



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**CAPACIDAD PORTANTE DE SUBRASANTES PERTENECIENTES A CAMINOS
AGRÍCOLAS DEL CANTÓN RIOBAMBA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
CONFINAMIENTO CON GEOCELDAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR

ROMERO FREIRE JORGE GUSTAVO

TUTOR

MGSC. VLADIMIR PAZMIÑO

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Romero Freire Jorge Gustavo**, con cédula de ciudadanía **0604236505**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Capacidad portante de subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas del cantón Riobamba, mediante la aplicación de confinamiento con geoceldas”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 29 días del mes de abril de 2024

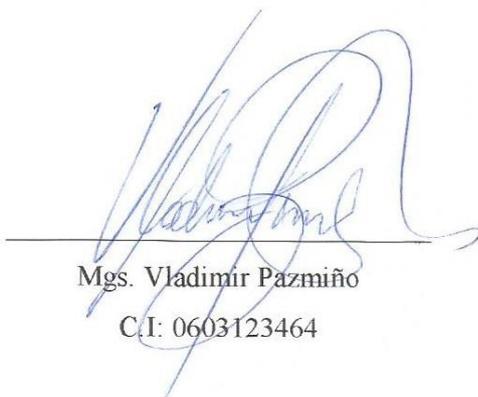


Romero Freire Jorge Gustavo
C.I:0604236505

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **MgSc. Vladimir Pazmiño** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Capacidad portante de subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas del cantón Riobamba, mediante la aplicación de confinamiento con geoceldas”**, bajo la autoría de **Romero Freire Jorge Gustavo**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 29 días del mes de abril de 2024



Mgs. Vladimir Pazmiño
C.I: 0603123464

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Capacidad portante de subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas del cantón Riobamba, mediante la aplicación de confinamiento con geoceldas**”, presentado por **Romero Freire Jorge Gustavo**, con cédula de identidad número **0604236505**, bajo la tutoría de **MgSc. Vladimir Pazmiño**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 29 días del mes de abril de 2024

Mgs. Ángel Edmundo Paredes García

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



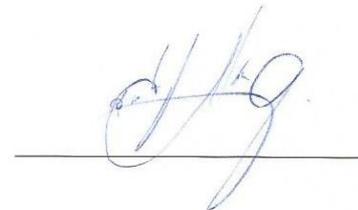
Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Carlos Sebastián Saldaña García

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento

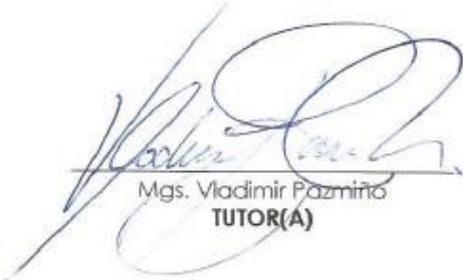


UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **ROMERO FREIRE JORGE GUSTAVO** con CC: **0604236505**, estudiante de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CAPACIDAD PORTANTE DE SUBRASANTES PERTENECIENTES A CAMINOS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN RIOBAMBA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CONFINAMIENTO CON GEOCELDAS**", cumple con el **10 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de abril de 2024



Mgs. Vladimir Pazmiño
TUTOR(A)

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis ángeles que están en el cielo, a quienes hice la promesa de darles mucho más que mi ingeniería lastimosamente al inicio y durante la carrera me golpeó su partida, va por ustedes angelitos y aún están pendiente algo más. A mis padres que ser mi motor y pilar fundamental para seguir en el camino, siempre serán mi ejemplo a seguir. A mis hermanos quienes están ahí conmigo en las buenas y malas, a mi familia que siempre me dieron el ánimo y el apoyo para cumplir este sueño, en especial a mi abuelita Eulalia por ser mi segunda madre y desde niño estar a mi lado.

Jorge Gustavo Romero Freire

AGRADECIMIENTO

Por mis principios y valores siempre empezare dándole gracias a Dios y a la Virgen Santísima por todas sus bendiciones sobre mí, a mis padres mis gratitud incondicional por su apoyo y compromiso conmigo desde pequeño para salir en adelante, a mi familia que siempre me dio su calor y apoyo para estar donde estoy, a mis 24/7 que nunca dejaron de poner el hombro y ser mi apoyo incondicional, gracias a todas y todos quienes han sido parte de mi vida y han visto por mi bienestar mostrándome su apoyo, lealtad, amor y cariño un Dios le pague por todo. Por último, daré gracias a mi universidad en especial a mis maestros por formarme y impartir sus conocimientos que serán útiles para servir a la sociedad.

Jorge Gustavo Romero Freire

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| DECLARATORIA DE AUTORÍA | |
| DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR | |
| CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL | |
| CERTIFICADO ANTIPLAGIO..... | |
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | |
| ACRONIMOS | |
| RESUMEN..... | |
| ABSTRACT | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN..... | 19 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 19 |
| 1.2 Justificación..... | 21 |
| 1.3 Objetivos | 21 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 21 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 21 |
| CAPÍTULO II..... | 22 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 22 |
| 2.1 Información geográfica del cantón Riobamba | 22 |
| 2.1.1 Subrasante | 22 |
| 2.1.2 Capacidad Portante | 22 |
| 2.2 Geoceldas | 23 |
| 2.3 Ahuellamiento | 25 |
| 2.3.1 Caminos agrícolas..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2 Tipos de suelo aptos para estructura vial | 27 |
| 2.3.3 Características que deben cumplir los suelos para conformar una subrasante..... | 28 |
| 2.4 Geogauge..... | 29 |
| 2.4.1 Fórmulas para el cálculo del CBR in situ con los datos del GeoGauge. | 30 |
| 2.4.2 Clasificación de suelos SUCS | 30 |
| 2.5 Método Proctor Estándar..... | 32 |
| 2.5.1 Interpretación ensayos Proctor | 33 |
| 2.5.2 Ensayo de CBR en laboratorio | 34 |
| 2.5.3 El Penetrómetro Dinámico de Cono | 35 |
| 2.5.4 Cálculo de ND | 37 |
| CAPÍTULO III | 38 |
| 3. METODOLOGIA..... | 38 |
| 3.1 Enfoque de investigación | 38 |
| 3.2 Tipo de Investigación..... | 38 |
| 3.2.1 Aplicada | 38 |
| 3.2.2 Explicativa..... | 39 |
| 3.3 Diseño de Investigación | 39 |
| 3.3.1 De campo..... | 39 |
| 3.3.2 Experimental..... | 39 |
| 3.4 Variables | 39 |
| 3.4.1 Variables dependientes | 39 |
| 3.4.2 Variables Independientes | 39 |
| 3.5 Técnicas de recolección de Datos..... | 39 |
| 3.6 Población de estudio y tamaño de muestra | 40 |
| 3.7 Hipótesis de ser el caso | 40 |
| 3.8 Métodos de análisis, y procesamiento de datos..... | 40 |
| CAPÍTULO IV | 42 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 42 |
| 4.1 | Características de las propiedades de las fichas técnicas de las geoceldas | 42 |
| 4.1.1 | Mapa delimitado de las parroquias rurales del cantón Riobamba | 42 |
| 4.1.2 | Mapa de vías seleccionadas para la toma de datos con el equipo Geogauge..... | 43 |
| 4.2 | Exploración de Campo..... | 43 |
| 4.3 | Módulo de Young de las vías obtenidas en la exploración de campo | 44 |
| 4.3.1 | Valores de CBR a partir del módulo de Young..... | 46 |
| 4.3.2 | Valores de CBR y PCI a partir del tipo de suelo obtenidos de la clasificación SUCS | 47 |
| 4.4 | Resultados del ensayo Proctor estándar | 50 |
| 4.4.1 | Curva de compactación del ensayo Proctor Estándar | 51 |
| 4.4.2 | Ensayo de CBR de Laboratorio | 53 |
| 4.4.3 | Curva de CBR a 12 golpes | 53 |
| 4.5 | Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G2 a 26 golpes | 54 |
| 4.6 | Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G3 a 56 golpes | 54 |
| 4.7 | Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G4 a 12 golpes | 55 |
| 4.8 | Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G5 a 26 golpes | 55 |
| 4.9 | Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G6 a 56 golpes | 56 |
| 4.10 | Resultados del Ensayo DCP | 57 |
| 4.10.1 | Resultados sin confinamiento con geoc | 57 |
| 4.10.2 | Resultados aplicando confinamiento..... | 58 |
| 4.11 | Datos de la vía de san Juan seleccionada para mejorar la capacidad portante de la estructura vial | 59 |
| 4.12 | Datos comparativos de costos vs tiempo | 60 |
| 4.13 | Costos del mantenimiento vial | 61 |
| | CAPÍTULO V..... | 62 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 62 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 62 |

