacidad de sellar las partículas del suelo tratado para lograr estabilidad (Plexus, 2015).

a. Características

El aditivo BioCEC tiene la técnica de liberar el agua atrapada en las partículas del suelo debido a la adsorción química al romper los enlaces electroquímicos presentes. Esto permite que sea reemplazada porciones más fuertes, proporcionados por el estabilizador y los motores existentes en el suelo. Además, se elimina la bipolaridad de las partículas, lo cual facilita la proximidad y disminuye los espacios previamente ocupados por el agua adsorbida, la cual se filtra y/o se evapora a nivel molecular, las características del aditivo se encuentran detalladas en la tabla 1 (Plexus, 2015).

Tabla 1*Ficha técnica del aditivo BioCEC*

BioCEC	Resultados
Sólidos Activos (Secado a 110°C máximo)	Min. 23 %
PH	1,0 +/- 0,15
Índice de Viscosidad cps (a 25° C) (Coaxial Rion - Rotor 3 - Bajo rango, Modelo VA-04)	600 ± 100
Peso específico a 25o C	1,0 ± 0,15
Estado Físico	Líquido
Color	Rojizo
Totalmente dispersable en agua	
No inflamable	
No corrosivo	
No produce vapores dañinos	

Nota. Información de pruebas típicas. Fuente: plexus.com.co (<https://www.plexus.com.co/estabilizador-de-vias/>).

b. Aplicaciones y usos

Según Plexus (2015) el BioCEC tiene diversas aplicaciones y usos en diferentes campos. Algunas de las áreas en las que se utiliza incluyen:

- Construcción vial y pavimentación: El BioCEC fortalece y estabiliza las capas de suelo en carreteras, aumentando su resistencia y capacidad de carga.
- Mejora de terraplenes: El BioCEC crea bases sólidas y resistentes para infraestructuras al fortalecer y estabilizar los terraplenes.
- Rectificación de suelos inadecuados: El BioCEC corrige y mejora las propiedades de los suelos de aporte que no cumplen con los requisitos del proyecto.
- Vías suburbanas y rurales: El BioCEC mejora la estabilización del suelo y la capacidad de carga en caminos de áreas suburbanas y rurales, incluyendo la red secundaria y terciaria.
- Industrias extractivas y forestales: El BioCEC fortalece las vías de acceso y transporte en operaciones mineras, petroleras y forestales, en terrenos desafiantes y difíciles.
- Aeródromos y pistas de aterrizaje: El BioCEC proporciona una base firme y estable en la construcción y mejora de pistas de aeródromos.

- Áreas de estacionamiento y rellenos: El BioCEC mejora la resistencia y estabilidad del suelo en estacionamientos y rellenos para soportar cargas de vehículos y estructuras.

2.2.5 Ensayos de laboratorio

En el contexto del análisis de la mecánica de suelos en la zona de intervención, se ejecutan pruebas de laboratorio correspondientes a dicho estudio.

- Límites de consistencia
- Granulometría
- Proctor Modificado
- California Bearing Ratio

a. Los límites de Atterberg

Se refieren a las características mecánicas de los suelos de textura fina, que muestran su comportamiento a lo largo del tiempo. Además, existe una relación entre la cohesión del suelo, los contenidos de materia orgánica y la proporción de arcilla. Los límites de Atterberg incluyen el límite plástico (LP), y el límite líquido (LL), que determina la cantidad de humedad presente y la consistencia plástica del suelo, La categorización de los suelos de acuerdo con su Índice de Plasticidad se puede determinar utilizando la información proporcionada en la tabla 2 (Juárez & Rico, 2005).

- Límite líquido (LL): Indica el nivel de humedad en el cual el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico. Se determina utilizando el aparato de Casagrande y se expresa como un porcentaje (Juárez & Rico, 2005).
- Límite plástico (LP): El contenido de humedad del suelo cambia de estado plástico a un estado semisólido. Se calcula mediante la prueba del rodillo y se expresa en forma de porcentaje.(Juárez & Rico, 2005).
- El índice de plasticidad (IP): Es la diferencia entre el límite de consistencia líquida y el límite de consistencia plástica. Este índice proporciona información sobre la capacidad de deformación del suelo sin fracturarse y se utiliza para clasificar suelos finos en términos de su plasticidad (Juárez & Rico, 2005).

La ecuación 1, analiza la diferencia entre los puntos de humedad en los que el suelo cambia de estado plástico a líquido (LL) y a semisólido (LP).

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

Tabla 2

Clasificación de los suelos según Índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota. La tabla muestra que los suelos se agrupan en diferentes categorías según su índice de plasticidad (IP). Fuente: Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad, (2014).

b. Análisis granulométrico

El ensayo de granulometría es un procedimiento utilizado para determinar las proporciones de diferentes tamaños de partículas presentes en una muestra del suelo obtenida de capas específicas mediante excavaciones (Das, 2010).

- **Análisis granulométrico por tamizado**

Este ensayo es el proceso de tamizado, que implica el paso de la muestra de suelo de una serie de tamices con aberturas de malla de diferentes tamaños, como se muestra en la tabla 3. Estos tamices están numerados de manera estandarizada y presentan aberturas cada vez más pequeñas de arriba hacia abajo.

La muestra de suelo se coloca en el tamiz superior malla N°4 y se da movimientos circulares suavemente para permitir que todas las partículas pasen a través de los tamices sucesivamente. Se registra la cantidad de muestra de suelo retenido en cada tamiz y mediante el pesado se determina el porcentaje acumulado de suelo que pasa a través de cada uno (Das, 2010).

Tabla 3

*Tamaños de mallas estándar
en Estados Unidos*

Malla N°.	Abertura (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

Nota. La tabla muestra tamaños de mallas estándar en Estados Unidos con el número de aberturas. (Das, 2010).

- **El coeficiente de uniformidad**

La ecuación 2, permite analizar la homogeneidad en la distribución del agua durante el riego en un espacio específico, se obtiene dividiendo la cantidad de agua acumulada en el suelo al punto en el que ha penetrado el 60% del agua aplicada entre la cantidad de agua acumulada en el suelo al punto en el que ha penetrado el 10% del agua aplicada durante un riego. Si C_u es menor a 5, el suelo muestra una granulometría homogénea. Si C_u varía entre 5 y 20, el suelo presenta una granulometría moderadamente uniforme o ligeramente heterogénea. En cambio, si C_u es mayor a 20, el suelo exhibe una granulometría bien graduada (Das, 2010).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

Donde:

C_u = Coeficiente de curvatura.

D_{10} = Mallas por las que pasa el 10 %.

D_{60} = Mallas por las que pasa el 60 %.

- **Coeficiente de curvatura**

La ecuación 3, permite analizar la uniformidad de la curva y reflejar la distribución de los tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo (Das, 2010).

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (3)$$

Donde:

C_c = Coeficiente de curvatura.

D_{10} = Diámetros de las mallas a través de los cuales se retiene el 10% de las partículas de la muestra del suelo.

D_{30} = Diámetros de las mallas a través de los cuales se retiene el 30% de las partículas de la muestra del suelo.

D_{60} = Diámetros de las mallas a través de los cuales se retiene el 60% de las partículas de la muestra del suelo.

c. Proctor modificado

En esta prueba, se utiliza el molde de 943,3 cm³, el suelo se compacta en cinco capas con un pisón de 44,5 N y una caída de 457,2 mm. El número de golpes de pisón por capa es igual a 25. El propósito del ensayo es establecer la relación entre la densidad del suelo y la humedad bajo una energía de compactación y determinar la densidad máxima y humedad óptima alcanzables en el laboratorio (Das, 2010).

d. California Bearing Ratio (CBR)

Esta prueba consiste en evaluar la resistencia / deformación de un suelo compactado mediante la penetración de un pistón de dimensiones específicas a una velocidad determinada. Se realiza utilizando una muestra de suelo que ha sido sumergida en agua durante cuatro días y cuyo hinchamiento ha sido medido. La inmersión de la muestra simula las condiciones de filtración de humedad en el suelo después del proceso constructivo. Luego de compactar el suelo y someterlo a la inmersión, se realiza la penetración del pistón, el cual está conectado a un dispositivo de registro de gráfica que genera y va mostrando la carga aplicada en relación con la profundidad de penetración del pistón en la muestra (Das, 2010).

La ecuación 4, permite evaluar la resistencia del suelo frente a cargas comparándolo con una muestra estándar, permite determinar su capacidad de soporte.

$$C.B.R. = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100 \quad (4)$$

Una vez establecido el valor de CBR, se determina a qué categoría corresponde la subrasante de la zona intervenida, utilizando la información provista en la tabla 4.

Tabla 4*Categorías de subrasante*

Categorías de Subrasante	CBR (%)
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3
S1: Subrasante Pobre	De CBR \geq 3 A CBR < 6
S2: Sobrante Regular	De CBR \geq 6 A CBR < 10
S3: Subrasante Buena	De CBR \geq 10 A CBR < 20
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR \geq 20 A CBR < 30
S5: Subrasante Excelente	CBR \geq 30

Nota. La tabla muestra diferentes categorías de subrasante y sus correspondientes valores de CBR. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad, 2014).

2.3 Definición de términos

2.3.1. Pavimento

Es la estructura que se construye sobre la subrasante de la vía para soportar las cargas del tráfico y mejorar la seguridad y comodidad. Generalmente, incluye la rodadura, base y subbase (Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad, 2014).

2.3.2. Subrasante

Es la capa final del terreno, obtenida después de los realizar el movimiento de tierra. Actúa como base directa para la construcción del pavimento, formando parte esencial del prisma de la carretera entre la explanada y la estructura del pavimento (Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad, 2014).

2.3.3. Aditivo

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden al suelo con el fin de mejorar sus propiedades y características de durabilidad, trabajabilidad y resistencia (Cárdenas, 2021).

2.3.4. Plasticidad

La plasticidad de un suelo se refiere a su capacidad de mantenerse estable en ciertos niveles de humedad sin desintegrarse. Esta característica depende principalmente de los componentes finos del suelo y no de los elementos gruesos presentes (Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad, 2014).

2.3.5. Suelo

Corresponde a un conjunto con una estructura y características establecidas que varían de forma vectorial. En la dirección vertical, por lo general, las propiedades del suelo experimentan cambios más acelerados en comparación con los cambios horizontales (Juárez & Rico, 2005).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental ya que las muestras obtenidas en campo se llevaron al laboratorio de suelos, el cual fueron manipuladas y analizadas aplicando el aditivo BioCEC en la mejora de la subrasante del suelo de la zona Alto Locumba.

3.2 Acciones y actividades

Se realizaron las visitas a la zona de estudio para extraer una muestra para realizar los estudios a detalle sobre las propiedades del suelo correspondientes a las zonas de estudio de Alto Locumba.

Se analizó el área de intervención, identificando los problemas que se presentan en sus obras de pavimentación.

Así mismo, se determinaron las características físicas, plásticas, resistencia y deformación de la subrasante de las vías no pavimentadas de la zona de Alto Locumba y su influencia con el aditivo BioCEC. Para esto, con la muestra obtenida de la calicata se llevaron a cabo los ensayos en el laboratorio de Geotecnia.

3.3 Técnicas e instrumentos

3.3.1 Técnicas

Son actividades técnicas realizadas en campo, laboratorio y gabinete para la obtención de información, procesamiento y resultados, en el presente estudio de investigación, como se muestra en la tabla 5.

3.3.2 Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en el transcurso de la investigación fueron los siguientes:

- Herramientas de campo (pala, pico, barreta, cintas de seguridad)
- Laboratorio de geotecnia (ensayos de Granulometría, límites de consistencia, Proctor y CBR)
- Computadoras, cámaras.
- Informaciones de tesis de diversos autores

- Informaciones referentes a estabilización de suelos, materiales de escritorio.

Tabla 5

Técnicas, instrumentos y fuentes de información para la recolección de datos

Técnica	Instrumento	Fuente de información
Trabajo de campo	Herramientas de campo (excavación de calicata)	Zona de estudio e intervención
Trabajos de laboratorio	Ensayos de laboratorio: Ensayo Granulometría, Ensayo Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP), Ensayo Proctor modificado y CBR	Zona de estudio e intervención
Trabajos de gabinete	Formatos de Excel: Protocolos en ensayo, informes fotográficos	Información recolectada en zona de estudio e intervención

3.4 Población y muestra de estudio

3.4.1 Población

Se consideró como población a una longitud de 1,2 km de la vía no pavimentada de las tres zonas: Asoc. de viv. Viña del Sur y Ampliación, Asentamiento Humano Urbanización Nuevo Locumba y Promuvi Señor de Locumba y la zona Alto Locumba.

3.4.2 Muestra de estudio

Se tomó un punto de muestreo a la subrasante, para ello se realizó una calicata C-1 de 0,60x0,60 m por un metro de profundidad, considerando que la vía no pavimentada de la zona de Alto Locumba es una sola formación, el cual fue ensayado en el laboratorio de suelos y geotecnia.

3.5 Operacionalización de variables

En esta investigación, el aditivo BioCEC se establece como la variable independiente, mientras que la subrasante se identifica como la variable dependiente, detallados en la tabla 6.

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Aditivo BioCEC	Estabilizador químico de suelos.	<ul style="list-style-type: none"> Dosificación 	<ul style="list-style-type: none"> 12 ml de la solución BioCEC+Agua desionizada por cada 1 kg de suelo seco.
Variable Dependiente: Subrasante	Es la capa de terreno que brinda soporte a la estructura del pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia Características físicas Plasticidad 	<ul style="list-style-type: none"> California Bearing Ratio Granulometría Proctor Modificado Límites Atterberg

3.6 Procesamiento y análisis estadístico

Dentro de las metodologías de procesamiento de información, la exploración se llevará a cabo en tres elementos, tal y como se presenta a continuación:

- Trabajo de campo: Implica llevar a cabo el muestreo de la excavación en la zona de interés para el progreso de esta investigación.
- Trabajo de laboratorio: Consiste en realizar los ensayos respectivos en el laboratorio de geotecnia.
- Trabajo de Gabinete: Procesamiento de datos obtenidos de la muestra de campo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados del trabajo en campo

Del recorrido a la zona de Alto Locumba – Distrito de Locumba, Provincia de Jorge Basadre, se advirtió que la zona de estudio abarca tres zonas: Asoc. de viv. Viña del Sur y Ampliación, Asentamiento Humano Urbanización Nuevo Locumba y Promuvi Señor de Locumba, por las cuales atraviesa la vía no pavimentada de 1,2 km que une la vía hacia Cinto con Alto Locumba y el Cementerio, según se aprecia en la figura 7.