| | |
|---------------------------|----|
| 5.2 Recomendaciones | 64 |
| BIBLIOGRAFÍA | 65 |
| ANEXOS..... | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Categorías de subrasante en función de su índice CBR..... | 28 |
| Tabla 2 Características mediante la SUCS..... | 32 |
| Tabla 3 Resultados módulo de Young y Modulo de Rigidez obtenidos por el Geogauge..... | 45 |
| Tabla 4 Resultado módulo de CBR a partir del módulo Young obtenido por el Geogauge..... | 46 |
| Tabla 5 Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo ML-LIMO..... | 47 |
| Tabla 6 Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SM_arena LIMOSA..... | 48 |
| Tabla 7 Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SP-arena MALGRADADA..... | 49 |
| Tabla 8 Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SP-SM-arena POBREMENTE GRADA CON LIMO..... | 49 |
| Tabla 9 Resultados de porcentaje de agua y porcentaje del peso específico del suelo compactado seco..... | 50 |
| Tabla 10 Resultados de la humedad y densidad optima del ensayo Proctor estándar..... | 52 |
| Tabla 11 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G1 a 12 golpes..... | 53 |
| Tabla 12 Relación de resultados de densidad e índice de CBR de la muestra 1..... | 56 |
| Tabla 13 Relación de resultados de densidad e índice de CBR de la muestra 2..... | 56 |
| Tabla 14 Resultados de la correlación del DCP y CBR..... | 57 |
| Tabla 15 Resultados de la correlación del DCP y CBR..... | 58 |
| Tabla 16 Correlación del Geogauge y CBR de la subrasante aplicada confinamiento con geoceldas..... | 59 |
| Tabla 17 Costo unitario por kilómetro de vía de estabilización con diferentes métodos..... | 60 |
| Tabla 18 Zonificación y ensayos de campo y laboratorio..... | 77 |
| Tabla 19 Coordenadas y longitudes de las vías seleccionadas..... | 78 |
| Tabla 20 Coordenadas y longitudes de las vías seleccionadas..... | 79 |
| Tabla 21 Datos obtenidos en puntos de los caminos agrícolas..... | 81 |
| Tabla 22 Datos obtenidos en puntos de los caminos agrícolas..... | 83 |
| Tabla 23 Datos obtenidos de la correlación del módulo de Young y CBR..... | 85 |
| Tabla 24 Datos obtenidos de la correlación del módulo de Young y CBR..... | 87 |
| Tabla 25 Datos de los pesos iniciales del ensayo..... | 89 |
| Tabla 26 Resultados iniciales obtenidos en el ensayo..... | 91 |
| Tabla 27 Resultados finales obtenidos en el ensayo..... | 92 |
| Tabla 28 Datos iniciales tomados para el ensayo..... | 93 |
| Tabla 29 Resultados obtenidos el primer día de ensayo..... | 94 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 30 Lecturas recolectadas de 5 días en los deformímetros de los 6 moldes | 96 |
| Tabla 31 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G1 compactado a 12 golpes | 97 |
| Tabla 32 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G2 compactado a 26 golpes | 98 |
| Tabla 33 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G3 compactado a 56 golpes | 99 |
| Tabla 34 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G4 compactado a 12 golpes | 100 |
| Tabla 35 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G5 compactado a 26 golpes | 101 |
| Tabla 36 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G6 compactado a 56 golpes | 102 |
| Tabla 37 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Cal óptimo | 104 |
| Tabla 38 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Sal óptimo | 105 |
| Tabla 39 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Geocelda..... | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Geoceldas en estado compactado y expandido..... | 23 |
| Figura 2 Carga ejercida por una rueda | 24 |
| Figura 3 Carga ejercida | 24 |
| Figura 4 Comportamiento del suelo no reforzado | 25 |
| Figura 5 Comportamiento del suelo reforzado con Geocelda | 25 |
| Figura 6 Deformaciones permanentes (ahuellamiento)..... | 26 |
| Figura 7 Instrumento Geogauge | 29 |
| Figura 8 Carta de plasticidad..... | 31 |
| Figura 9 Curva de saturación..... | 33 |
| Figura 10 Esquema del Penetrómetro dinámico de Cono | 35 |
| Figura 11 Caracterización de propiedades | 42 |
| Figura 12 Mapa de Riobamba con sus parroquias rurales..... | 42 |
| Figura 13 Vías y puntos seleccionados para la recolección de datos..... | 43 |
| Figura 14 Coordenadas iniciales y finales de las vías de suelos naturales | 44 |
| Figura 15 Resultados obtenidos con el Geogauge | 44 |
| Figura 16 Curva de compactación del ensayo Proctor Standar | 51 |
| Figura 17 Curva de CBR molde G1 a 12 golpes | 53 |
| Figura 18 Curva de CBR MOLDE G2 a 26 golpes | 54 |
| Figura 19 Curva de CBR molde G3 a 56 golpes | 54 |
| Figura 20 Curva de CBR molde G4 a 12 golpes | 55 |
| Figura 21 Curva de CBR molde G5 a 26 golpes | 55 |
| Figura 22 Curva de CBR molde G6 a 56 golpes | 56 |
| Figura 23 Curva de penetración vs. N. de golpes del ensayo DCP..... | 57 |
| Figura 24 Curva de penetración vs. N. de golpes del ensayo DCP..... | 58 |
| Figura 25 Resultados obtenidos con el Geogauge | 59 |
| Figura 26 Resultados del Geogauge correlacionados con dos métodos para obtener el CBR..... | 59 |
| Figura 27 Resultados del ensayo de CBR de laboratorio e In Situ | 60 |
| Figura 28 Comparativo temporal entre la inversión de una vía estabilizada con diferentes métodos | 61 |
| Figura 29 Caracterización de fichas técnicas de geocledas disponibles en el mercado Nacional: Ficha técnica Pawco Wavin | 67 |
| Figura 30 Ficha técnica de geoceldas Empresa Maccaferri..... | 68 |
| Figura 31 Mapa de Zonificación..... | 69 |
| Figura 32 Módulo de Young | 70 |
| Figura 33 Módulo de Rigidez..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 34 Toma de datos con Geogauge | 70 |
| Figura 35 Evidencia de toma de datos | 70 |
| Figura 36 Muestras de suelo de la vía seleccionada | 71 |
| Figura 37 Secado de la muestra para el ensayo | 71 |
| Figura 38 Peso del molde | 71 |
| Figura 39 Peso del cilindro + Suelo | 71 |
| Figura 40 Taras con distintos tipos de muestras | 72 |
| Figura 41 Muestra saturada | 72 |
| Figura 42 Peso de CBR de laboratorio | 72 |
| Figura 43 Equipo para ensayo de CBR | 72 |
| Figura 44 Cilindro + suelo compacto a su humedad optima | 73 |
| Figura 45 Lectura inicial del deformímetro | 73 |
| Figura 46 Muestras sumergidas | 73 |
| Figura 47 Colocación de cilindro en la prensa | 73 |
| Figura 48 Lectura del resultado obtenido | 74 |
| Figura 49 Peso de la Tara con la muestra | 74 |
| Figura 50 Extracción del suelo para nivelar | 74 |
| Figura 51 Vía nivelada | 74 |
| Figura 52 Geoceldas implementadas en las vías | 75 |
| Figura 53 Uso del mismo suelo natural para confinar con la Geocelda | 75 |
| Figura 54 Camino agrícola confinado | 75 |
| Figura 55 Equipo de ensayo DCP | 76 |
| Figura 56 Evidencia del ensayo | 76 |
| Figura 57 Lectura inicial | 76 |
| Figura 58 Lectura a los 25 golpes | 76 |

ACRONIMOS

CBR.- (California Bearing Ratio), El CBR es una medida comparativa de la resistencia al corte de un suelo, material granular o estabilizado.

Geocelda .- Una geocelda es un sistema de confinamiento celular que mejora los módulos de las capas de un pavimento.

Geosintéticos. - Materiales poliméricos sintéticos que se fabrican específicamente para ser utilizado en aplicaciones geotécnicas y geoambientales.

Ahuellamiento. - Es un tipo de deterioro que se produce en correspondencia con la huella de circulación de los vehículos con cada aplicación de carga.

Capacidad portante. - Es la máxima presión que puede soportar el suelo sin fallar y depende de la cohesión, ángulo de rozamiento interno, profundidad de cimentación y si el suelo está drenado o no.

Propiedades mecánicas del suelo. - Hace referencia a la a resistencia al corte, presión lateral del suelo, consolidación, capacidad de carga, permeabilidad y filtración y su estabilidad de taludes.

Fichas técnicas. - Es un documento que describe las características principales, la composición y las aplicaciones de un producto, aportando información detallada.

Geoespacial. - Permite rastrear un objeto concreto y atribuirle una ubicación específica.

Módulo de resiliencia. - Es la medida de la capacidad de un material de almacenar o absorber energía sin que este experimente deformación permanente.

Material Polimérico. - Los polímeros son moléculas grandes compuestas de largas cadenas de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Subrasante. - Es la superficie que soporta la estructura de pavimento.

Geogauge.- Es una herramienta de campo QC / QA única que se puede usar para medir la uniformidad de las capas de suelo sin unir midiendo la variabilidad de la rigidez.

DCP (Cono de penetración dinámica).- Es un instrumento diseñado para medir in situ las propiedades de las capas del suelo que constituyen la estructura de un pavimento, de una manera no destructiva, rápida y económica.

Módulo de Young.- El módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

In-situ.- En el lugar, en el sitio.

CCS.- (Sistema de confinamiento celular) Es un panel de estructura de geoceldas creada por la interacción 3D del suelo, los muros celulares y la geometría.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal analizar la capacidad portante de las subrasantes de caminos agrícolas en el cantón Riobamba, específicamente mediante la aplicación de confinamiento utilizando geoceldas. Se plantea la hipótesis de que el uso de geoceldas puede mejorar significativamente la capacidad portante de estas subrasantes, lo que ayudará a disminuir el ahuellamiento del camino mejorando las características mecánicas y resistencia de la infraestructura vial en la región. El estudio se llevará a cabo a través de un enfoque metodológico que incluye la recopilación de datos geotécnicos in situ, ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades del suelo y pruebas de carga en campo para evaluar el comportamiento estructural de las subrasantes con y sin geoceldas. Se utilizarán herramientas de análisis y modelado para interpretar los resultados obtenidos y validar la eficacia del confinamiento con geoceldas. Se espera que los hallazgos de esta investigación proporcionen información valiosa para el diseño y la construcción de caminos agrícolas en el cantón Riobamba y áreas similares, así como contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería de pavimentos y geotecnia. Estos resultados tendrán implicaciones prácticas significativas para mejorar la infraestructura vial en zonas rurales, promoviendo el desarrollo sostenible y la conectividad en la región.

Palabras claves: Subrasante, Geoceldas, Estabilizantes, Confinamiento, Caminos Agrícolas.

Abstract

The main objective of this thesis is to analyze the bearing capacity of the subgrades of agricultural roads in the Riobamba canton, specifically by applying confinement using geocells. It is hypothesized that using geocells can significantly improve the bearing capacity of these subgrades, which will help reduce road rutting by improving the mechanical characteristics and resistance of the road infrastructure in the region. The study will be carried out through a methodological approach that includes in situ geotechnical data collection, laboratory tests to characterize soil properties, and field loading tests to evaluate the structural behavior of subgrades with and without geocells. Analysis and modeling tools will be used to interpret the results obtained and validate the effectiveness of confinement with geocells. The findings of this research are expected to provide valuable information for the design and construction of agricultural roads in Riobamba and similar areas, as well as contribute to the advancement of knowledge in pavement engineering and geotechnics. These results will have significant practical implications for improving road infrastructure in rural areas, promoting sustainable development and connectivity in the region.

Keywords: Subgrade, Geocells, Stabilizers, Confinement, Agricultural Roads.



Reviewed by:
Msc. Gabriela de la Cruz Fernández
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603467929

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los caminos rurales son indispensables para el desarrollo tanto económico como social de las comunidades con poca población y sobretodo en la mayoría de veces se encuentran situados en sitios montañosos o semidesérticos, en la que poseen escaso acceso a los servicios básicos como salud, educación; en sí son aquellos caminos que permiten acortar distancias, ayuda en la conexión o enlace entre ciudades, pueblos, caminos que son utilizados para la producción ganadera, agrícola y turismo (Perez F. , 1980).

Para Sánchez el CBR es un ensayo que permite evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, que es medida a través de un ensayo de placa o escala; la definición de las siglas CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en ingles California Bearing Ration; es de gran importancia tener en cuenta que para elevar la capacidad portante de un suelo donde los valores de CBR son bajos se recurrirá como una opción a la utilización de las geoceldas (Sanchez, 2023).