Figura 7

Fotografía del área de estudio



Nota. Obtenido de Google Earth fotografía del 22 de junio de 2023.

De la visita realizada el 24 de Julio de 2023 se aprecia que todo el recorrido de esta vía, tiene como suelo de apoyo la formación Moquegua inferior, advirtiéndose el mismo material a lo largo de la vía, la cual tiene taludes excavados verticalmente, del recorrido se puede afirmar que existe un solo tipo de suelo predominante, según las figuras 8,9 y 10.

Figura 8

Estado actual de esta vía



Nota. Vía no pavimentada, fotografía de 22 de junio de 2023.

Figura 9

Tipo de suelo predominante en la vía



Nota. Vía no pavimentada, fotografía de 22 de junio de 2023.

Figura 10

Tipo de Suelo Predominante en la vía



Nota. Vía no pavimentada, fotografía de 22 de junio de 2023.

Por ese motivo se definió la ejecución de la calicata C-1 con las siguientes coordenadas UTM, por el Este 312826 y el Norte 805216- WGS84- Zona sur 19, ubicada según se aprecia en la figura 11.

Figura 11

Ubicación de calicata



Nota. Fuente: Google Earth.

La excavación de la calicata C-1 fue de 1 m de profundidad con una dimensión de 0,60x0,60 m, con el propósito de obtener una muestra del suelo. El suelo estaba compuesto por arcilla de baja plasticidad y arenilla, cabe destacar que la zona de estudio seleccionada presentaba características de suelo similares a las que se buscaban analizar, según las siguientes figuras 12 y 13.

Figura 12

Calicata 1



Nota. Excavación, Medición y recolección de muestra de la calicata 1.

Figura 13

Bloque de muestra de la calicata 1



Nota. Bloque del material de la calicata 1.

4.1.1 Ensayo con aditivo BIOCEC

Para la presente investigación se utilizó 12 ml de la mezcla de la solución de 3 ml de BioCEC + 1000 ml Agua desionizada (B+A) por cada 1 kg de suelo seco a tratar, esta dosis fue proporcionada por el proveedor de BioCEC basándose en los resultados obtenidos a partir de los ensayos de Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR, con la muestra sin la incorporación del aditivo, posteriormente se realizó la incorporación de la dosificación en la muestra del suelo para los ensayos de laboratorio:

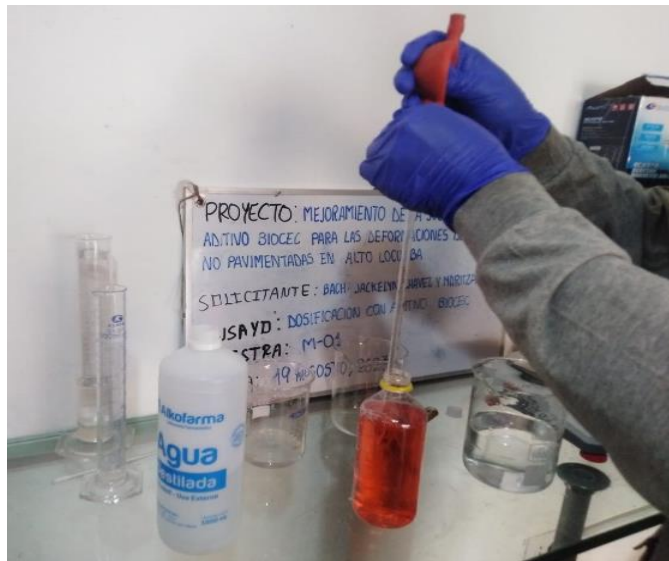
- Se incorporó la dosificación de 276 ml, que sería la cantidad para 23 kg de suelo a tratar, como se muestra en las figuras 15 y 16.
- Se emplearon dos recipientes de plástico, cada uno conteniendo 17,25 litros de agua, en los cuales se incorporó la solución B+A, tal como se presenta en las figuras 17 y 18.
- La mezcla resultante fue sometida a un proceso de homogenización durante 10 minutos. Posteriormente, las muestras se sometieron a un período de saturación que abarcó 24 horas. Este ciclo de saturación y agitación se repitió por un segundo período de 24 horas, como se muestra en las figuras 19, 20 y 21.
- Concluida esta fase, se procedió a la decantación de la muestra saturada y se procedió a su secado a temperatura ambiente, según se visualiza en las figuras 22 y 23.
- Finalmente, se llevaron a cabo los ensayos utilizando el material sometido al proceso de modificación con el aditivo BioCEC.

Figura 14

Aditivo BioCEC



Nota. En la figura se observa 1000 ml del aditivo BioCEC.

Figura 15*Succión del aditivo BioCEC*

Nota. En la figura se observa la toma del aditivo BioCEC con un porcentaje de 3 ml.

Figura 16*Mezcla del aditivo BioCEC y Agua desionizada*

Nota. En la figura se observa la disolución de 3ml de aditivo BioCEC con 1000 ml de agua desionizada.

Figura 17

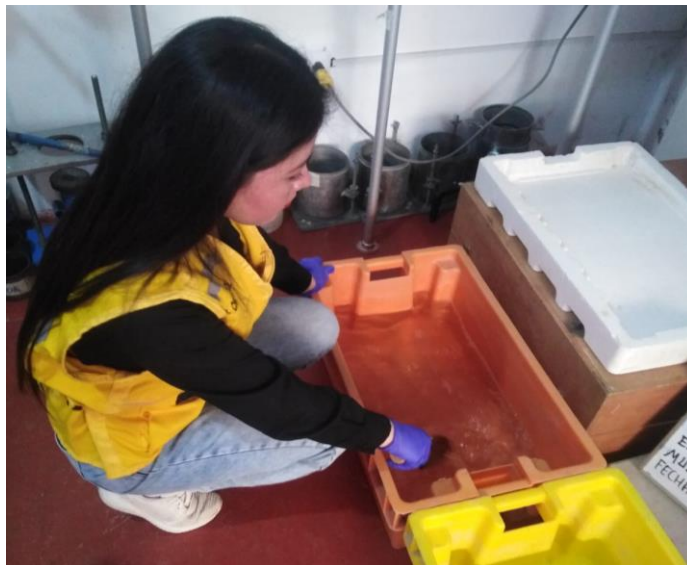
Incorporación de la solución BioCEC + Agua desionizada



Nota. En la figura se observa la incorporación de la solución BioCEC + Agua desionizada en los recipientes de agua.

Figura 18

Homogenización de la solución BioCEC + Agua desionizada



Nota. En la figura se observa la disolución homogénea de la solución BioCEC + Agua desionizada en el recipiente con agua.

Figura 19*Aplicación de la muestra.*

Nota. En la figura se observa la aplicación de la muestra con la solución BioCEC + Agua desionizada esparcida de forma homogénea.

Figura 20*Mezcla Homogénea*

Nota. En la figura se observa la homogenización de la mezcla.

Figura 21

Saturación de la solución BioCEC + Agua desionizada y la muestra



Nota. En la figura observamos la muestra saturada con la solución BioCEC + Agua desionizada.

Figura 22

Decantación de la muestra saturada



Nota. En la figura se observa el proceso de decantación de la muestra saturada.

Figura 23

Secado de la muestra con solución BioCEC + Agua desionizada



Nota. En la figura se observa el secado a temperatura ambiente de la muestra.

4.1.1.1 Ensayos de límites de atterberg con aditivo BioCEC

En el siguiente ensayo, presentamos en las figuras 24, 25, 26, 27 y 28 el procedimiento para determinar la cantidad de humedad presente y la consistencia plástica del suelo con aditivo BioCEC.

Figura 24

Peso de muestra para el ensayo de límite líquido



Nota. Peso de la muestra 200 gr.

Figura 25*Humedecimiento de la muestra*

Nota. La figura enseña el proceso de humedecimiento de la muestra.

Figura 26*Ensayo de Límite Líquido con aditivo BioCEC*

Nota. En la figura se observa en ensayo del Límite Líquido mediante la cuchara de Casagrande.

Figura 27

Ensayo de Límite Plástico con aditivo BioCEC



Nota. En la figura se observa la formación de pequeños cilindros con la palma de la mano de 3mm aproximadamente.

Figura 28

Toma de muestra del ensayo de Límite Plástico con aditivo BioCEC



Nota. En la figura se observa las 4 muestras del ensayo de Límite Plástico con aditivo BioCEC.

4.1.1.2 Ensayo de proctor modificado con aditivo BioCEC

En el ensayo Proctor Modificado determinamos la densidad máxima seca y la humedad óptima de la muestra del suelo con aditivo BioCEC, como se visualiza en las figuras 29 y 30.

Figura 29

Preparación del material para el ensayo de Proctor modificado



Nota. En la figura se observa la muestra previamente tamizada y secada a temperatura ambiente.

Figura 30

Compactación del material con el pisón



Nota. En la figura se observa la colocación de la muestra por capas y compactada a cada 25 golpes con el pisón.

4.1.1.3 Ensayo de CBR con aditivo BioCEC

Para el ensayo de CBR con el suelo con aditivo BioCEC, evaluamos la resistencia y deformación de un suelo compactado realizando el siguiente procedimiento que se observa en las figuras 31,32,33 y 34.

Figura 31

Preparación de la muestra con aditivo BioCEC para el ensayo CBR



Nota. En la figura se observa una parte de la muestra previamente secado temperatura ambiente.

Figura 32

Compactación de la muestra



Nota. En la figura se observa la compactación de la muestra en el molde.

Figura 33

Muestras con aditivo BioCEC sumergidas en agua



Nota. En la figura se observa las muestras sumergidas en agua y la colocación de la placa perforada con el vástago y trípode de medida sobre el borde del molde.

Figura 34

Carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR



Nota. En la figura se observa la aplicación de la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR de las muestras con aditivo BioCEC.

4.2 Ensayos de mecánica de suelos

En lo que respecta al ensayo de Proctor Modificado, haciendo uso de la tabla 7, la máxima densidad seca obtenida con el suelo sin aditivo fue de $1,706 \text{ gr/cm}^3$ y su contenido óptimo de humedad fue del $17,60 \%$, como se muestra en la figura 35.

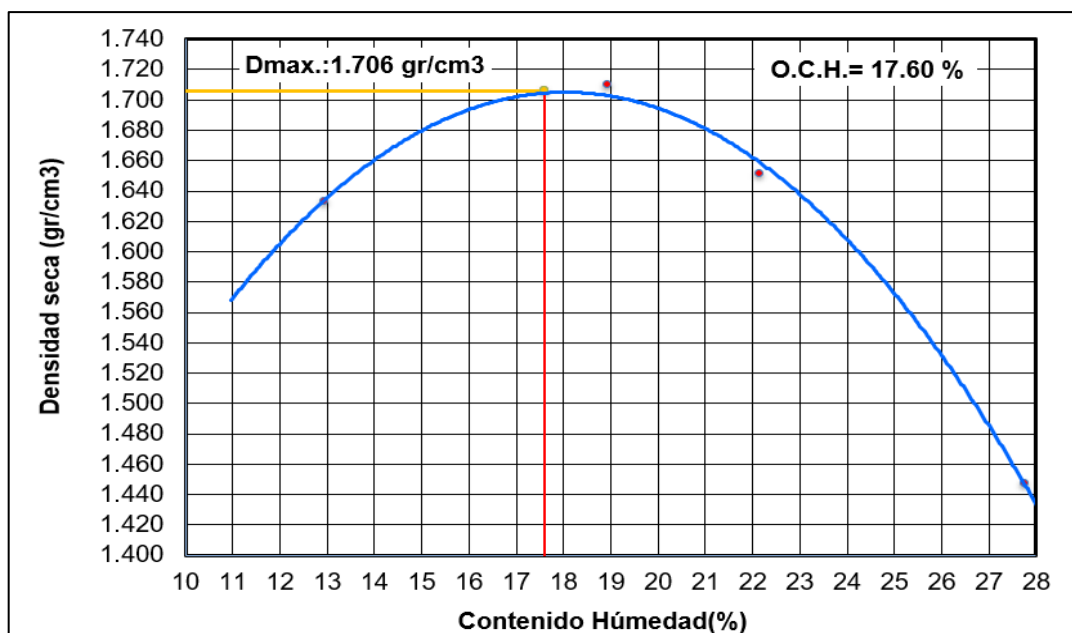
Tabla 7

Ensayo de Proctor Modificado

Método de Compactación: "A"				
Volumen Molde (cm^3)	917,94			
Prueba N°	1	2	3	4
Peso [Suelo+Molde](gr)	5050,30	5223,60	5208,50	5053,70
Peso Molde(gr)	3356,60	3356,60	3356,60	3356,60
P_{sh} Compactado(gr)	1693,70	1867,00	1851,90	1697,10
Densidad Húmeda(gr/cm^3)	1,845	2,034	2,017	1,849
Tara No	2	4	3	1
Peso [Shúmedo+Tara] (gr)	488,30	520,20	547,00	416,10
Peso [Sseco+Tara](gr)	448,70	453,30	467,60	346,90
Peso Tara(gr)	143,1	100,3	109,5	97,8
Peso Agua(gr)	39,60	66,90	79,40	69,20
Peso S_{seco} (gr)	305,60	353,00	358,10	249,10
C.H.(%)	12,96	18,95	22,17	27,78
Densidad Seca (gr/cm^3)	1,633	1,710	1,651	1,447

Figura 35

Curva de Compactación



De otro lado, respecto al suelo mezclado con el aditivo BioCEC, haciendo uso de la tabla 8, la máxima densidad seca obtenida fue de 1,625 gr/cm³ y su contenido óptimo de humedad fue del 17,00 %, como se muestra en la figura 36.

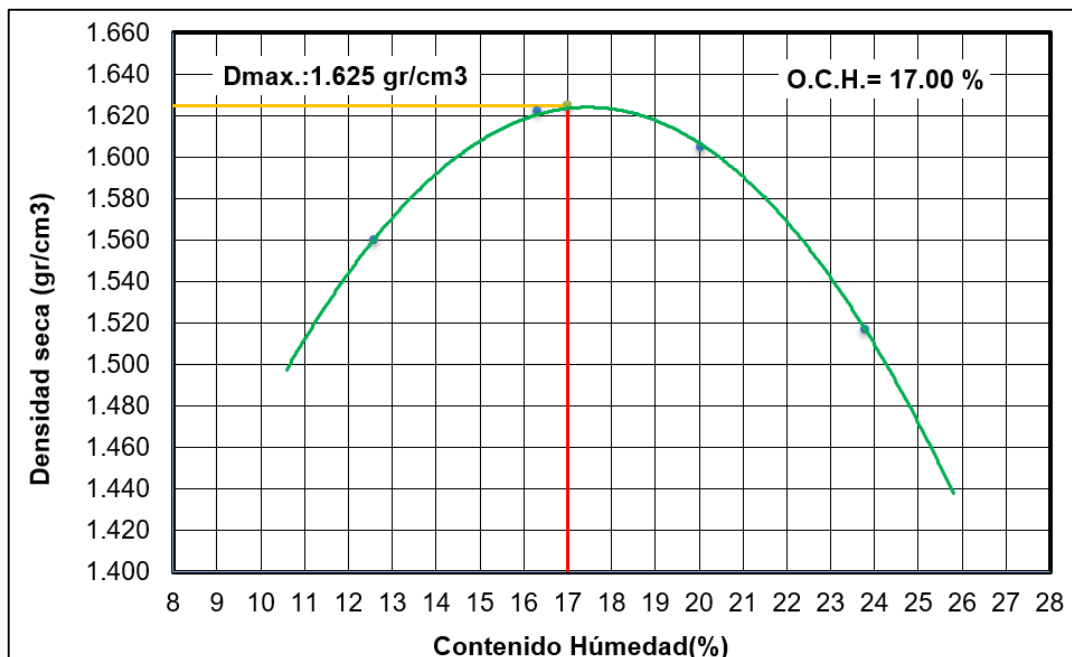
Tabla 8

Ensayo de Proctor Modificado con Aditivo BioCEC

Método de Compactación: "A"				
Volumen Molde (cm³)	917,94			
Prueba N°	1	2	3	4
Peso [Suelo+Molde](gr)	4968,50	5087,60	5125,20	5080,50
Peso Molde(gr)	3356,60	3356,60	3356,60	3356,60
P _{sh} Compactado(gr)	1611,90	1731,00	1768,60	1723,90
Densidad Húmeda(gr/cm ³)	1,756	1,886	1,927	1,878
Tara No	2	4	3	1
Peso [Shúmedo+Tara] (gr)	389,00	565,20	675,80	416,10
Peso [Sseco+Tara](gr)	358,60	512,70	588,10	354,90
Peso Tara(gr)	117,1	190,9	150,2	97,8
Peso Agua(gr)	30,40	52,50	87,70	61,20
Peso Sseco(gr)	241,50	321,80	437,90	257,10
C.H.(%)	12,59	16,31	20,03	23,80
Densidad Seca(gr/cm³)	1,56	1,622	1,605	1,517

Figura 36

Curva de Compactación con Aditivo BioCEC



En cuanto a la granulometría del suelo natural, se obtuvo que la fracción de finos representaba un 77,31 %, según la tabla 9, evaluada mediante el método de lavado, mientras que las partículas de arena constituían el 22,69 %, tal como se muestra en la figura 37 a continuación.

Figura 37

Curva Granulométrica

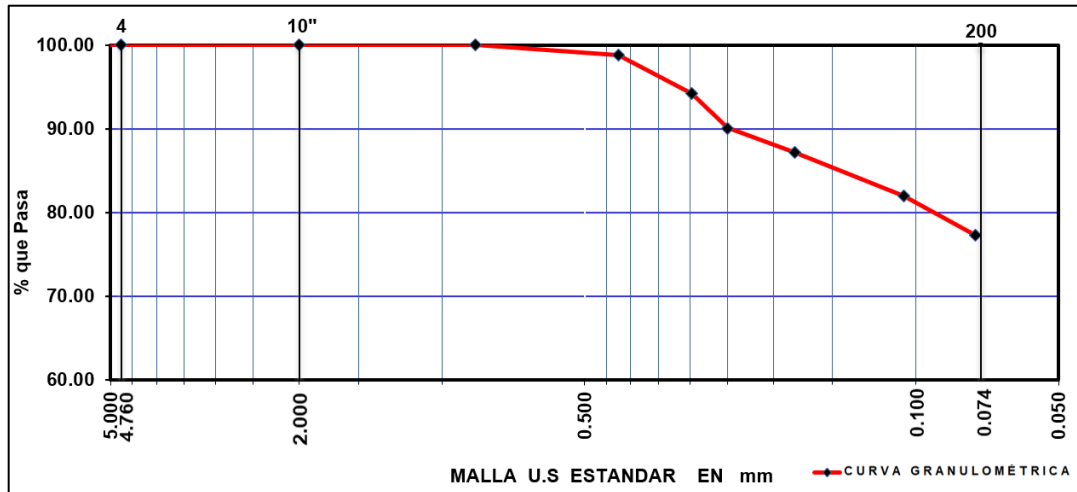
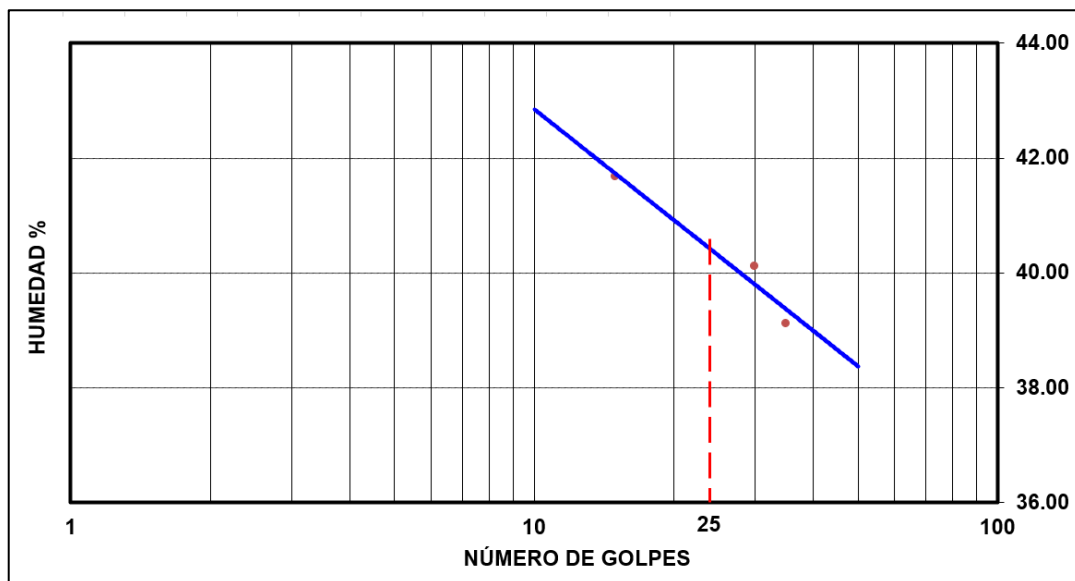


Tabla 9*Ensayo de granulometría*

Clasificación según ASTM	Malla	Diámetro (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
Bolonería Mayores De 350 Mm.	16"	410,000	0,00	0,000	0,000	100,00	
	13"	380,000	0,00	0,000	0,000	100,00	
Canto rodado De 75,00 Mm Hasta 350,00 Mm.	10"	254,000	0,00	0,000	0,000	100,00	
	8"	203,200	0,00	0,000	0,000	100,00	
	6"	152,400	0,00	0,000	0,000	100,00	
	4"	101,600	0,00	0,000	0,000	100,00	
	3 1/2"	90,000	0,00	0,000	0,000	100,00	
Grava De 4,75 mm hasta 75,00 mm.	Gruesa	3"	75,000	0,00	0,000	0,000	100,00
		2 1/2"	63,000	0,00	0,000	0,000	100,00
		2"	50,000	0,00	0,000	0,000	100,00
		1 1/2"	37,500	0,00	0,000	0,000	100,00
		1"	25,000	0,00	0,000	0,000	100,00
	Fina	3/4"	19,000	0,00	0,000	0,000	100,00
		1/2"	12,700	0,00	0,000	0,000	100,00
		3/8"	9,500	0,00	0,000	0,000	100,00
		1/4"	6,300	0,00	0,000	0,000	100,00
		Nº 4	4,750	0,00	0,000	0,000	100,00
Arena De 0,075 mm hasta 4,75	Gruesa	Nº 10	2,000	0,00	0,000	0,000	100,00
		Nº 20	0,850	0,00	0,000	0,000	100,00
	Fina	Nº 40	0,425	8,20	1,171	1,17	98,83
		Nº 60	0,297	32,59	4,656	5,83	94,17
		Nº 80	0,250	28,68	4,097	9,92	90,08
		Nº 100	0,180	20,09	2,870	12,79	87,21
		Nº 140	0,106	36,36	5,194	17,99	82,01
Nº 200	0,075	32,91	4,701	22,69	77,31		
Limo/Arcilla	< 200	0,073	541,17	77,310	100,00	0,00	

En lo que respecta a los límites de Atterberg del suelo en Alto Locumba en su condición natural, según la tabla 10, se registró un límite líquido (LL) de 40 %, un límite plástico (LP) de 25 % y un índice de plasticidad del 15 %, tal como se muestra en la siguiente figura 38.

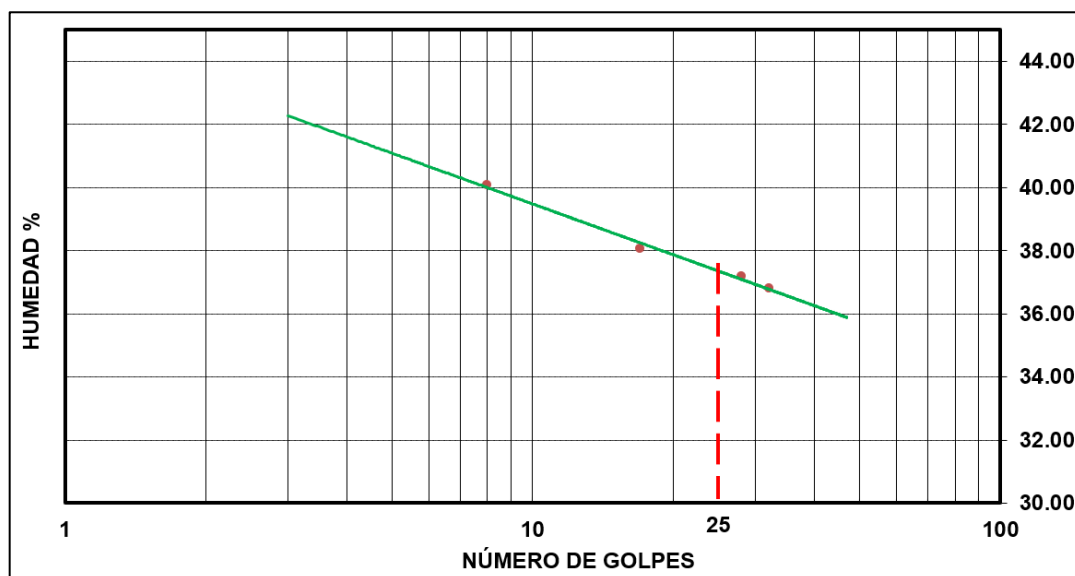
Figura 38*Gráfico de Casagrande***Tabla 10***Ensayos de Límite de Atterberg*

Descripción	Unidad	Límite Líquido			Límite Plástico	
Nº de golpes		15	30	35		
Nº tara		31	32	38	45	57
Peso suelo húmedo + tara	gr.	48,74	48,46	47,35	17,47	17,39
Peso suelo seco + tara	gr.	46,09	45,64	44,82	16,23	16,18
Peso del agua	gr.	2,65	2,82	2,53	1,24	1,21
Peso de la tara	gr.	39,73	38,61	38,35	11,40	11,21
Peso del suelo seco	gr.	6,36	7,03	6,47	4,83	4,97
Humedad	%	41,67	40,11	39,10	25,67	24,35
LL:	40	LP:	25	IP:	15	

En cuanto a los límites después de la aplicación del aditivo BioCEC a una dosis de 12 ml de la solución B+A por kilogramo de suelo, según la tabla 11, se obtuvo un límite líquido de 37 %, un límite plástico de 30 % y un índice de plasticidad de 7 %, como podemos observar en la siguiente figura 39.