Originalmente, las Geoceldas fueron desarrolladas por el cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos en la década de 1980, cuando intentaron construir vías tácticas sobre terrenos suaves. Los ingenieros estadounidenses identificaron que los sistemas de confinamiento serian la pieza más importante para la construcción de vías de acceso sobre terrenos blandos, razón por la cual empezaron a trabajar en redes de confinamientos celular (Riaño, 2018).

El funcionamiento correcto de las geoceldas ayuda en la elevación de la resistencia y rigidez del material el cual se puede explicar a partir del ensayo de capacidad, explica que al aumentar el confinamiento de la muestra de suelo es muy necesaria la aplicación de una carga o esfuerzo desviador (Gomez, 2011).

Las Geoceldas conocidas como Sistema de Confinamiento Celular (CCS), son mallas prefabricadas a partir de tiras de materiales poliméricos unidos a través de soldaduras que permiten tomar una forma de panal tridimensional, las tiras poliméricas pueden o no tener perforaciones y pueden llegar a estar interconectadas en dos estados: compactados o expandidas, sin embargo para un correcto funcionamiento es importante y necesario que se encuentren expandidas, ya que al estar en este estado es posible formar paneles tridimensionales capaces de contener en su interior cualquier tipo de suelo, grava, arena, roca u otro material compactado (Cancelli & Montanelli, 1993).

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los factores fundamentales para el desarrollo de vías es el suelo de base; es decir sobre la cual se construye, pero no siempre el suelo natural donde se construye los

caminos está en óptimas condiciones para una estructura vial, por lo que se considera inadecuado trabajar en ese tipo de suelos dificultando de esta manera sacar productos agrícolas, ganaderos, por lo mismo existe una alternativa en esta situación, que es remplazar el suelo débil con otro más resistente y mejorar las propiedades del suelo a través de la aplicación de diferentes técnicas de construcción.

La infraestructura vial es un asunto transversal al crecimiento económico, social de las comunidades y el mismo bienestar ciudadano del país, razón por la cual se ha desarrollado en la última década un gran avance en este ámbito, pues antes de este desarrollo no ha sido capaz de cubrir las necesidades de todas aquellas vías que se consideran pertinentes el lugares donde la rentabilidad no es suficiente o las condiciones presentes no permiten pavimentación de acuerdo a la normativa, recurriendo así a la implementación de caminos básicos (Oyarzun, 2018).

Hoy en día, al momento de diseñar y construir una estructura de pavimento encontramos que, en su mayoría los suelos que soportan las capas de dicha estructura presentan una capacidad portante baja debido a que si no se realiza una estabilización o mejoramiento acorde a las características del terreno, puede ocasionar que las vías presenten ahuellamiento en un lapso corto de tiempo o se fatiguen, lo que conlleva a costos elevados de las obras y más demoras en la construcción; por lo anterior nace una necesidad de implementar diferentes materiales que logren estabilizar, mejorar las propiedades mecánicas del suelo y así obtener una estructura de pavimento más resistente a los cambios climáticos a través de la utilización de las geoceldas (Escarraja & Mejia, 2019).

Actualmente en países como Ecuador, Colombia, Perú, se evidencia grandes problemas con el suelo usado como material de construcción, pues estos suelos tienen un comportamiento inestable (baja capacidad portante, susceptibles a cambios volumétricos, baja resistencia mecánica) lo cual que afecta a las estructuras de obras civiles que sobre él se construyen como es el caso de las estructuras viales, por tal razón varios países afectados han realizados investigaciones estudiando el comportamiento de varias muestras de suelo frente al uso de geoceldas (Oyarzun, 2018).

Chimborazo y su capital provincial Riobamba se caracterizan por tener una extensa producción agrícola y ganadera, las actividades productivas y de comercialización requiere el uso permanente de la infraestructura vial que en su mayoría no está pavimentada, derivando el uso de vehículos de tracción especial para evitar pérdidas de tiempo, de productos, inseguridad, sobre todo en estaciones invernales donde se experimenta suelos saturados con importantes cambios en la plasticidad y en su capacidad portante.

Con estos antecedentes surge la inquietud de analizar como la implementación de geoceldas puede elevar la capacidad portante de caminos de acceso a zonas de productoras de cantón Riobamba evaluando el cambio de estas propiedades mecánicas del suelo con equipos de medición in situ y ensayos en campo y comparaciones de laboratorio.

1.2 Justificación

La presente investigación busca a través del uso de las geoceldas analizar de capacidad portante aplicando confinamiento para subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas en la Ciudad de Riobamba y de esta manera demostrar su eficiencia en el confinamiento del suelo y su funcionabilidad al conceder al terreno mejores propiedades mecánicas como, por ejemplo, mayor resistencia y rigidez, por lo que, las geoceldas tienen un gran desarrollo que permite mejorar en sus materiales, mecanismos de funcionamiento y, además, tener un auge que les permita ser utilizadas dentro de múltiples aplicaciones en el mundo de la ingeniería.

El estudio a realizarse se basa en que nuestro país Ecuador específicamente en el Cantón Riobamba, existe una escasa aplicación de las geoceldas, debido a varios factores tanto económico o como el desconocimiento de estas técnicas de construcción, esto no solo se da en nuestra provincia también suele ocurrir a nivel nacional, razón por la cual se ve la necesidad de enriquecer los métodos constructivos para así poder obtener mejores vías que faciliten la movilidad del tránsito.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la capacidad portante aplicando confinamiento mediante geoceldas para subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas del cantón Riobamba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades de geoceldas aplicando análisis de fichas técnicas disponibles en el mercado nacional.
- Zonificar y realizar el muestreo de subrasantes pertenecientes a caminos de acceso agrícola del cantón Riobamba.
- Determinar la capacidad portante de muestras confinadas y naturales con una comparación de costos de implementación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Información geográfica del cantón Riobamba

En la obtención de datos geográficos referentes al cantón Riobamba se empleó el software Google Earth Pro, el cual es un programa intuitivo que permite obtener información espacial de la zona, ofrece un completo esquema de datos geoespaciales que se encuentran disponibles incluso con imágenes de alta resolución, en 3D por ciudades, mapas detallados de carreteras, imágenes panorámicas de calles, imágenes históricas, y puntos de interés importantes, como accidentes naturales, patrones climáticos entre otros.

2.1.1 Subrasante

Para (Mestre, 2020) subrasante es la capa en la que se soporta la estructura de pavimento o afirmado y su comportamiento se determina a través del módulo de resiliencia (Mr). Su función es resistir las cargas transmitidas por el tránsito desde la rasante y distribuir las uniformemente a fin de evitar fallas en el pavimento. Para tal fin, es estabilizada con materiales de altas propiedades mecánicas que mejore la estructura global y aumente la capacidad portante del suelo (INVIAS, 2008).

Entre los sistemas de estabilización de subrasantes se encuentra la estabilización mecánica, que se realiza a partir de la compactación del material de grano grueso y fino sobre el suelo de fundación; estabilización con aditivos químicos, que alteran las propiedades físico – químicas del suelo mediante el incremento en el soporte del mismo, mejorando su durabilidad; estabilización con materiales cementantes; y por último estabilización con geosintéticos, Estas actividades permiten mejorar funcionalmente el suelo, relacionado con el comportamiento del mismo y estructuralmente, lo que permite aumentar la capacidad de soportar cargas de tránsito. (Mestre, 2020)

2.1.2 Capacidad Portante

Según (Muñoz, 2015) se conoce como la resistencia a la deformación que posee un suelo para soportar las presiones causadas por las cargas ejercidas en la rasante y distribuidas hacia este, sin permitir que se generen fallas en su estructura, dependiendo de criterios funcionales como la densidad, humedad, resistencia a la presión cortante, entre otros (Muñoz, 2015). Entre los factores que afectan la capacidad portante se encuentran los efectos de retracción y expansión del suelo, licuefacción de los suelos por acción de cargas dinámicas, proximidad del nivel freático, ampliación de cargas inclinadas o excéntricas, defectos del subsuelo, erosión y corrosión del suelo (INVIAS, 2008). Otra falla que se encuentra en la subrasante es la falla por ahuellamiento, causada por el esfuerzo excesivo de

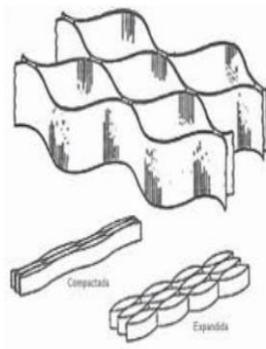
las capas inferiores de una carpeta asfáltica. Se considera un problema estructural, más que de los materiales en sí.

2.2 Geoceldas

Las Geoceldas, también conocidas como Sistema de Confinamiento Celular (CCS), son redes o mallas prefabricadas a partir de tiras de materiales poliméricos unidos mediante soldaduras que le permiten tomar una forma de panel tridimensional, tal como se evidencia en la siguiente figura. Las tiras poliméricas pueden o no tener perforaciones y pueden llegar a estar interconectadas en dos estados: compactadas o expandidas, sin embargo, para su correcto funcionamiento es necesario que se encuentren expandidas, pues en este estado es posible formar panales tridimensionales capaces de contener en su interior cualquier tipo de suelo, roca, grava, arena u otro material compactado (Cancelli & Montanelli, 1993).

Figura 1

Geoceldas en estado compactado y expandido



Nota. Tomado de (Cancelli & Montanelli, 1993).

Según Alexander Gómez, el funcionamiento de las Geoceldas, se puede explicar a partir del ensayo triaxial. Pues explica que al aumentar el confinamiento de la muestra de suelo, que en el caso del ensayo se refiere a σ_3 , es necesaria la aplicación de una carga o esfuerzo desviador, $\Delta\sigma$ en el ensayo, para generar la falla por corte del suelo (Gómez, 2011). Por esta razón, al confinar un material a partir de las Geoceldas se mayor su resistencia al corte previniendo su falla. Adicionalmente, Gómez explica que este aumento se genera, fundamentalmente, por el incremento en la cohesión de la muestra de suelo, que por su parte, se genera gracias al esfuerzo de tensión del material polimérico que conforma las Geoceldas. (Riaño, 2018)

Al desarrollar estas redes comprobaron su eficiencia en el confinamiento del suelo y su funcionalidad al conceder al terreno mejores propiedades mecánicas como, por ejemplo,

mayor resistencia y rigidez. Por esta razón, las Geoceldas empezaron a tener un gran desarrollo que permitió mejoras en sus materiales y mecanismos de funcionamiento y, además, tuvieron un auge que les permitió ser utilizadas dentro de múltiples aplicaciones en el mundo de la ingeniería. (Riaño, 2018)

Adicionalmente, el uso de las Geoceldas permite una reducción sustancial del costo de agregados y de su transporte, lo que hace de esta herramienta una solución económica y eficaz para los proyectos relacionados con la estabilidad del suelo. A continuación, se observa el funcionamiento de las Geoceldas en esta aplicación.