Figura 39

Grafico de Casagrande de ensayo con Aditivo BioCEC

**Tabla 11**

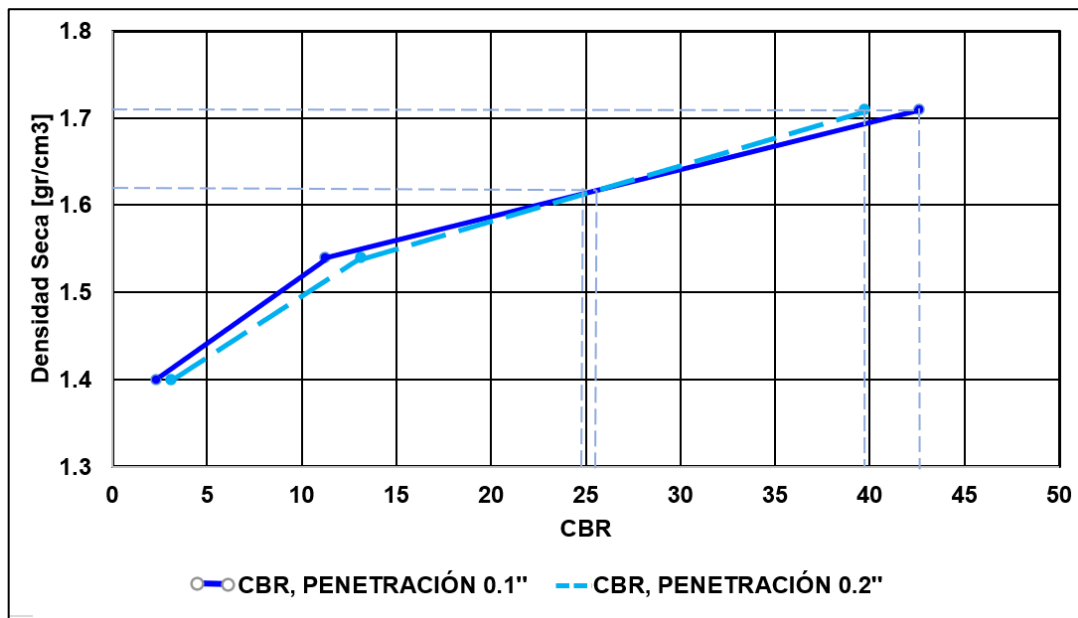
Ensayos de Límite de Atterberg con Aditivo BioCEC

Descripción	Unidad	Límite Líquido				Límite Plástico		
Nº de golpes		8	17	28	32			
Nº tara		96	92	28	89	11	4	87
Peso suelo húmedo + tara	gr.	39,53	42,38	38,54	40,40	16,37	17,91	18,16
Peso suelo seco + tara	gr.	31,70	33,90	30,70	32,50	14,89	16,47	16,59
Peso del agua	gr.	7,83	8,48	7,84	7,90	1,48	1,44	1,57
Peso de la tara	gr.	12,16	11,62	9,61	11,03	10,05	11,70	11,43
Peso del suelo seco	gr.	19,54	22,28	21,09	21,47	4,84	4,77	5,16
Humedad	%	40,07	38,06	37,17	36,80	30,58	30,19	30,43
LL:	37	LP:	30	IP:	7			

Por otro lado, en relación a la variación de la resistencia del suelo en la subrasante de Alto Locumba en su estado natural, se obtuvo el siguiente gráfico de esfuerzo - deformación del ensayo CBR. Como se muestra en la tabla 12, se determinó que con el 100 % de la máxima densidad seca, el CBR fue de 39,7 % (penetración de 0,2") y 42,6 % (penetración de 0,1"). De igual manera, al considerar el 95% de la máxima densidad seca, el CBR fue de 24,8 % (penetración de 0,2") y 25,4 % (penetración de 0,1"), como se puede apreciar en la figura 40.

Tabla 12*Valores del CBR*

CBR al 100 % Y 95 % de la MDS	
100 % MDS	1,71
CBR, penetración 0,1"	42,6
CBR, penetración 0,2"	39,7
95 % MDS	1,62
CBR, penetración 0,1"	25,4
CBR, penetración 0,2"	24,8

Figura 40*Gráfico de la determinación del CBR*

En las siguientes figuras 41, 42 y 43, se muestra los gráficos del esfuerzo y penetración CBR de la muestra en su estado natural a 12, 25 y 56 golpes.

Figura 41

Gráfico de Penetración CBR con 12 golpes

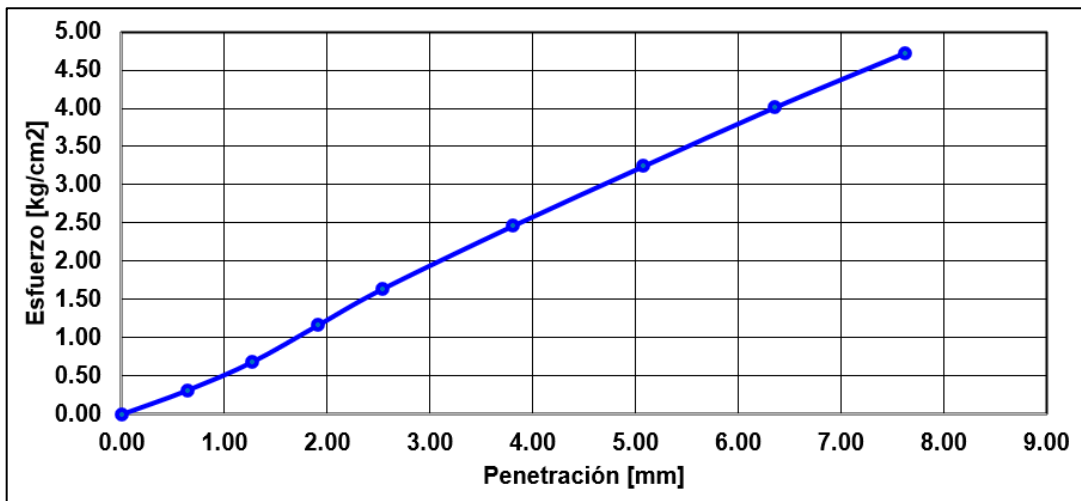
**Figura 42**

Gráfico de Penetración CBR con 25 golpes

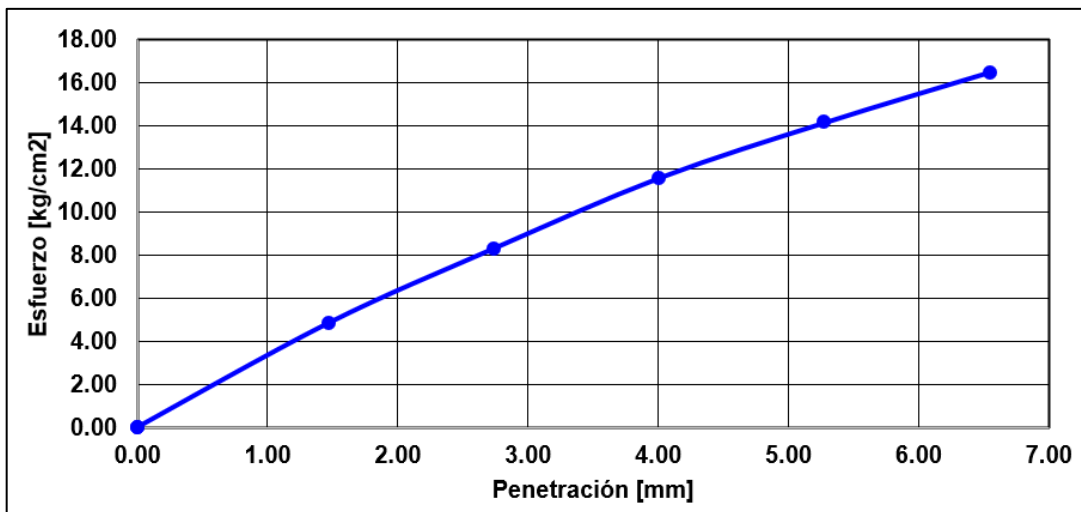
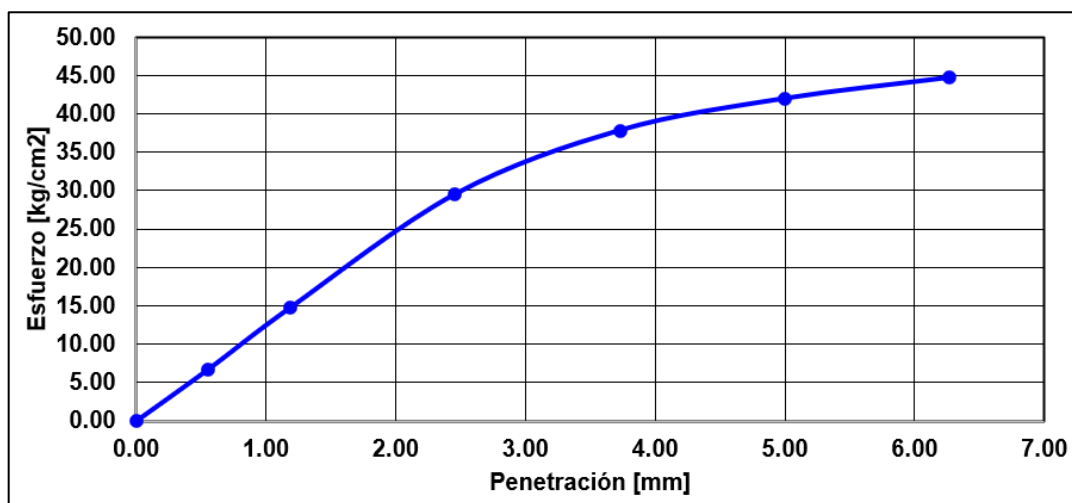


Figura 43

Gráfico de Penetración CBR con 56 golpes



Al respecto, de las gráficas del CBR se advierte que existe una sección recta de resistencia del suelo kg/cm^2 , con la penetración 0,1", a continuación, se presentan los valores en la tabla 13.

Tabla 13

Porcentajes de reducción para 0,1"

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm^3	Resistencia kg/cm^2	% de reducción
56	1,7	29,95	100
25	1,54	7,90	26
12	1,4	1,64	5

Respecto a la penetración de 0,2", se pueden observar los siguientes valores registrados en la tabla 14.

Tabla 14

Porcentajes de reducción para 0,2"

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm^3	Resistencia kg/cm^2	% de reducción
56	1,7	41,85	100
25	1,54	13,79	33
12	1,4	3,25	8

Con relación a la expansión, se determinó que la expansión varía de 1,31 % a 2,48 %, según la densidad, como indica la tabla 15.

Tabla 15

Porcentajes de expansión

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm³	% Expansión
56	1,7	1,31
25	1,54	2,22
12	1,4	2,48

De otro lado, utilizando el aditivo BioCEC se obtuvo el siguiente gráfico de esfuerzo-deformación del ensayo CBR. Como se muestra en la tabla 16, se determinó que con el 100 % de la máxima densidad seca, el CBR fue de 41,4 % (penetración de 0,2") y 40,8 % (penetración de 0,1"). De igual manera, al considerar el 95% de la máxima densidad seca, el CBR fue de 23,9% (penetración de 0,2") y 25,5 % (penetración de 0,1"), como se puede apreciar en la figura 44.

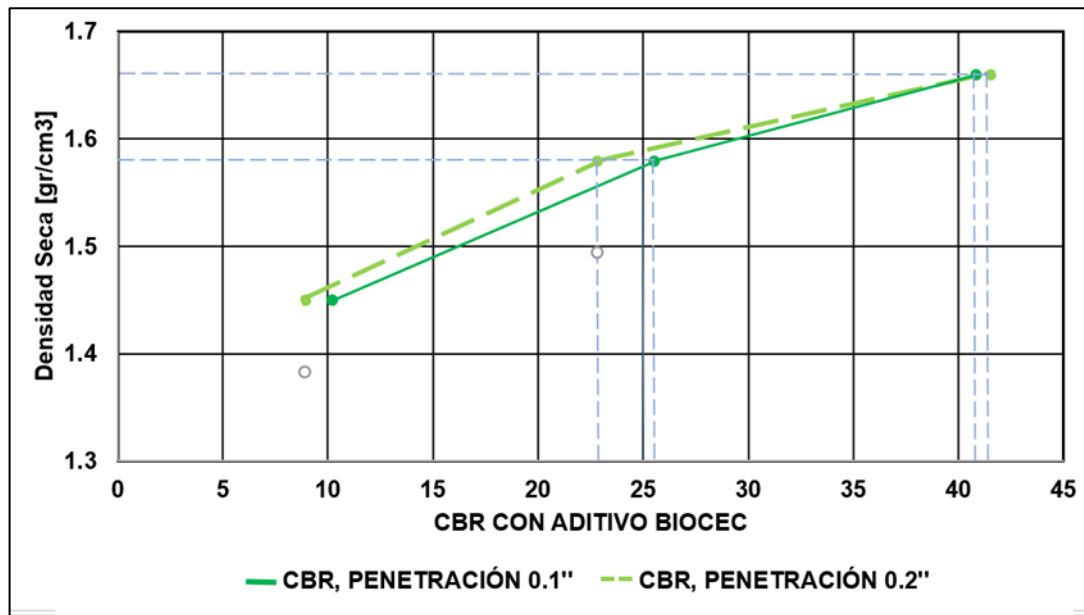
Tabla 16

Valores del CBR con aditivo BioCEC

CBR al 100 % Y 95 % de la MDS	
100 % MDS	1,66
CBR, penetración 0,1"	40,8
CBR, penetración 0,2"	41,4
95 % MDS	1,58
CBR, penetración 0,1"	25,5
CBR, penetración 0,2"	23,9

Figura 44

Determinación del CBR con aditivo BioCEC



En las siguientes figuras 45, 46 y 47, se muestra los gráficos del esfuerzo y penetración CBR de la muestra con aditivo BioCEC a 12, 25 y 56 golpes.

Figura 45

Gráfico de Penetración CBR con 12 golpes con aditivo BioCEC

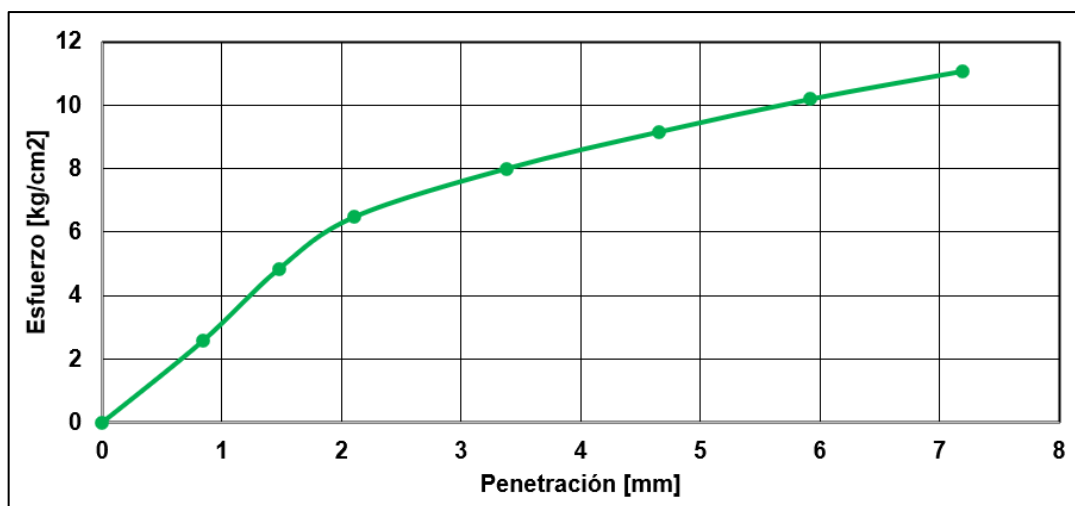


Figura 46

Gráfico de Penetración CBR con 25 golpes con aditivo BioCEC

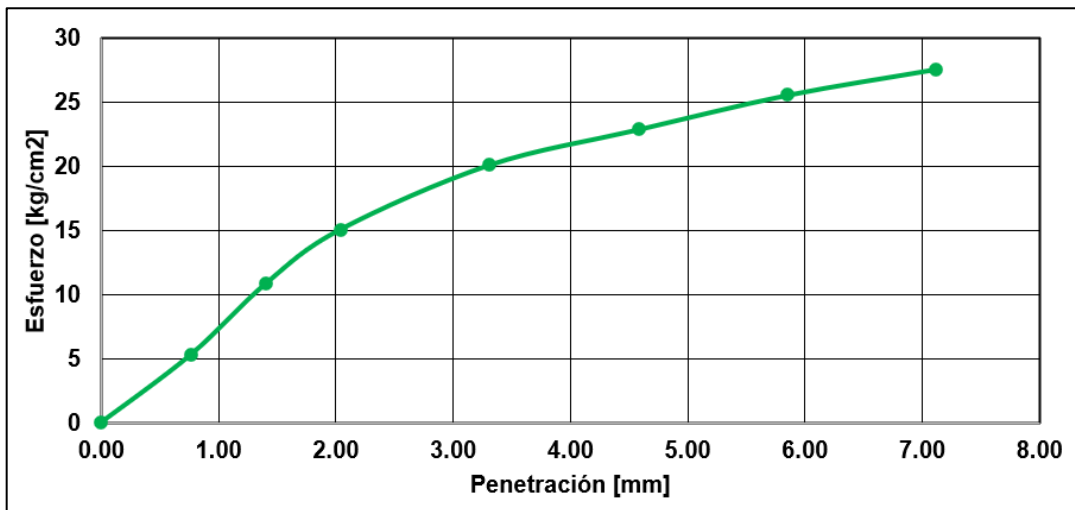
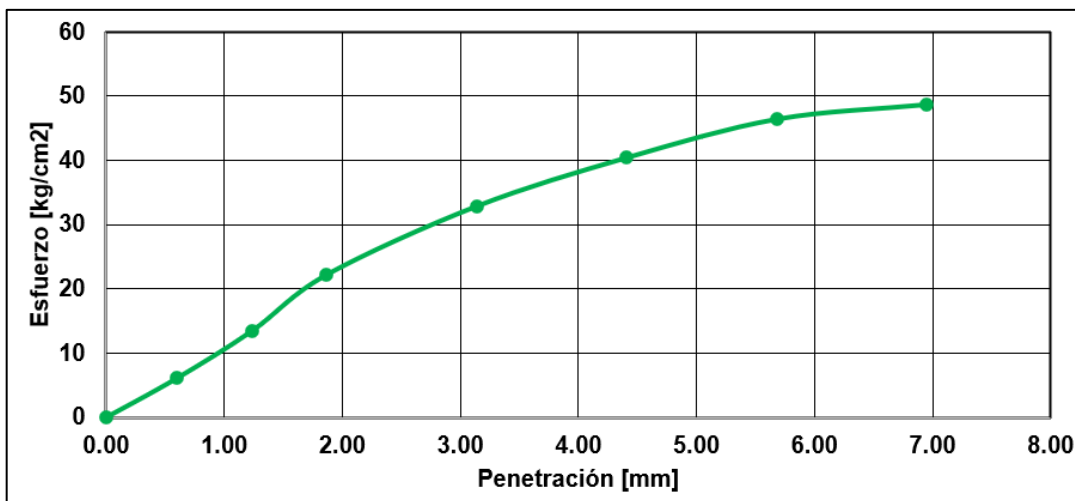
**Figura 47**

Gráfico de Penetración CBR con 56 golpes con aditivo BioCEC



Al respecto, de las últimas gráficas se advierte que existe una sección recta de resistencia del suelo con aditivo BioCEC, con la penetración 0,1", a continuación, se presentan los valores en la tabla 17.

:

Tabla 17*Porcentajes de reducción para 0,1''*

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm³	Resistencia kg/cm²	% de reducción
56	1,658	28,69	100
25	1,576	17,92	62
12	1,46	7,21	25

Respecto a la penetración de 0,2'', se pueden observar los siguientes valores registrados en la tabla 18.

Tabla 18*Porcentajes de reducción para 0,2''*

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm³	Resistencia kg/cm²	% de reducción
56	1,658	43,75	100
25	1,576	23,99	55
12	1,46	9,39	21

Con relación a la expansión con el aditivo BioCEC, se determinó que la expansión varía de 0,85 % a 1,39 %, como indica la tabla 19.

Tabla 19*Porcentajes de expansión*

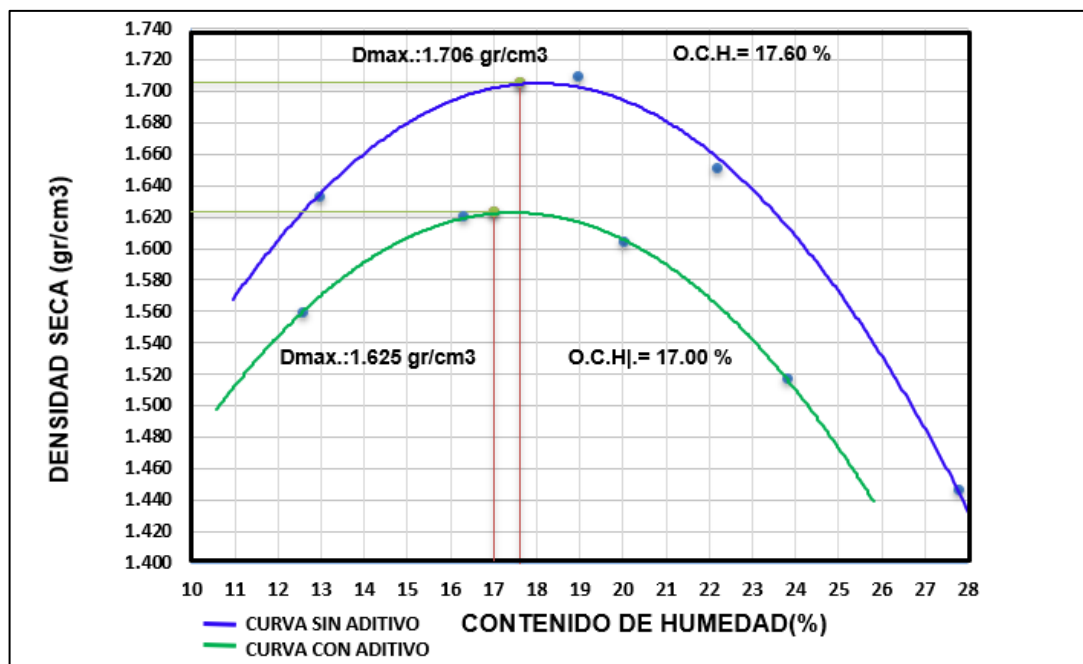
Nº de golpes	Densidad seca gr/cm³	% Expansión
56	1,658	0,85
25	1,576	1,17
12	1,46	1,39

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Respecto a la influencia del aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante, se apreció que la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad disminuyen a 95 % y 97 %, respectivamente, con la aplicación del aditivo, según se aprecia en la figura 48.

Figura 48

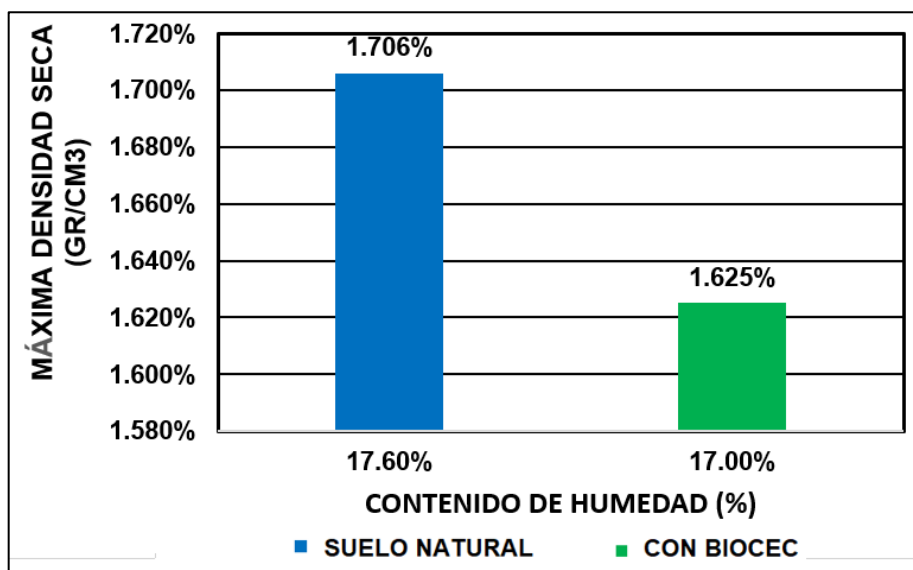
Grafico de la curva de compactación



Respecto al suelo mezclado con el aditivo BioCEC, la máxima densidad seca obtenida fue de 1,625 gr/cm³ y su contenido óptimo de humedad fue del 17,00 %, según se muestra en la figura 49.

Figura 49

Gráfico de comparación Proctor modificado



Según Esteban (2022) en su ensayo suelo natural determinaron que su máxima densidad seca fue 1,406 gr/cm³ y un óptimo contenido de humedad de 30,33 %. Pero al aplicar el aditivo BioCEC al 7 % el de ensayo su máxima densidad seca fue obtenida 1,446 gr/cm³ y un contenido de humedad de 28,41 %. aumentando un patrón de 2,84%. Estos resultados sugieren que el aditivo BioCEC puede influir de manera significativa en la densidad y en la capacidad de retención de humedad del suelo, aspectos cruciales para la estabilización de subrasantes no pavimentadas.

Así mismo, con relación a la expansión, se advierte que el aditivo BioCEC reduce dicha deformación entre el 53% y 65%, según se aprecia en la tabla 20.

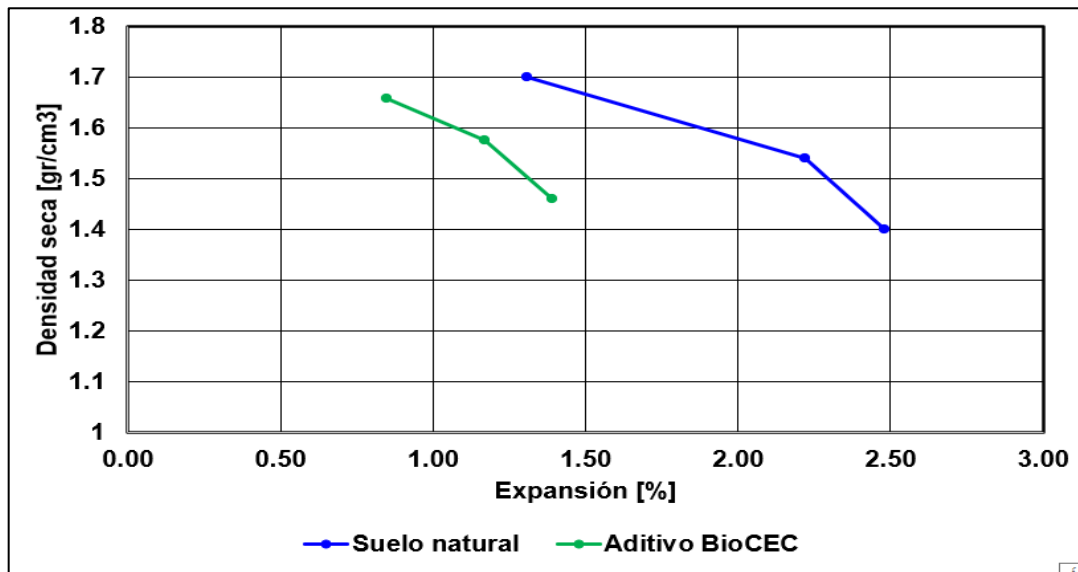
Tabla 20

Porcentajes de la reducción a la expansión del suelo natural y con aditivo BioCEC

Nº de golpes	Suelo natural		Nº de golpes	Con BioCEC		Reducción (%)
	Densidad seca gr/cm ³	Expansión (%)		Densidad seca gr/cm ³	Expansión (%)	
56	1,7	1,31	56	1,658	0,85	65
25	1,54	2,22	25	1,576	1,17	53
12	1,4	2,48	12	1,46	1,39	56