Figura 2

Carga ejercida por una rueda



Cuando las cargas transmitidas a la explanada debidas al tráfico (ruedas) son superiores a la capacidad portante del terreno se forman roderas.

Nota. Tomado de (Riaño, 2018)

Figura 3

Carga ejercida



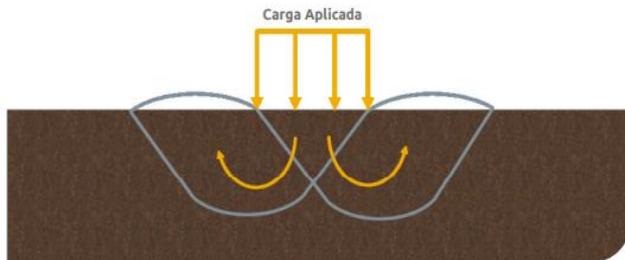
Las cargas transmitidas a la explanada debidas al tráfico (ruedas) son iguales a la capacidad portante del terreno por lo cual no se producen

Nota. Tomado de (Riaño, 2018)

Las estructuras reforzadas con Geoceldas presentan resistencia a la flexión, resistencia a la tracción y resistencia al corte, e interceptan los planos de falla de la subrasante (Zhou y Wen, 2008). La figura muestra los detalles del mecanismo de refuerzo de la Geocelda con y sin refuerzo. (Wavin, 2021)

Figura 4

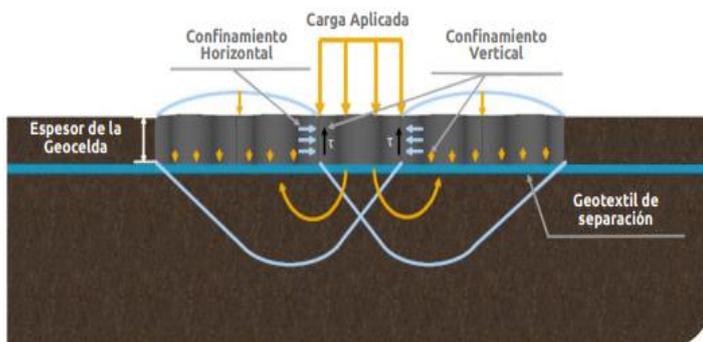
Comportamiento del suelo no reforzado



Nota. Tomado de (Wavin, 2021)

Figura 5

Comportamiento del suelo reforzado con Geocelda



Nota. Tomado de (Wavin, 2021)

Actualmente, las Geoceldas tienen una amplia gama de aplicaciones en el mundo de la ingeniería Civil, en donde las más destacadas corresponden a la estabilización y refuerzo de los suelos, la tecnología de las geoceldas es un sistema de confinamiento celular, el cual mediante la inclusión de material granular dentro de celdas de dimensiones específicas, garantiza una mejora en los módulos de las capas, lo que permite la optimización en los espesores de materiales granulares (Wavin, 2021).

2.3 Ahuellamiento

Para (Delbono, 2017) El ahuellamiento o deformación permanente es un tipo de deterioro que se produce en correspondencia con la huella de circulación de los vehículos con cada aplicación de carga y está representada por la acumulación de pequeñas

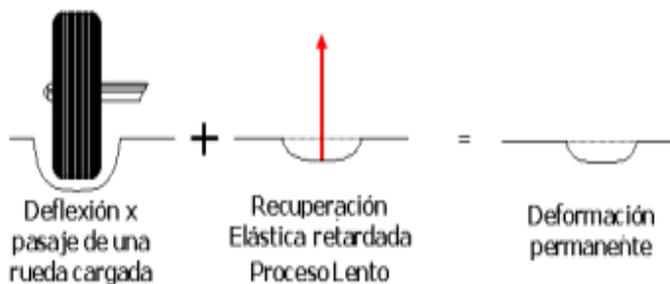
deformaciones verticales que son irrecuperables. Este tipo de falla es favorecido por los efectos combinados de elevadas cargas de tránsito y elevada temperatura.

El ahuellamiento se puede originar por varias razones: propiedades deficientes de los materiales que componen el paquete estructural, propiedades volumétricas erróneas y por las sollicitaciones sobre la estructura debidas al tránsito y las condiciones climáticas (altas temperaturas, cargas pesadas, bajas velocidades de circulación).

El diseño de la mezcla debe contemplar lo expuesto anteriormente para lo cual la mezcla debe ser resistente, flexible y durable de modo de enfrentar no solo el fenómeno del ahuellamiento sino los diferentes modos de falla que pueden manifestarse en un pavimento asfáltico como son: fisuración por fatiga y fisuración térmica que tienen condiciones totalmente diferentes en cuanto a su comportamiento (Delbono, 2017).

Figura 6

Deformaciones permanentes (ahuellamiento)



Nota. Tomado de (Delbono, 2017)

2.3.1 Caminos agrícolas

La conectividad que proveen los servicios de transporte es uno de los factores esenciales para un crecimiento sostenible. En este contexto, los caminos rurales son parte de las condiciones necesarias para un acceso igualitario a los servicios de salud, educación y justicia, así como a otros servicios sociales y administrativos necesarios para un desarrollo con igualdad. Su existencia y adecuado mantenimiento, facilita además la provisión de otros servicios de infraestructura esenciales como la electricidad, agua y saneamiento.

A pesar de este importante rol social, económico e incluso geoestratégico, aún existen territorios en América Latina donde las únicas vías de acceso son estrechos senderos peatonales con pendientes muy pronunciadas o con suelos inestables que impiden el uso de medios de transporte motorizados, o zonas donde la única vía de acceso, tanto para las personas como para carga, es por vía fluvial. A nivel mundial, se estima que más de 900 millones de habitantes de zonas rurales carecen de un acceso adecuado al sistema de

transporte formal (Robert y otros, 2006) siendo el aislamiento físico uno de los factores que explican el nivel de pobreza que usualmente se observa en estas poblaciones.

Avanzar hacia una conectividad pensada desde las personas y no desde la mera construcción de caminos, implica incorporar a las estrategias de diseño y mantenimiento de las vías el enfoque de derechos humanos. La falta de conectividad puede ser vista como una barrera para el pleno ejercicio y goce de los derechos humanos de la población rural, tanto los económicos, sociales y culturales, pero también los civiles y políticos. Una mejora en la accesibilidad de los caminos rurales trae aparejada entonces, no solamente un aumento en la calidad de vida de los habitantes, permitiéndoles acceder a mejores niveles de educación y salud, comunicación entre asentamientos rurales y grandes centros urbanos, sino también, al facilitar e incrementar la movilidad de las personas, estimula el desarrollo de un mayor número de actividades económicas, sociales, políticas y culturales. (Perez, 2020)

En el caso particular de los caminos rurales, entendiendo por esto, tanto los caminos secundarios (volumen de tránsito estimado mayor o igual a 150 vehículos/día y menor a los 700 vehículos/día) o terciarios de la red vial (menor a los 150 vehículos/día), su existencia y su nivel de funcionamiento poseen una importancia fundamental para la conectividad con el territorio, así como para proveer servicios de movilidad tanto a la población que allí reside como a las cadenas logísticas agroindustriales y otros bienes que allí se producen. (Perez, 2020)

Dentro de este marco conceptual, (Perez, 2020) menciona que la conectividad es uno de los elementos fundamentales para concebir una red de caminos rurales que aporten al desarrollo sostenible con igualdad. En términos muy simples, la conectividad es la existencia de una unión de entre dos puntos, ya sea entre personas y localidades, o entre estas y puntos particulares del territorio concentradores de viajes, como podrían ser las capitales subnacionales o puntos de salida de productos (mercados, puertos, entre otros). Desde un punto de vista funcional, la conectividad puede ser definida también, como la capacidad de colocar bienes, servicios, información y personas entre distintos puntos del territorio en función de las demandas de los distintos ámbitos de interés nacional (Figuerola y Rozas, 2006).

2.3.2 Tipos de suelo aptos para estructura vial

El tipo de suelo apto para una estructura vial depende de varios factores, como el tipo de pavimento que se va a utilizar, la carga de tráfico prevista, las condiciones climáticas y la disponibilidad de materiales locales. En general, se prefieren suelos estables y con buena capacidad de soporte para garantizar la durabilidad y seguridad de la estructura vial.

Algunos suelos comúnmente utilizados en la construcción de carreteras incluyen:

- **Suelo granular bien compactado:** Este tipo de suelo, como la grava o la arena compactada, proporciona una buena capacidad de drenaje y soporte para el pavimento.
- **Suelo cohesivo:** Arcillas y limos que pueden ser estabilizados para mejorar su resistencia y evitar problemas de asentamiento.
- **Suelos estabilizados:** Mediante técnicas como la estabilización química o mecánica, se pueden mejorar las propiedades de suelos menos adecuados para la construcción de carreteras.
- **Suelos rocosos:** En áreas donde existen afloramientos rocosos, se pueden utilizar como base sólida para la construcción de carreteras.

2.3.3 Características que deben cumplir los suelos para conformar una subrasante.

Según el (MTC, 2014), una vez definido el valor de índice CBR para cada tramo con características homogéneas, se determinará la categoría de subrasante perteneciente a dicho valor de CBR.

Tabla 1

Categorías de subrasante en función de su índice CBR

| Categorías de subrasante | Índice CBR |
|--------------------------|------------------------|
| Subrasante inadecuada | $CBR < 3\%$ |
| Subrasante insuficiente | $3\% \leq CBR < 6\%$ |
| Subrasante regular | $6\% \leq CBR < 10\%$ |
| Subrasante buena | $10\% \leq CBR < 20\%$ |
| Subrasante muy buena | $20\% \leq CBR < 30\%$ |
| Subrasante excelente | $30\% \leq CBR$ |

Nota. Tomado de (MTC, 2014)

Para poder asignar la categoría de la subrasante indicada en la *Tabla 3*, los suelos de la explanación deberán tener un ancho mínimo de 0.60m del material correspondiente a la categoría asignada, caso contrario se le asigna la calidad inferior.

Para ser conformado como subrasante el suelo según el (MTC, 2014), deberán ser suelos adecuados estables con $\text{CBR} \geq 6\%$; En el caso contrario con $\text{CBR} < 6\%$ corresponde estabilizar los suelos.