Figura 50

Gráfico de expansión vs densidad con suelo natural y aditivo BioCEC

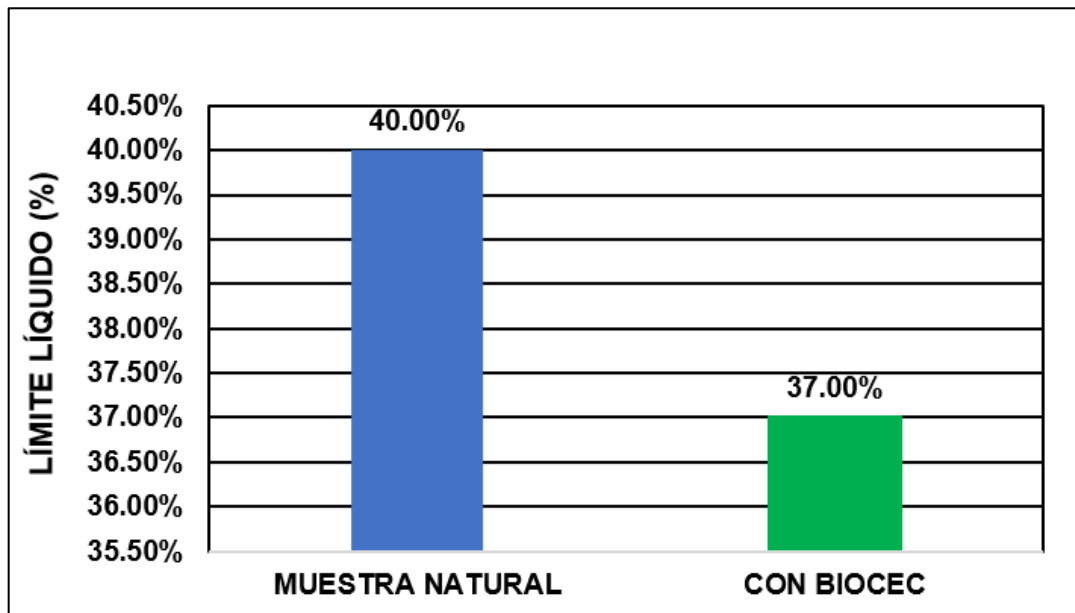


La primera hipótesis específica argumentaba lo siguiente: “El aditivo BioCEC influye significativamente en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba”, y de acuerdo a los resultados obtenidos, la incorporación del aditivo BioCEC produjo cambios en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad, disminuyendo al 95 % y 97 %, respectivamente, esto ocurrió debido a que el aditivo BioCEC contiene compuestos iónicos complejos ionizantes vinculados a elementos de intercambio; sin embargo, su influencia es menor al 5 % respecto a la máxima densidad seca. Así mismo, redujo la expansión del suelo entre 53 % y 65 %, como se aprecia en la figura 50.

De otro lado, con referencia los límites de Atterberg del suelo en Alto Locumba, se determinó que el límite líquido disminuye de 40 % a 37 % con el aditivo, según se aprecia en la figura 51:

Figura 51

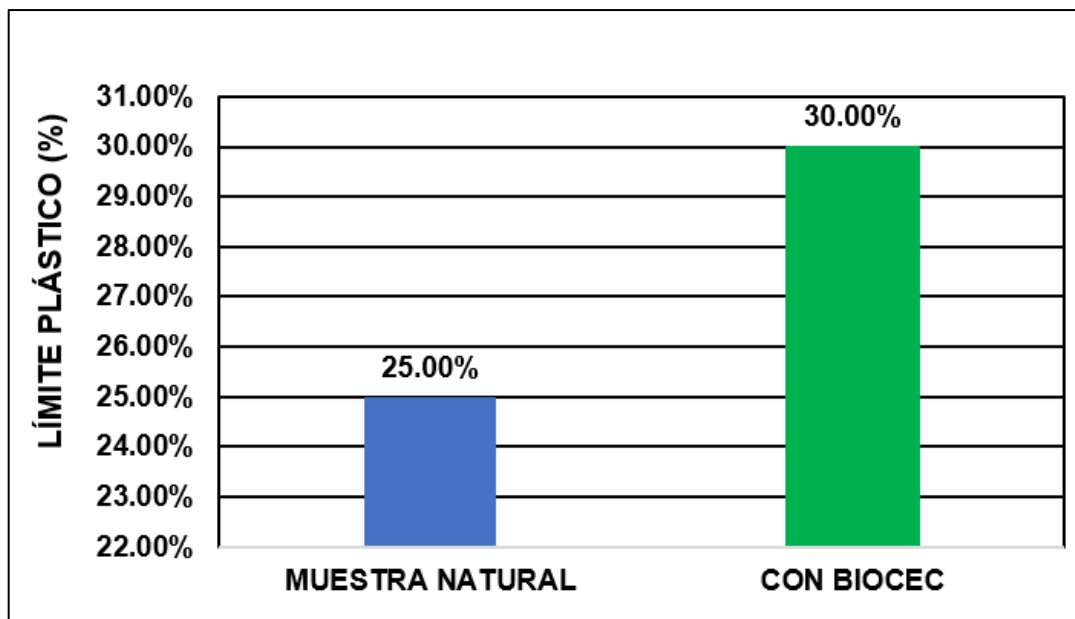
Gráfico de comparación del Límite Líquido



Sin embargo, el límite plástico aumenta de 25 % a 30 % con el aditivo, según se aprecia en la figura 52:

Figura 52

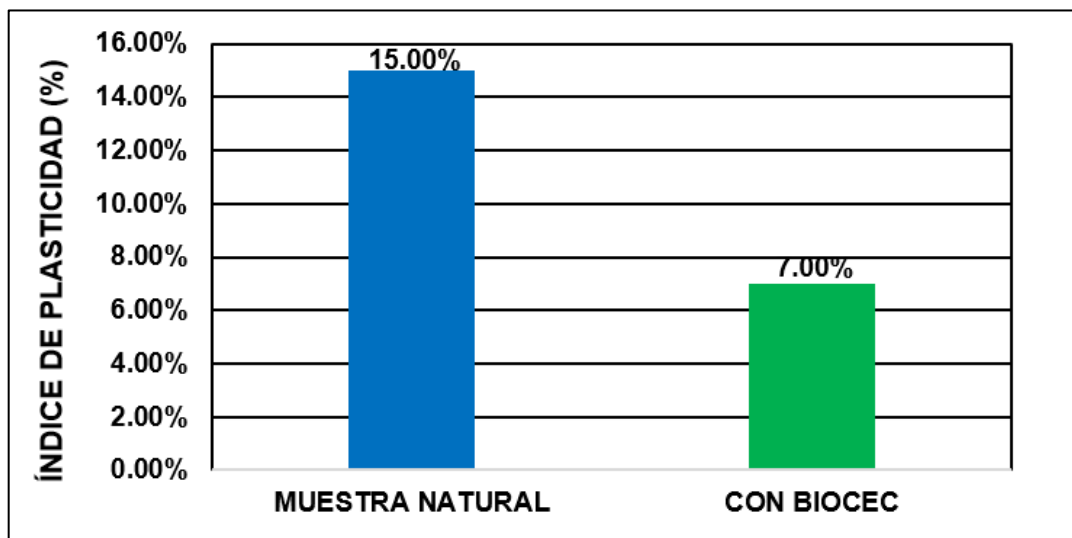
Gráfico de comparación del Límite Plástico



Por lo expuesto, el aditivo reduce el índice plástico de 15 % a 7 %, que corresponde a una disminución al 47 %, según la figura 53:

Figura 53

Gráfico de comparación de los índices de plasticidad



Según Esteban (2022) realizando el ensayo de suelo natural tuvo un Índice de plasticidad 14,49 % y al adicionarle el 7 % de aditivo BioCEC se obtuvo un 24,73 % según por lo que se concluye que su Índice de Plasticidad incrementa asimismo el IP es mayor al 20 % esto indica su plasticidad es alta y tiene características de suelos altamente arcillosos. Estos resultados respaldan la afirmación de que el aditivo BioCEC tiene una influencia significativa en las propiedades del suelo, especialmente en la estabilización de subrasantes no pavimentadas.

En ese sentido, la segunda hipótesis específica argumentaba lo siguiente: “El aditivo BioCEC influye en los índices de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba”, y según los resultados obtenidos, la aplicación del aditivo BioCEC redujo la plasticidad. Inicialmente, el material sin aditivo presentaba un índice de plasticidad de 15 %, mientras que con el uso del aditivo BioCEC, se obtuvo un índice de plasticidad de 7 %, lo que representó un cambio de una categoría de plasticidad de media a baja.

Cabe precisar que, con los resultados del ensayo de granulometría, el suelo natural, según AASHTO, se clasifica como A-6 debido que más del 36 % del material pasa la malla N° 200 (77,31%), el límite líquido es máximo 40 % (40 %) y el índice plástico es mínimo 11 % (15 %).

De otro lado, con los valores de plasticidad del suelo con el aditivo, su clasificación AASHTO mejora a A-4, debido que más del 36 % del material pasa la malla N° 200 (77,31 %), el límite líquido es máximo 40% (37 %) y el índice plástico es 10 % máximo (7%).

Respecto a la clasificación SUCS, el suelo natural se clasifica como fino, debido que más del 50 % pasa la malla N° 200 (77,31 %), de baja plasticidad debido que el límite líquido es menor de 50 % (40 %) y de la revisión a la gráfica de clasificación, se determina que está sobre la línea A, clasificándose como arcilla de baja plasticidad, CL.

Con respecto a esta clasificación utilizando el aditivo, se advierte que está bajo la línea A, clasificándose como un limo de baja plasticidad, ML.

Dicha comparación se detalla en la figura 54.

Figura 54

Gráfico de plasticidad del SUCS

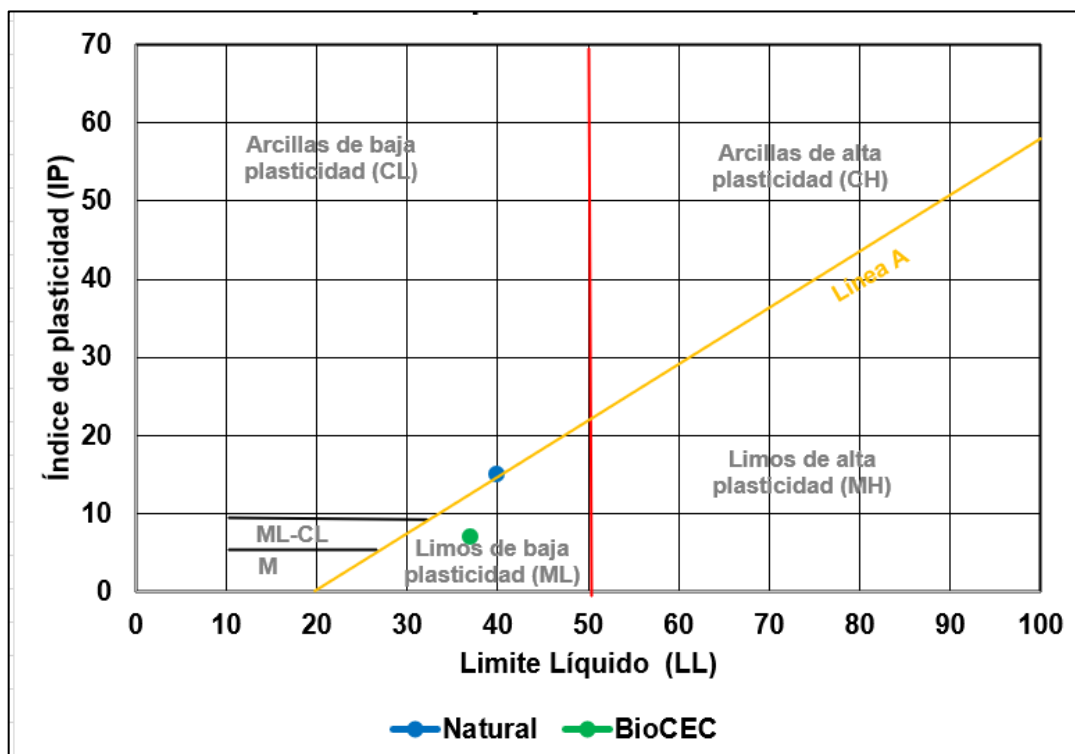
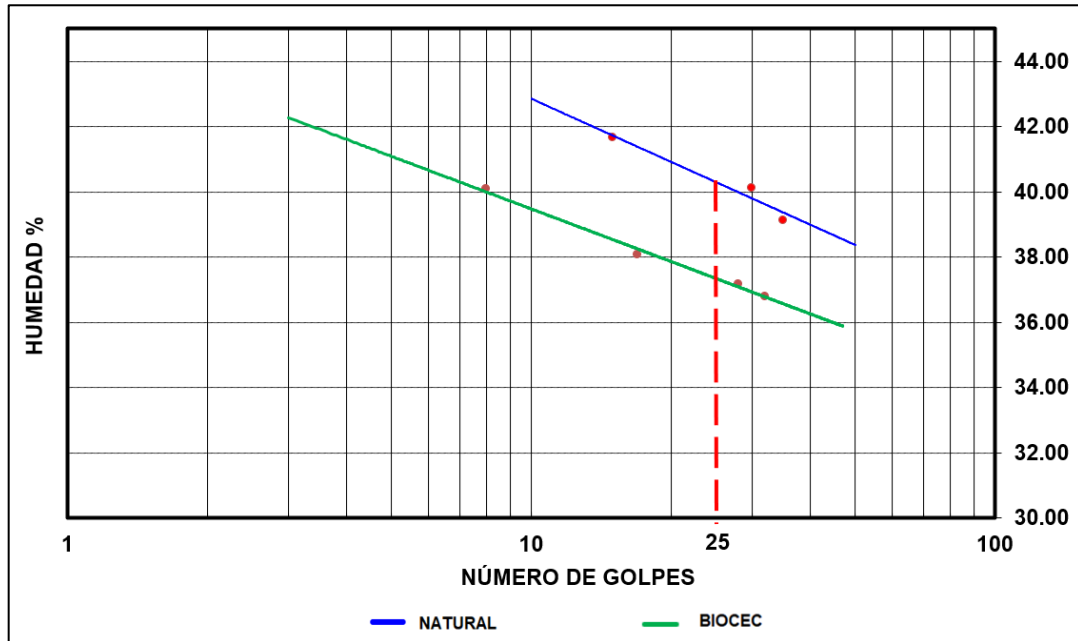


Figura 55

Grafico comparativo del ensayo de Límites de Atterberg



Por lo que, el aditivo al modificar la plasticidad del suelo, afecta su clasificación AASHTO y SUCS.