2.4 Geogauge

Figura 7

Instrumento Geogauge



Nota. Tomado de (Narvaez, 2017)

El Geogauge puede ser aplicado en cualquier lugar que exista la necesidad de evaluar estructuralmente un material, El CBR puede ser estimado a partir de las mediciones del Geogauge mediante el uso de la ecuación, donde el CBR está dado en porcentaje (%) y KG es la rigidez en (MN/m) determinada por el Geogauge, este instrumento trabaja con un coeficiente de correlación R^2 de 0.84 para todos los datos provistos. (Narvaez, 2017)

El medidor de rigidez de Humboldt (GeoGauge) es un instrumento portátil que proporciona un método rápido, sencillo y preciso para medir directamente la rigidez y el módulo, dos propiedades mecánicas claves en la compactación de suelos. También proporciona medios alternativos para estimar la reacción de la subrasante, CBR y densidad del suelo (Alvarez, 2003).

Para (Alvarez, 2003) el GeoGauge fabricado por Humboldt está dirigido a cubrir una necesidad existente desde que la calidad pasó a ser un importantísimo factor a considerar en la construcción de obras sobre tierra. La necesidad en cuestión es el control del proceso de construcción mediante los mismos parámetros que fueron utilizados para el diseño. Por ejemplo, en las carreteras:

- La rigidez es usada para asegurar la transferencia uniforme y efectiva de cargas desde el pavimento a la base, subbase y subrasante.
- El módulo es usado para asegurar que cada componente del suelo permite al sistema de autopista funcionar como es requerido.

El GeoGauge mide la impedancia en la superficie del suelo, en otras palabras, mide el esfuerzo impartido al suelo y la velocidad superficial resultante como una función del tiempo. La rigidez, fuerza sobre deflexión, se deduce directamente de la impedancia. El GeoGauge imparte desplazamientos muy pequeños al suelo ($< 1.27 \cdot 10^{-6}m$ o $< 0.00005''$) a 25 frecuencias estables programadas entre 100 y 196 Hz. La rigidez es determinada a cada frecuencia y lo que se muestra es el promedio de las mediciones a las 25 frecuencias. El proceso completo tarda alrededor de un minuto. A estas bajas frecuencias, la impedancia en la superficie es rigidez controlada y es proporcional al módulo de corte del suelo. Con la razón de Poisson, los módulos de corte y de Young pueden deducirse (Alvarez, 2003).

2.4.1 Fórmulas para el cálculo del CBR in situ con los datos del GeoGauge.

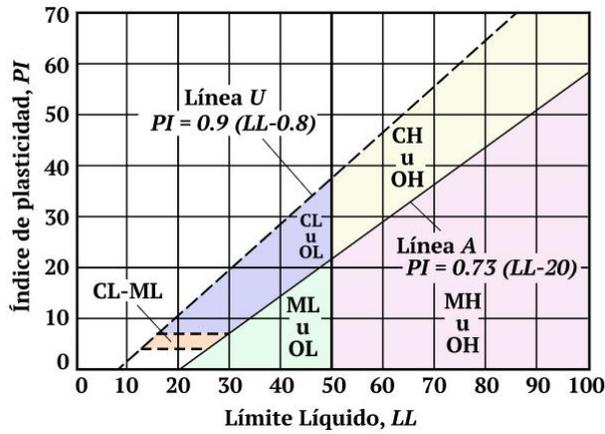
El equipo GeoGauge indica los datos del módulo de rigidez del suelo y el módulo de Young. Es por lo que para obtener el CBR de los puntos de las diferentes vías se utilizan dos fórmulas las cuales son una empírica usada en España para la obtención del CBR in situ el cual la fórmula es $(T) E = 10x CBR$, como a su vez se utiliza la fórmula de Powell el cual es $(P) E = 17.6(CBR)^{0.64}$ la cual se utiliza con mayor frecuencia en Latinoamérica.

2.4.2 Clasificación de suelos SUCS

La práctica estándar del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), detalla la metodología en cuanto a la clasificación ya sea orgánica y minera de los suelos enfocados en la ingeniería, que mediante ensayos de laboratorio rutinario se puede obtener las características granulométricas e índices de consistencia como (límite líquido e índice plástico) del suelo analizado, que mediante la gráfica la carta de plasticidad podemos identificar el tipo de suelo.

Figura 8

Carta de plasticidad



Nota. Tomado de (Olarvarria, 2022)

Cabe recalcar que, en la ausencia de suelos finos, la clasificación de gravas o arena depende del coeficiente de uniformidad (C_u):

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

de igual forma el Coeficiente de curvatura (C_c), genera información con respecto a la convexidad que presenta la curva granulométrica.

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

Para la obtención de valores D_{10} , D_{30} y D_{60} se empleará la siguiente formula:

$$D_x = \frac{D_2 - D_1}{\log\%_2 - \log\%_1} * \log\%_x - \log\%_1 + D_1 \quad (4)$$

Los límites de Atterberg, es empleada en la presencia de suelos finos, este ensayo se lo realiza mediante la clasificación de los suelos según los límites de consistencia que presenten los suelos. (Santamarina J. C., 2002)

Tabla 2*Características mediante la SUCS*

| Nombre del grupo | Símbolo del grupo | Criterio |
|-----------------------------------|--------------------------|--|
| Arena Limosa | SM | Mas del 12% pasa por el tamiz N° 200; Limites de Atterberg cae debajo de la línea A o $IP > 4$ |
| Limo | ML | Inorgánico; $LL < 50$; $IP < 4$; Limites de Atterberg cae debajo de la línea A. |
| Arena pobremente gradada con limo | SP-SM | El porcentaje que pasa el tamiz N° 200 esta entre 5 a 12. Reúne criterios para SP y SM. |
| Arena bien gradada | SP | Menos del 5% pasa el tamiz N° 200; no reúne los criterios para SW. |
| Arena mal gradada | SW | Menos del 5% pasa por el tamiz N° 200; $Cu \geq 6$; $Cc =$ esta entre 1 y 3. |

Nota. La tabla describe los tipos de suelos que se encontraron en el área de estudio. Tomado de (Ingeniería, Clasificación del suelo. 3 (1), 2020)

2.5 Método Proctor Estándar

El ensayo Proctor estándar persigue determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad optima necesaria para alcanzar esta densidad. Para ello se utiliza un molde cilíndrico de 1 litro de capacidad que se rellena con 3 capas de material debidamente compactadas mediante una maza estandarizada de 2,5 kg que se deja caer libremente una altura de 305 mm. (Rondon, 2018)

El material a ensayar previamente se ha desecado y tamizado por el tamiz 20 mm UNE o el correspondiente ASTM y posteriormente humedecido con distintos valores de humedad, una por cada muestra necesaria.

Para la compactación de cada capa de material se emplean 26 golpes de la maza distribuidos homogéneamente sobre la superficie del terreno. Las tres capas deben tener aproximadamente la misma altura de tierras.

Una vez compactado el material, se enraza el molde y se mide la densidad y humedad de una muestra tomada del centro del molde. Se repite el proceso varias veces con distintos contenidos de humedad. La prueba de compactación Proctor Normal puede darse por finalizada cuando se obtienen 5 o 6 puntos que definen una curva que relaciona la densidad seca con la humedad. (Rondon, 2018)

2.5.1 Interpretación ensayos Proctor

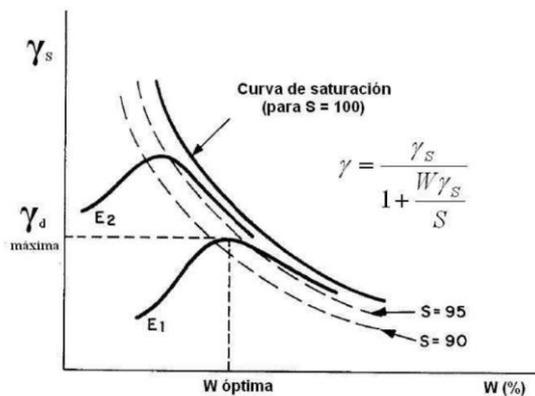
El acta del ensayo Proctor debe proporcionar la densidad máxima seca, así como la humedad óptima y lo que es más importante la curva humedad – densidad seca con los valores de todos los puntos ensayados. (Rondon, 2018)

Como datos complementarios debe proporcionar los datos específicos del molde, características de la masa, número de capas, y golpes por capa.

La curva densidad seca – humedad permite determinar las condiciones óptimas de compactación tal y como se muestra en la figura siguiente:

Figura 9

Curva de saturación



Nota. Tomado de (Rondon, 2018)

Estas condiciones serían las ideales para alcanzar en obra y suele corresponderse con un grado de saturación correspondiente entre el 85 y el 90%.

La línea que representa un grado de saturación del 100% es generalmente paralela a la línea de mayor humedad resultante del ensayo.

Si se aumenta la energía de compactación se obtienen curvas similares, pero con un incremento en la densidad máxima y menor humedad óptima.

No obstante, la densidad máxima para un determinado grado de humedad no será nunca mayor que la correspondiente a la del suelo saturado, es decir, la curva de saturación

(S=100) nunca será superada por ninguna curva de compactación independientemente de la energía empleada (Rondon, 2018).

2.5.2 Ensayo de CBR en laboratorio

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos. La prueba CBR de suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado. (Geotecnia, 2019)

Además, se obtiene como la relación de la carga unitaria (por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración dentro de la muestra de suelo compactada un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación, esto se puede expresar como: (U-Cursos, 2019)

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100 (\%)$$

Los ensayos se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptima para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificado). (U-Cursos, 2019)

A menudo se compactan dos moldes de suelo: uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejarlo saturar por un periodo de 96 horas; este último se sobrecarga con un peso similar al del pavimento, pero en ningún caso menor que 4.5 kg.

Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente.

En ambos ensayos, se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utiliza durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos: (U-Cursos, 2019)

1. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
2. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una velocidad de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Se toman lecturas de carga versus penetración cada 0.64 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual

se toman lecturas con velocidades de penetración de 2.5 mm/min hasta obtener una penetración total de 12.7 mm. (U-Cursos, 2019)

El valor del CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización como base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas. (U-Cursos, 2019)

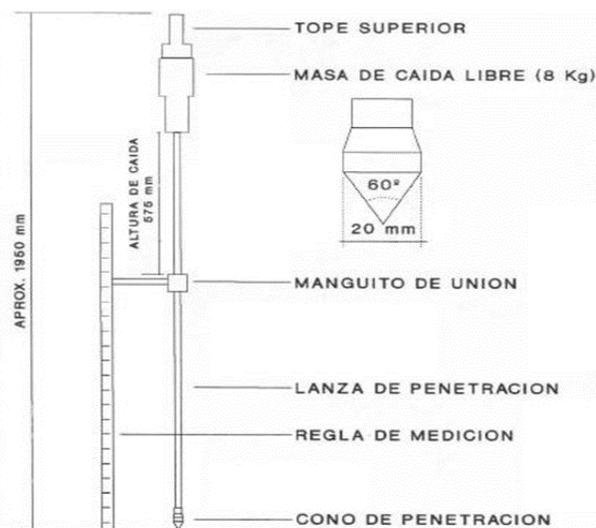
2.5.3 El Penetrómetro Dinámico de Cono

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) ha sido utilizado durante mucho tiempo por los Ingenieros como un método no-destructivo de ensayo capaz de medir la capacidad estructural in situ del pavimento y del suelo de fundación. El instrumento mide la penetración dinámica por golpe, a través de las distintas capas componentes de un pavimento que sean levemente cementadas, materiales granulares o suelos. Esta penetración es función de la resistencia al corte in situ de los materiales del paquete estructural.

El mismo está compuesto de una lanza provista de una punta cónica (en su extremo de penetración) de dimensiones establecidas que se hinca a través de las distintas capas componentes del pavimento a partir de la energía suministrada por una masa de peso conocido que cae libremente desde una altura prefijada.

Figura 10

Esquema del Penetrómetro dinámico de Cono



Nota. Tomado de (Angelone, Tosticarelli, & Martinez, 1994)

La penetración medida es una función de la resistencia al corte "in situ" de los materiales y el perfil de resistencias en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales (en el lugar) de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada (Angelone, Tosticarelli, & Martinez, 1994).

Dado que los resultados del DCP dependen fuertemente de las características del equipo empleado, para la construcción de un prototipo, se decidió adoptar el diseño desarrollado en Sudáfrica. Esta elección está fundamentada en que fueron los sudafricanos quienes llevaron a cabo las mayores aplicaciones prácticas contando con una gran cantidad de correlaciones entre este equipo y otros empleados por la técnica vial (por ejemplo, el Heavy Vehicle Simulator), con una interpretación más completa de los datos del ensayo. (Angelone, Tosticarelli, & Martinez, 1994)

Ecuación 1 - CBR (KLEYN 1975)

La ecuación que proporcionas es un modelo empírico para predecir el Índice de Soporte California (CBR) en función de la variable ND. Aquí tienes una descripción:

$$\text{CBR} = 10 - 1.2865 * \text{LOG}(\text{ND}) + 2.7306$$

CBR: El Índice de Soporte California (California Bearing Ratio en inglés, CBR) es una medida de la resistencia relativa de un suelo usado en ingeniería civil.

Se utiliza para evaluar la calidad del suelo como sub-base o base para pavimentos.

ND: Esta variable representa un factor que influye en la resistencia del suelo, aunque no has proporcionado una definición específica. Puede representar propiedades como la densidad, la humedad o características de composición del suelo.

La ecuación es una función logarítmica, lo que implica que el CBR varía de manera no lineal con respecto a ND. Los coeficientes (-1.2865) y (2.7306) ponderan la contribución de LOG (ND) y la constante, respectivamente, en el cálculo del CBR.

Una interpretación general de la ecuación sería que a medida que el valor de ND aumenta, el CBR tiende a disminuir, lo que sugiere que el suelo es menos resistente. Por otro lado, si ND disminuye, el CBR tenderá a aumentar, indicando un suelo potencialmente más resistente (Aragundi, 2019).

Ecuación 2 - CBR (KLEYN 1975 & HEERDEN 1983)

La ecuación que has proporcionado es un modelo matemático que relaciona el Índice de Soporte California (CBR) con el factor ND. El CBR es una medida de la resistencia relativa de un suelo utilizado en ingeniería civil y geotécnica, mientras que ND es una variable que influye en esta resistencia.

La ecuación se presenta en la forma:

$$\text{CBR} = 10 - 1.314 * \text{LOG}(\text{ND}) + 2.6637$$

Ecuación 3 - (HARRINSON 1987)

$$\text{CBR} = 10 - 1.31 * \text{LOG}(\text{ND}) + 2.790$$

Es un modelo matemático utilizado en ingeniería geotécnica para estimar el Índice de Soporte California (CBR) en función de la variable ND.

2.5.4 Cálculo de ND

El valor de la variable ND, que influye en la ecuación para el Índice de Soporte California (CBR), generalmente se determina mediante pruebas de laboratorio o mediciones en el campo. ND puede representar diferentes propiedades del suelo, como densidad, humedad, contenido de grano grueso, contenido de arcilla, entre otros, dependiendo del contexto específico de la aplicación.

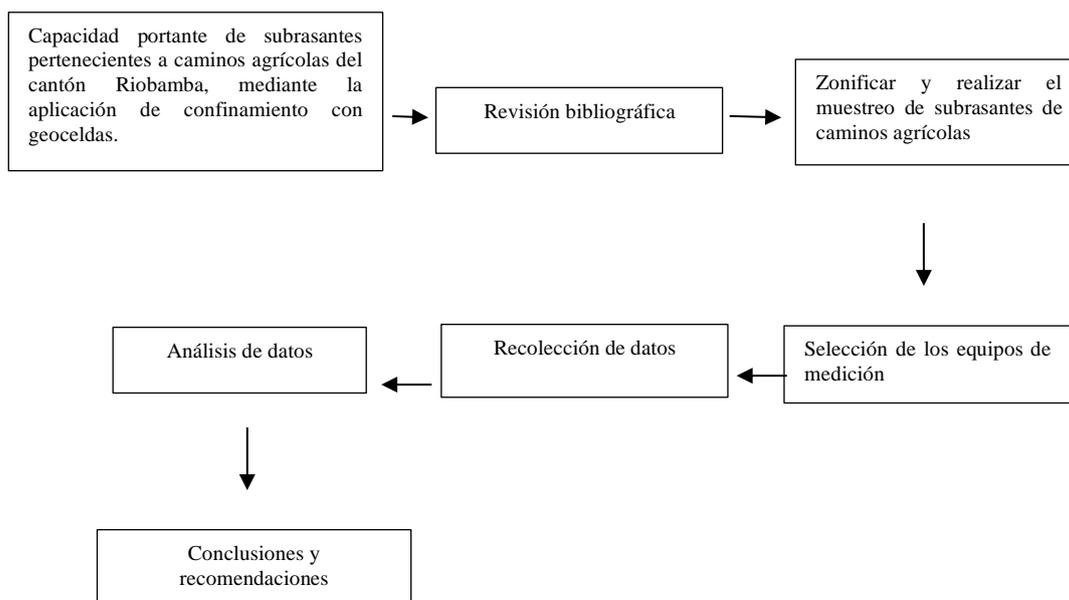
Es importante tener en cuenta que el método específico para calcular ND dependerá del propósito de la evaluación, la disponibilidad de datos y recursos, y las especificaciones del proyecto. Es recomendable consultar las normas técnicas y procedimientos establecidos en ingeniería geotécnica para determinar el método más adecuado en cada caso.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

Esquema 1

Esquema de metodología aplicada



Nota. Elaboración propia

3.1 Enfoque de investigación

La presente investigación cuenta con un enfoque cuantitativo ya que implica medir la capacidad portante de caminos agrícolas naturales utilizando datos numéricos buscando obtener resultados cuantificables para evaluar el impacto del confinamiento de geoceldas en la capacidad portante de las subrasantes.

3.2 Tipo de Investigación

3.2.1 Aplicada

La presente investigación es aplicada ya que se está usando una técnica específica, como el confinamiento de geoceldas, para evaluar y mejorar la capacidad portante de las subrasantes en caminos agrícolas; además busca abordar problemas prácticos y proporcionar soluciones concretas a través de la aplicación de conocimientos teóricos.

3.2.2 Explicativa

La investigación se enfoca en explicar cómo la capacidad portante de las subrasantes en caminos agrícolas del cantón Riobamba puede mejorarse mediante la aplicación específica de confinamiento con geoceldas.

3.3 Diseño de Investigación

3.3.1 De campo

La presente investigación implica recolección de datos directamente en el entorno natural y específico de los caminos agrícolas del cantón Riobamba, pues este tipo de investigación implica la observación y medición in situ, proporcionando información sobre el comportamiento real de las subrasantes bajo las condiciones reales de campo, que lo permiten tener resultados representativos y aplicables al contexto específico de estudio.

3.3.2 Experimental

En este caso se está aplicando una intervención específica, como el confinamiento de geoceldas, para evaluar su impacto en la capacidad portante de las subrasantes, es decir involucra la manipulación de variables dependientes, con el objetivo de establecer relaciones causales.

3.4 Variables

3.4.1 Variables dependientes

Capacidad portante de la subrasante: En este caso, se refiere a la capacidad del suelo para soportar cargas, especialmente cuando se utiliza el confinamiento con geoceldas en caminos agrícolas.

3.4.2 Variables Independientes

Confinamiento con geoceldas: Esta es la variable que manipulas o controlas en tu estudio. Representa la aplicación de geoceldas como técnica de mejora en la subrasante de los caminos agrícolas. Es la condición que se cambia o se manipula para observar su efecto en la variable dependiente.

3.5 Técnicas de recolección de Datos

Ensayo de campo: Realización de pruebas directamente en el lugar para medir la capacidad de carga del suelo bajo diferentes condiciones y aplicaciones de geoceldas.

Muestreo de suelos: Recoleccion de muestras representativas de subrasante para analizar propiedades físicas y mecánicas en laboratorio.

Aplicación de Geoceldas: Se aplica el tratamiento de confinamiento con geoceldas a ciertas áreas de las subrasantes seleccionadas.

Medición Posterior: Se vuelven a medir las capacidades portantes de las subrasantes después de la aplicación de geoceldas.

Análisis Estadístico: Se utilizan técnicas estadísticas, como pruebas de hipótesis, análisis de varianza (ANOVA), y otras pruebas apropiadas, para determinar si existen diferencias significativas en la capacidad portante antes y después de la aplicación de geoceldas.

Registro de Datos: Se registran y documentan todos los datos recopilados de manera sistemática.

3.6 Población de estudio y tamaño de muestra

La población de estudio es el conjunto completo de subrasantes pertenecientes a caminos agrícolas en el cantón Riobamba que podrían beneficiarse de la aplicación de confinamiento con geoceldas. La población se compone de todos los caminos agrícolas en el cantón que requieren mejoras en su capacidad portante.

Riobamba está dividido en 11 Parroquias Rurales, su principal fuente de ingreso en su mayoría es de la agricultura y ganadería por lo que es necesario tener un adecuado sistema vial para el fácil acceso a las zonas de producción; con la ayuda de una base de datos del GADPCH se depuró y seleccionó las vías que no tienen ningún tipo de intervención por ende las subrasantes son naturales.

Inicialmente fueron 42 vías las que no han sido intervenidas con materiales granulares y presentaban condiciones óptimas para zonificación y extracción de resultados, en la toma de datos de campo se agregaron 7 vías para tener mayor respaldo al momento de procesar los resultados.

Con la zonificación de las Parroquias se procede a la toma de resultados con el equipo Geogauge que arroja valores del módulo de rigidez y módulo de Young, cada parroquia presenta diferentes condiciones climáticas y de calidad de suelo de esta manera en la parroquia San Juan se tiene los resultados más bajos para aplicar el confinamiento con geoceldas.