Con respecto a la segunda hipótesis, se determinó que el aditivo BioCEC influye en la plasticidad del suelo, como se muestra en la figura 55, reduciendo de 15 % a 7 %, lo cual genera que la clasificación AASHTO pase de A-6 a A-4 y la SUCS de CL a ML.

Con relación a la resistencia del suelo de la subrasante en Alto Locumba, existe un concepto importante denominado módulo de elasticidad, que es la relación (o pendiente) entre el esfuerzo y su deformación, para la presente investigación el ensayo del CBR se realiza el ensayo de resistencia con dos sobrepesos, lo cual influye en su deformación, pero se puede analizar dicha pendiente con la variación de la densidad seca o número de golpes de las tres muestras.

Bajo lo expuesto se advierte del suelo natural, según se observa en la figura 56, dichas pendientes se incrementan conforme aumenta su densidad de 0,65 kg/cm²/mm a 12,43 kg/cm²/mm, los valores correspondientes están consignados en las tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21*Densidad seca con 12 golpes*

Densidad Seca 1,46 - 12 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm²	Resistencia kg/cm²/mm
0,00	0,00	
0,64	0,31	
1,27	0,68	
1,91	1,16	
2,54	1,64	0,65
3,81	2,47	
5,08	3,25	
6,35	4,01	
7,62	4,72	

Tabla 22*Densidad seca con 25 golpes*

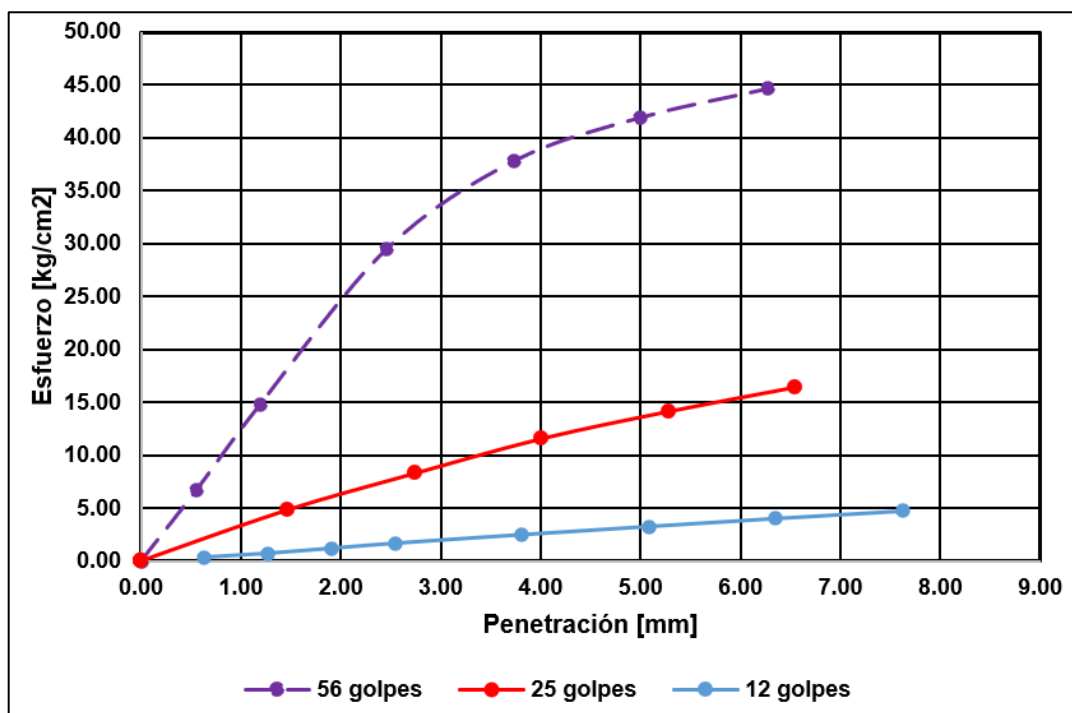
Densidad Seca 1,58 - 25 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm²	Resistencia kg/cm²/mm
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
1,47	4,84	3,29
2,74	8,29	
4,01	11,58	
5,28	14,16	
6,55	16,46	

Tabla 23*Densidad seca con 56 golpes*

Densidad Seca 1,66 - 56 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm²	Resistencia kg/cm²/mm
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,56	6,73	
1,19	14,79	12,43
2,46	29,54	
3,73	37,83	
5,00	41,97	
6,27	44,69	

Figura 56

Gráfico de Penetración CBR en suelo natural



De otro lado, en el suelo con aditivo BioCEC. según se observa en la figura 57, dichas pendientes se incrementan conforme aumenta su densidad de 3,27 kg/cm²/mm a 11,89 kg/cm²/mm, los valores correspondientes están consignados en las tablas 24, 25 y 26.

Tabla 24

Densidad seca con 12 golpes

Densidad Seca 1,46 - 12 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm ²	Resistencia kg/cm ² /mm
0,00	0,00	
0,84	2,57	
1,48	4,83	3,27
2,11	6,48	
3,38	8,00	
4,65	9,15	
5,92	10,19	
7,19	11,06	

Tabla 25*Densidad seca con 25 golpes*

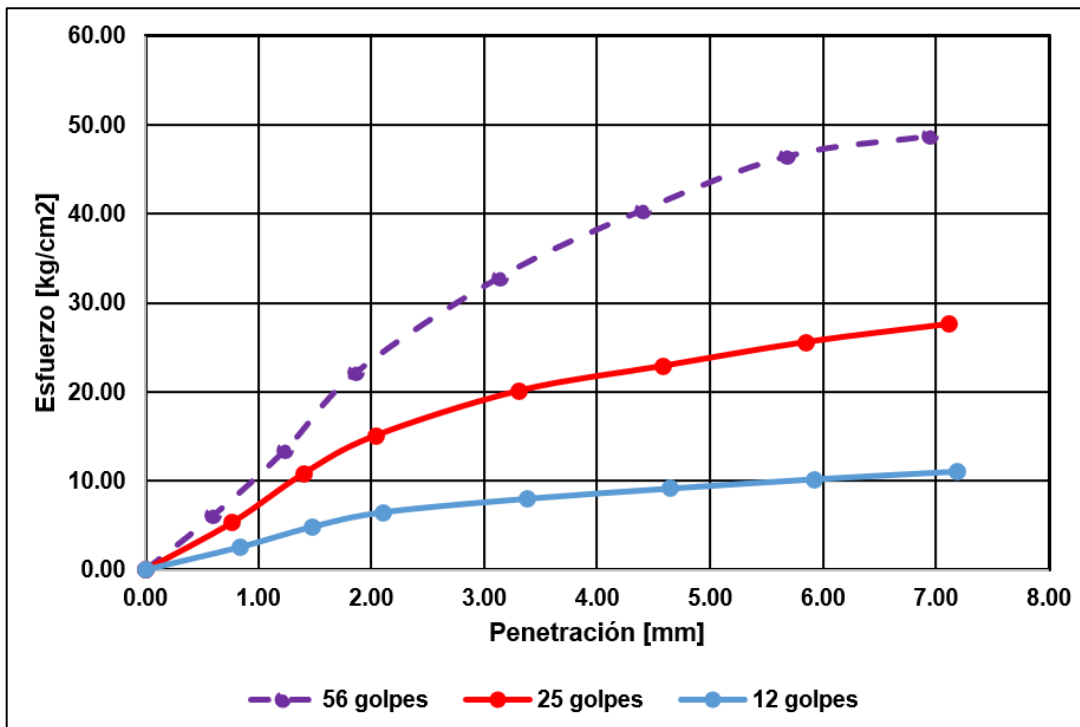
Densidad Seca 1,58 - 25 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm²	Resistencia kg/cm²/mm
0	0	
0,77	5,34	
1,41	10,86	7,73
2,04	15,09	
3,31	20,12	
4,58	22,89	
5,85	25,58	
7,12	27,61	

Tabla 26*Densidad seca con 56 golpes*

Densidad Seca 1,66 - 56 golpes		
Deformación mm	Esfuerzo kg/cm²	Resistencia kg/cm²/mm
0	0,00	
0,60	6,10	
1,24	13,46	
1,87	22,24	11,89
3,14	32,90	
4,41	40,45	
5,68	46,45	
6,95	48,73	

Figura 57

Gráfico de Penetración CBR con aditivo BioCEC



Con relación a la influencia del aditivo en el suelo de Locumba, se aprecia marcadas diferencias en los gráficos esfuerzo deformación con las muestras compactadas con 12 y 25 golpes, mostrando mayor resistencia el suelo con aditivo, según se detalla en las figuras 58 y 59.

Figura 58

Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 12 golpes

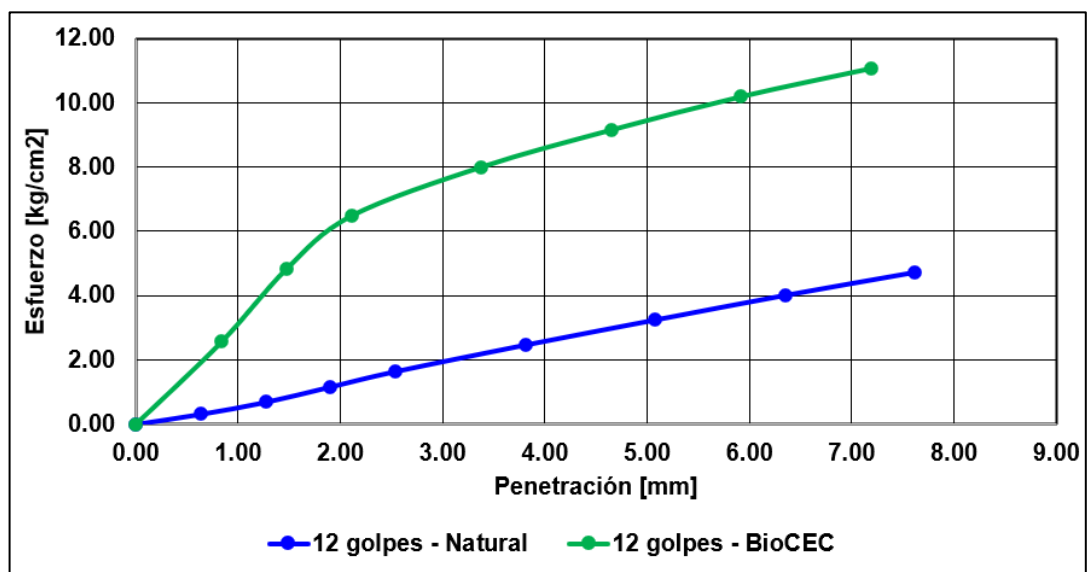


Figura 59

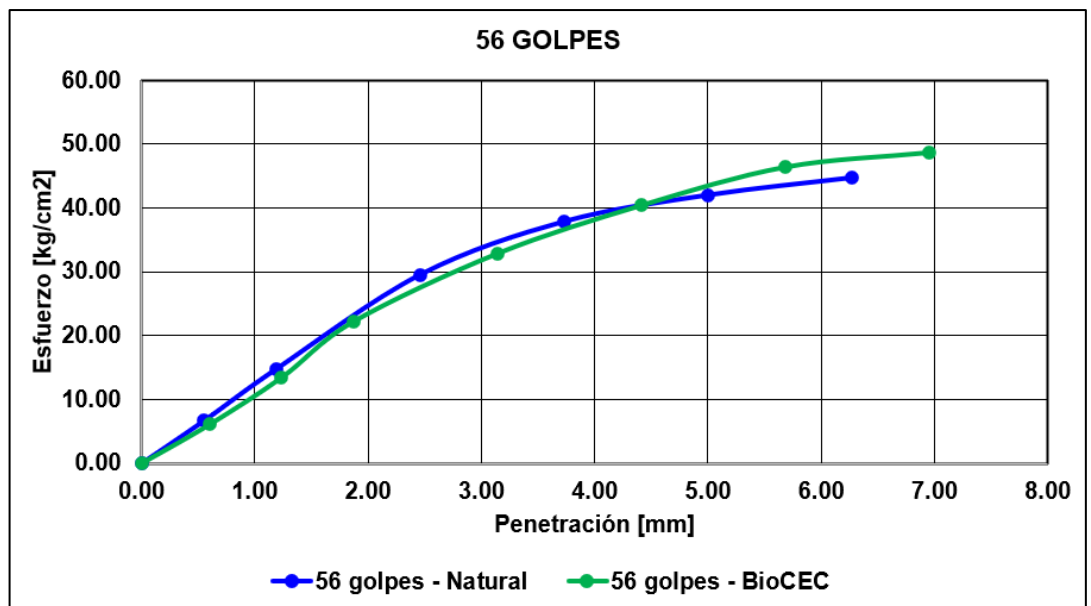
Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 25 golpes



Sin embargo, respecto a las muestras compactadas con 56 golpes, son muy similares, según se muestra en la figura 60.

Figura 60

Gráfico comparativo de Esfuerzo - Penetración con 56 golpes



Con relación al suelo mezclado con el aditivo, se advierte que su resistencia también aumenta con la densidad seca, variando de 7,21 kg/cm² a 28,69 kg/cm², según se resume en la tabla 27.

Tabla 27

Densidad seca con aditivo BioCEC

Nº de golpes	Densidad seca gr/cm³	Resistencia kg/cm²
56	1,658	28,69
25	1,576	17,92
12	1,46	7,21

Con relación al CBR, se aprecia que comparando los valores obtenidos con relación a la densidad seca al 100 % y 95 % de la máxima densidad seca del Proctor modificado, se advierte que los valores CBR el suelo natural tiene ligeramente mayor resistencia que el suelo con aditivo, sin embargo, tiene diferentes densidades, según se resume en la tabla 28.