3.7 Hipótesis de ser el caso

¿La utilización de geoceldas en vías donde la subrasante tiene un CBR bajo elevará la capacidad portante del suelo?

3.8 Métodos de análisis, y procesamiento de datos

Análisis y recolección de fuentes bibliográficas para el uso de geoceldas, determinar los equipos a utilizarse: Equipo de geogauge para obtener el módulo de young de los diferentes caminos, se realiza ensayos en el laboratorio como el Proctor estándar para

encontrar la humedad optima, ensayo de CBR siguiendo la normativa ASTM, después de aplicar las geoceldas en la vía seleccionada se realiza un ensayo in-situ de CBR para realizar la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio y los datos obtenidos en el campo.

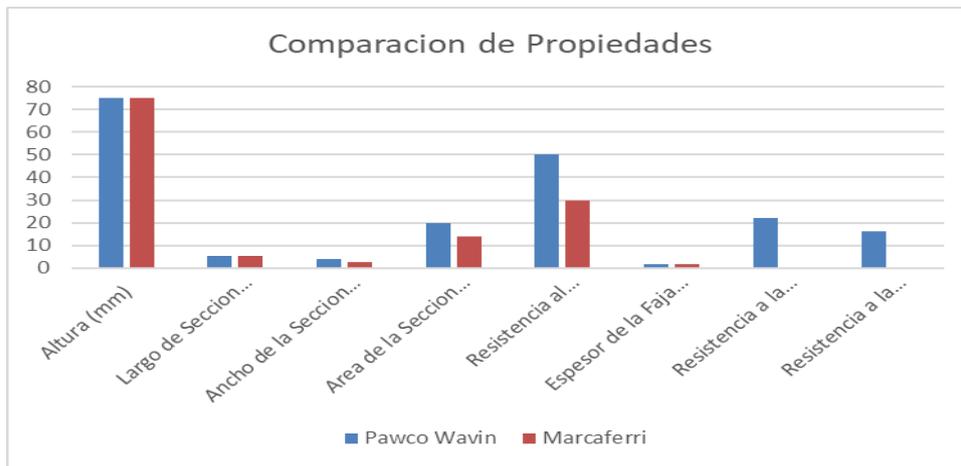
CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características de las propiedades de las fichas técnicas de las geoceldas

Figura 11

Caracterización de propiedades

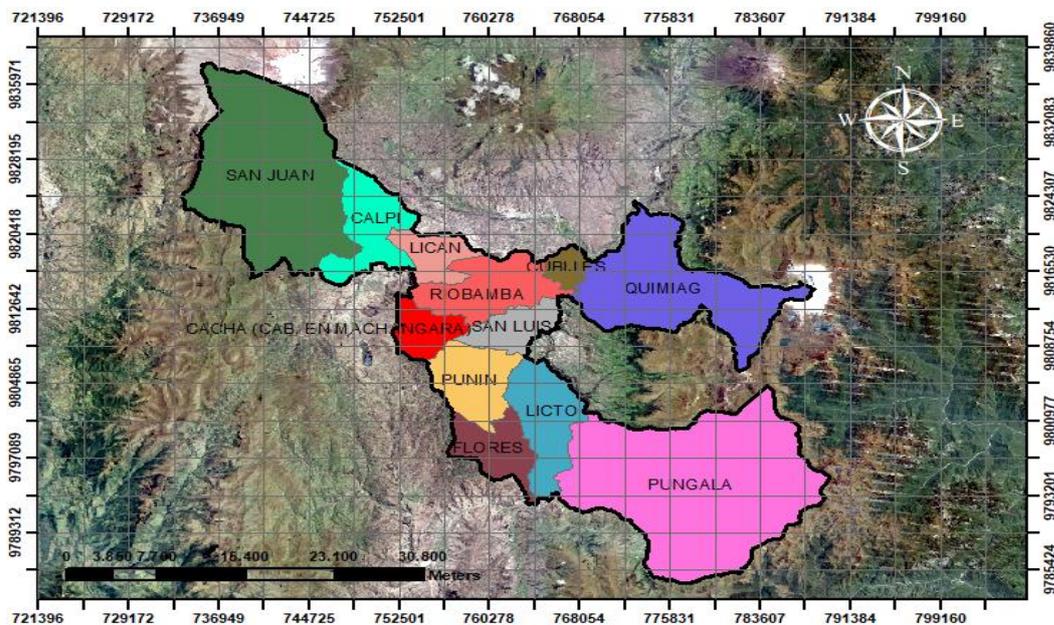


Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.1.1 Mapa delimitado de las parroquias rurales del cantón Riobamba

Figura 12

Mapa de Riobamba con sus parroquias rurales



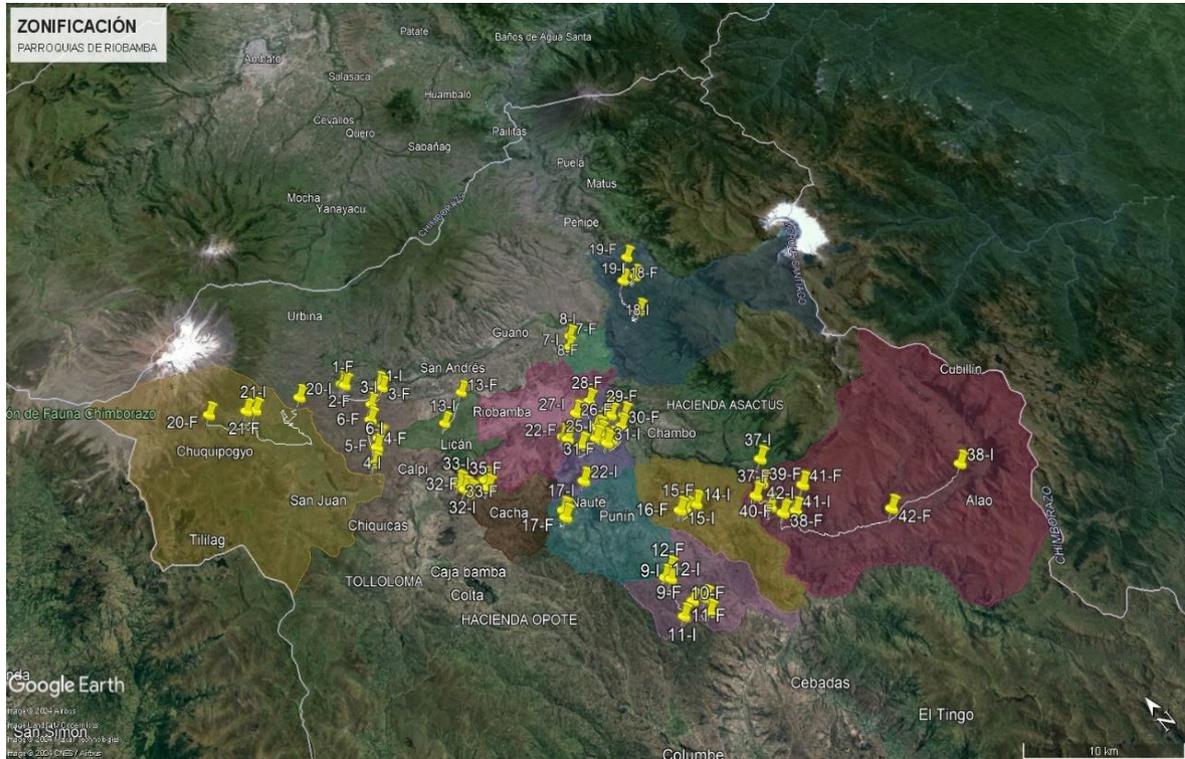
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se presenta la delimitación por parroquias rurales del cantón Riobamba con mallado de 3888.239m x 3888.239m, representa el salto sistemático de cada lado de la celda del mallado.

4.1.2 Mapa de vías seleccionadas para la toma de datos con el equipo Geogauge

Figura 13

Vías y puntos seleccionados para la recolección de datos



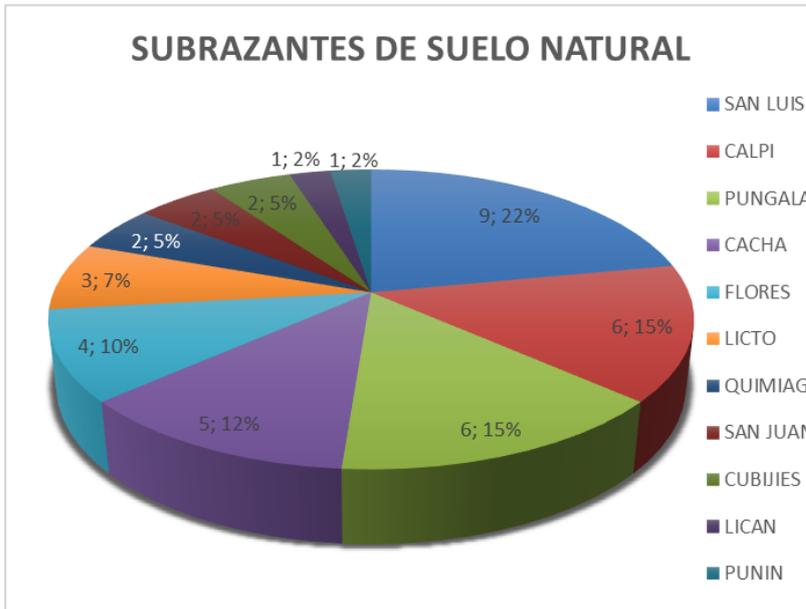
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.2 Exploración de Campo

Para la exploración de campo se utilizó la base de datos del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Chimborazo plasmada en una hoja de Excel, en la que se selecciona las vías pertenecientes a las parroquias rurales del cantón Riobamba que no han sido intervenidas con ningún tipo de agregado.

Figura 14

Coordenadas iniciales y finales de las vías de suelos naturales



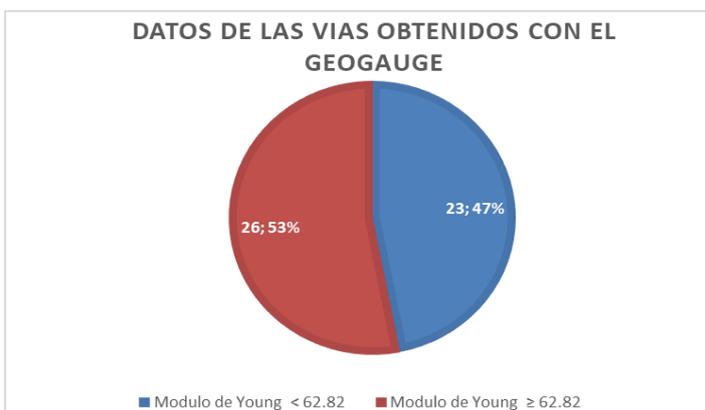
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se encuentran las 42 vías que fueron seleccionadas de la hoja de Excel del GAD provincial de Chimborazo (Anexo 3, tablas #...), donde detalla las coordenadas iniciales y finales de cada una de las vías de suelo natural ubicadas en las 11 parroquias rurales del cantón Riobamba.