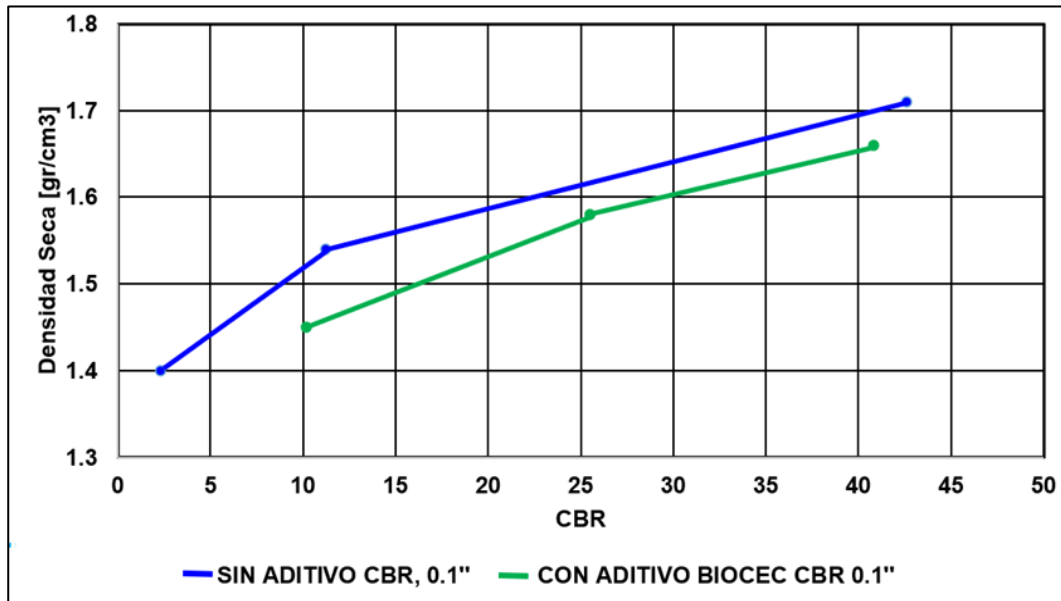
Tabla 28

Cuadro comparativo con los valores del CBR

Descripción	Suelo natural		BioCEC		Proporción (%)
	CBR	Densidad	CBR	Densidad	
100% MDS					
Penetración 0,1"	42,6	1,71	40,8	1,66	95,77
Penetración 0,2"	39,7	1,71	41,4	1,66	104,28
95% MDS					
Penetración 0,1"	25,4	1,62	25,5	1,58	100,39
Penetración 0,2"	24,8	1,62	23,9	1,58	96,37

Figura 61

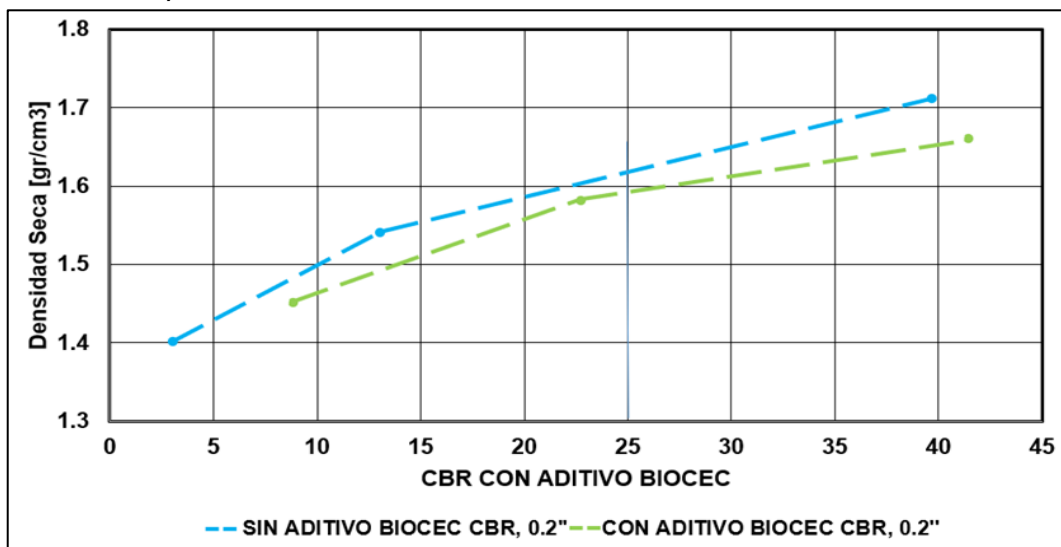
Gráfico comparativo del CBR con 0,1''



Así mismo, del gráfico anterior podemos concluir que, si analizamos el CBR con la misma densidad para ambos tipos de suelos, el suelo con aditivo tiene ligeramente mayores valores de CBR, por ejemplo, el CBR del suelo natural a una densidad de 1,50 gr/cm³ es 9 % y con el aditivo es 16 %, pero esta brecha se acorta cuando aumentan las densidades, apreciándose que la diferencia es mínima, como se muestra en la figura 61.

Figura 62

Gráfico comparativo del CBR con 0,2''



Así mismo, del gráfico anterior podemos concluir que, si analizamos el CBR con Aditivo BioCEC la misma densidad para ambos tipos de suelos, el suelo con aditivo tiene ligeramente mayores valores de CBR, por ejemplo, el CBR del suelo natural a una densidad de $1,54 \text{ gr/cm}^3$ es 13 % y con el aditivo es 18 %, pero esta brecha sube cuando aumentan las densidades, apreciándose que la diferencia es mínima, como se muestra en la figura 62.

En ese sentido, la tercera hipótesis específica argumentaba lo siguiente: “El aditivo BioCEC influye en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba.”, sin embargo, realizado los ensayos de CBR, se advierte que el aditivo no mejoró la resistencia según el CBR al 100 % de la máxima densidad seca con penetración de 0,1”; no obstante ello, se advierte que las muestras con 12 y 25 golpes la gráfica esfuerzo deformación aumenta considerablemente la pendiente, de $0,65 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ a $3,27 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ con 12 golpes y de $3,29 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ a $7,73 \text{ kg/cm}^2/\text{mm}$ con 25 golpes.

En ese sentido podemos concluir que el aditivo BioCEC reduce ligeramente la máxima densidad seca del Proctor Modificado, reduce la expansión alrededor del 50 %, así mismo reduce el índice plástico, lo cual modifica su clasificación SUCS de CL a ML y mejora la clasificación AASHTO de A-6 a A-4. Con relación a su resistencia se advierte mejoría en la gráfica esfuerzo deformación para las muestras con 12 y 25 golpes del ensayo del CBR, sin embargo, comparando los valores de CBR el 100 % y 95 % con penetración del 0,1” de su máxima densidad seca, el suelo natural tiene una resistencia superior en 10 % aproximadamente que el suelo con aditivo.

CONCLUSIONES

El aditivo BioCEC influye significativamente en las propiedades físicas de la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba. Este aditivo demuestra influencia al modificar características como la plasticidad, la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad y la expansión del suelo, aunque no muestra una mejora directa en la resistencia según el ensayo del CBR.

El aditivo BioCEC influye en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba, al disminuir la máxima densidad seca de 1,71 gr/cm³ a 1,63 gr/cm³ y el óptimo contenido de humedad de 17,60 % a 17 %, así mismo redujo la expansión del suelo entre 53 % y 65 %.

El aditivo BioCEC influye en el índice de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba al reducirlo de 15 % a 7 %, lo cual genera que la clasificación AASHTO mejore de A-6 a A-4 y la SUCS cambie de arcilla de baja plasticidad (CL) a limo de baja plasticidad (ML).

La resistencia de la subrasante en Alto Locumba con el aditivo BioCEC no mejora según el CBR al 100% de la máxima densidad seca con penetración de 0,1", sin embargo, en la gráfica esfuerzo deformación, aumenta considerablemente la pendiente, de 0,65 kg/cm²/mm a 3,27 kg/cm²/mm con 12 golpes y de 3,29 kg/cm²/mm a 7,73 kg/cm²/mm con 25 golpes.

RECOMENDACIONES

A futuros investigadores, se recomienda llevar a cabo un estudio exhaustivo sobre el impacto de diferentes proporciones del aditivo BioCEC en el suelo de Alto Locumba. Este estudio permitirá comprender mejor cómo variar las cantidades de BioCEC afecta la calidad y la capacidad portante del suelo en esta área, lo que podría llevar a recomendaciones más precisas sobre su aplicación.

A futuros investigadores, se recomienda que profundicen en el análisis de otros tipos de mejoramiento de suelo que puedan reducir la expansión y aumentar la resistencia del suelo de la formación Moquegua en Alto Locumba. Esto implicaría investigar y evaluar diversas técnicas y aditivos más allá de BioCEC para abordar de manera integral los desafíos geotécnicos de la región.

A futuros investigadores, se recomienda que indaguen sobre la aplicación práctica del proceso constructivo del mejoramiento de suelos utilizando el aditivo BioCEC.

A futuros investigadores, se recomienda que realicen comparaciones detalladas entre la relación del aditivo BioCEC y el suelo natural mediante ensayos in situ. Estos ensayos ayudarán a verificar de manera empírica el impacto y los beneficios reales del aditivo en las condiciones de campo específicas de Alto Locumba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ospina, W., Ospina Zapata, M. G., Ortiz, J. E., & Abello, C. C. (2014). Formulación de criterios de estabilización de taludes compuestos por cenizas volcánicas mediante el tratamiento químico de los suelos. Universidad Libre Seccional Pereira. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/16964>
- Álvarez, M. S. (2015). Estabilización química de suelos en proyectos de infraestructura vial en Antioquia. Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/9e53409e-8676-408e-8884-cf3a3baa1692>
- Das, B. M. (2010). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4a ed.). Editorial Datos.
- Cárdenas, F. (2021). Utilización de aditivos en losas de concreto hidráulico de pavimentos rígidos en climas fríos. Universidad Peruana Los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3707>
- Contraloría General de la República. (2023). Informe de Orientación de Oficio N° 012-2023-OCI/2633-SOO: Orientación de Oficio Municipalidad Provincial de Jorge Basadre. "Problemas en obras cimentadas sobre la arcilla de la formación Moquegua en el distrito de Locumba" (Tomo I de I). Locumba, Jorge Basadre, Tacna. https://apps8.contraloria.gob.pe/SPIC/srvDownload/ViewPDF?CRES_CODIGO=2023CSI263300012&TIPOARCHIVO=ADJUNTO
- De La Cruz Gutierrez, L. M., & Salcedo, K. K. (2016). Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo - Junín. Universidad Peruana Los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/112>
- Esteban, B. (2022). Estabilización de subrasante de suelos no pavimentados empleando aditivo BioCEC, Av. Las Torres, San Martín de Porres, Lima, 2022. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111551>
- García, A. (2015). Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca, 2015. Universidad Privada Del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7327>

- Juárez, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos (1a ed.). Editorial Limusa.
- Ministerio de Obras Públicas dirección de vialidad. (2014). Manual de carreteras: suelos geología, geotecnia y pavimentos- seccion suelos y pavimentos. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf
- Plexus. (2015). Estabilizador de suelos para vías. <https://www.plexus.com.co/estabilizador-de-vias/>
- Ramos, J. D., & Lozano Gomez, J. P. (2019). Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos. Universidad Católica De Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/cdc18f48-2ed2-47c5-89c8-76f38db38201>
- Rodríguez, D. I. (2016). Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (Terrasil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de los Ríos. Universidad Técnica De Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23558>
- Ruiz, A. E. (2019). Influencia de la incorporación de estabilizante iónico en la capacidad portante de un suelo arcilloso. La Universidad Privada Del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14784>
- Ventura, C., & Alarcón Mestanza, A. (2018). Suelos arcillosos mejorados con Cemento y Aditivo Con-Aid, para la estabilización de la subrasante, camino vecinal Ruta PA-701, Pasco, 2018. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34388>

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Mejoramiento de la subrasante con aditivo BioCEC para las deformaciones de las vías no pavimentadas en Alto Locumba, Tacna, 2023”						
Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicador	Método	Estadística
<p>Problema general: ¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la influencia del aditivo BioCEC en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023.</p>	<p>Hipótesis principal: El aditivo BioCEC influye en la subrasante de la vía no pavimentada en Alto Locumba, Jorge Basadre, Tacna, 2023.</p>	<p>Variable Independiente: Aditivo BioCEC</p>	<p>12 ml de la solución BioCEC+Agua desionizada por cada 1 kg de suelo seco.</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de la Investigación: Aplicativo</p>	<p>Razón</p>
<p>Problemas específicos: ¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba?</p> <p>¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en el índice de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba?</p> <p>¿Cuánto influye el aditivo BioCEC en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba?</p>	<p>Objetivos específicos: Determinar la influencia del aditivo BioCEC en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba.</p> <p>Determinar la influencia del aditivo BioCEC en los índices de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba.</p> <p>Determinar la influencia del aditivo BioCEC en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba.</p>	<p>Hipótesis específicas: El aditivo BioCEC influye significativamente en las características físicas de la subrasante en Alto Locumba.</p> <p>El aditivo BioCEC influye en los índices de plasticidad de la subrasante en Alto Locumba.</p> <p>El aditivo BioCEC influye en la resistencia de la subrasante en Alto Locumba.</p>	<p>Variable dependiente: Subrasante</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ California Bearing Ratio ▪ Granulometría ▪ Proctor Modificado ▪ Límites Atterberg 	<p>Tiempo social: Año 2023</p> <p>Población: Alto Locumba</p> <p>Muestra: Se utilizará 01 punto de muestreo en las vías no pavimentadas de Alto Locumba.</p>	<p>Razón</p> <p>Razón</p> <p>Razón</p>

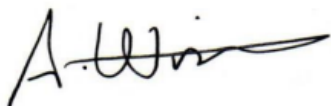
Anexo 2. BOLETA DE PAGO DEL ADITIVO BIOCEC

17 de agosto de 2023

BOLETA DE PAGO

Por medio del presente constatamos que el Srta. Jackelyn Janeth Chavez Chambilla con DNI 75384214 realizó el pago de S/. 60 soles por la adquisición de 1 litro de estabilizador de carreteras Biocec.

Atentamente,



Alvaro Wissar Brush
GERENTE DE OPERACIONES
BIOBAC PERU SAC
20601053714