4.3 Módulo de Young de las vías obtenidas en la exploración de campo

Figura 15

Resultados obtenidos con el Geogauge



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se muestra los resultados divididos en base al Módulo de Rigidez con 14 de las 49 vías seleccionadas con valores inferiores a 7.

Tabla 3*Resultados del módulo de Young y Modulo de Rigidez obtenidos por el Geogauge*

| Nº VIA | M. 1 RIGIDEZ | M. 1 YOUNG | COORDENADA UTM 1 | | M. 2 RIGIDEZ | M. 2 YOUNG | COORDENADA UTM 2 | |
|--------|--------------|------------|------------------|---------|--------------|------------|------------------|------------|
| 23 | 2.24 | 16.65 | 771232 | 9813443 | 3.89 | 28.84 | 771332 | 9813443 |
| 26 | 2.35 | 17.41 | 747440 | 9826689 | 2.76 | 20.49 | 747668 | 9826671 |
| 24 | 2.94 | 21.7 | 746871 | 9826984 | 2.56 | 19 | 746873 | 982712 |
| 49 | 3.77 | 27.99 | 769176 | 9797687 | 5.19 | 38.46 | 768245 | 9797380 |
| 47 | 4.67 | 34.62 | 768059 | 9797658 | 19.22 | 142.54 | 768245 | 9797380 |
| 16 | 5.21 | 38.67 | 762802.8 | 9802546 | 8.19 | 60.74 | 762781.09 | 9802535.62 |
| 17 | 5.27 | 39.09 | 764598 | 9801400 | 8.56 | 63.5 | 764046 | 9801478 |
| 1 | 5 | 39.83 | 752533 | 9824177 | 10.46 | 77.53 | 750745 | 9825792 |
| 48 | 5.63 | 41.76 | 771368 | 9800306 | 3.5 | 25.93 | 771284 | 9800208 |
| 25 | 5.84 | 43.32 | 744347 | 9828777 | 8.18 | 60.64 | 743806.38 | 9829179.02 |
| 6 | 6.39 | 47.39 | 749485 | 9820380 | 7.81 | 57.93 | 749678 | 9820819 |
| 14 | 6.39 | 47.39 | 764469 | 9801601 | 7.06 | 53.38 | 763091.29 | 9802357.6 |
| 18 | 6.71 | 49.78 | 756626 | 9807873 | 6.12 | 45.37 | 756433.5 | 9807384.47 |
| 37 | 6.96 | 51.58 | 752380 | 9813600 | 4.74 | 35.14 | 752493 | 98134003 |
| 36 | 7.06 | 52.32 | 762292.1 | 9809678 | 8.9 | 66.01 | 762424 | 9809796 |
| 35 | 7.13 | 52.87 | 762388.3 | 9810575 | 6.96 | 51.63 | 762889 | 9810369 |
| 41 | 7.32 | 54.31 | 753807 | 9813290 | 7.13 | 52.87 | 753871.63 | 9813218.05 |
| 38 | 7.5 | 55.6 | 752294 | 9814277 | 6.74 | 49.96 | 752224 | 9814075 |
| 2 | 8 | 57.55 | 750394 | 9826391 | 4.95 | 36.78 | 750474 | 9826236 |
| 29 | 7.89 | 58.52 | 760306 | 9811910 | 7.2 | 53.41 | 760334 | 9811957 |
| 32 | 8.14 | 60.36 | 763172 | 9811895 | 8.18 | 60.64 | 763960.77 | 9811170.01 |
| 21 | 8.18 | 60.64 | 769977 | 9812164 | 9.4 | 69.71 | 771011 | 9813465 |
| 5 | 8 | 62.02 | 749997 | 9821058 | 6.87 | 50.91 | 750093 | 9820939 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la tabla se muestra los datos obtenidos con el geogauge por cada una de las vías seleccionadas se tomó dos puntos diferentes para la aplicación del ensayo de campo obteniendo dos resultados que son el módulo de rigidez y el módulo de Young; en el contexto del geogauge, que se utiliza para realizar ensayos de corte en suelos y materiales geotécnicos, el módulo de Young y el módulo de rigidez son importantes para comprender la respuesta del material a la deformación. Estas propiedades permiten caracterizar la capacidad del suelo para resistir esfuerzos y deformaciones bajo cargas aplicadas. El módulo de Young se utiliza para describir la rigidez del material en la dirección de carga, mientras que el módulo de rigidez se utiliza para describir su resistencia a la deformación por corte perpendicular a la dirección de carga. Ambos son cruciales para evaluar la estabilidad y el comportamiento del suelo en diferentes condiciones de carga.

En la vía número 34 perteneciente a la parroquia Cacha se tiene los valores más altos obtenidos con el Geogauge siendo una vía que ya ha tenido intervención con otro tipo de material granular, pero al mismo tiempo el resto de vías de esta parroquia y de San Luis que no han tenido ningún tipo de intervención arrojaron un módulo de Young y Modulo de Rigidez alto indicando que el material es rígido y tiene una mayor resistencia a la deformación elástica. Por otro lado, en la parroquia de San Juan y Quimiag se obtuvo resultados con un módulo de Young y módulo de Rigidez bajo indicando que el material es más flexible y se deforma más fácilmente bajo la influencia de fuerzas externas.

4.3.1 Valores de CBR a partir del módulo de Young

Tabla 4

Resultados del módulo de CBR a partir del módulo Young obtenido por el Geogauge

| Nº VIA | M. 1 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) | M. 2 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) |
|--------|---------------|--------|---------|---------|---------------|---------|---------|---------|
| 23 | 16.65 | 2414.9 | 1.67 | 0.92 | 28.84 | 4183.0 | 2.88 | 2.16 |
| 26 | 17.41 | 2525.1 | 1.74 | 0.98 | 20.49 | 2971.9 | 2.05 | 1.27 |
| 47 | 34.62 | 5021.3 | 3.46 | 2.88 | 142.54 | 20674.0 | 14.25 | 26.27 |
| 16 | 38.67 | 5608.7 | 3.87 | 3.42 | 60.74 | 8809.7 | 6.07 | 6.93 |
| 37 | 51.58 | 7481.2 | 5.16 | 5.37 | 35.14 | 5096.7 | 3.51 | 2.95 |
| 35 | 52.87 | 7668.3 | 5.29 | 5.58 | 51.63 | 7488.4 | 5.16 | 5.37 |
| 41 | 54.31 | 7877.1 | 5.43 | 5.82 | 52.87 | 7668.3 | 5.29 | 5.58 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 38 | 55.60 | 8064.2 | 5.56 | 6.03 | 49.96 | 7246.2 | 5.00 | 5.10 |
| 32 | 60.36 | 8754.6 | 6.04 | 6.86 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 |
| 5 | 62.02 | 8995.4 | 6.20 | 7.16 | 50.91 | 7384.0 | 5.09 | 5.26 |
| 30 | 63.61 | 9226.0 | 6.36 | 7.45 | 48.03 | 6966.3 | 4.80 | 4.80 |
| 42 | 64.07 | 9292.7 | 6.41 | 7.53 | 81.03 | 11752.6 | 8.10 | 10.87 |
| 15 | 64.45 | 9347.8 | 6.45 | 7.60 | 53.2 | 7716.1 | 5.32 | 5.63 |
| 27 | 68.06 | 9871.4 | 6.81 | 8.28 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 |
| 20 | 76.48 | 11092.7 | 7.65 | 9.93 | 94.86 | 13758.5 | 9.49 | 13.90 |
| 7 | 83.06 | 12047.0 | 8.31 | 11.30 | 56.23 | 8155.6 | 5.62 | 6.14 |
| 39 | 83.92 | 12171.8 | 8.39 | 11.48 | 103.32 | 14985.5 | 10.33 | 15.89 |
| 45 | 83.92 | 12171.8 | 8.39 | 11.48 | 64.18 | 9308.7 | 6.42 | 7.55 |
| 40 | 93.19 | 13516.3 | 9.32 | 13.52 | 69.79 | 10122.3 | 6.98 | 8.61 |
| 10 | 101.21 | 14679.5 | 10.12 | 15.38 | 93.29 | 13530.8 | 9.33 | 13.54 |
| 46 | 131.56 | 19081.5 | 13.16 | 23.17 | 107.68 | 15617.9 | 10.77 | 16.95 |
| 44 | 154.46 | 22402.9 | 15.45 | 29.78 | 84.89 | 12312.4 | 8.49 | 11.69 |
| 34 | 165.14 | 23951.9 | 16.51 | 33.06 | 154.46 | 22402.9 | 15.45 | 29.78 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.3.2 Valores de CBR y PCI a partir del tipo de suelo obtenidos de la clasificación SUCS

Tabla 5

Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo ML-LIMO

| N° VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM | | CBR | PCI |
|--------|-----------|-----------------|-----------|------|---------|
| 1 | CALPI | 748613,48 | 9824306,5 | 5-15 | 100-200 |
| 4 | CALPI | 752501,72 | 9824306,5 | 5-15 | 100-200 |
| 5 | CALPI | 748613,48 | 9824306,5 | 5-15 | 100-200 |
| 24 | SAN JUAN | 744725,24 | 9824306,5 | 5-15 | 100-200 |
| 25 | SAN JUAN | 744725,24 | 9820418,3 | 5-15 | 100-200 |

| | | | | | |
|----|----------|-----------|-----------|------|---------|
| 26 | SAN JUAN | 744725,24 | 9816530 | 5-15 | 100-200 |
| 27 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 28 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 29 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 30 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 31 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 32 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 33 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 34 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 35 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |
| 36 | SAN LUIS | 764166,43 | 9812641,8 | 5-15 | 100-200 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 6

Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SM_ARENA LIMOSA

| N° VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM | CBR | PCI | |
|---------------|------------------|------------------------|------------|------------|---------|
| 2 | CALPI | 748613,48 | 9820418,3 | 20-40 | 200-300 |
| 3 | CALPI | 748613,48 | 9816530 | 20-40 | 200-300 |
| 6 | CALPI | 748613,48 | 9820418,3 | 20-40 | 200-300 |
| 7 | CUBIJIES | 768054,67 | 9816530 | 20-40 | 200-300 |
| 8 | CUBIJIES | 768054,67 | 9816530 | 20-40 | 200-300 |
| 9 | FLORES | 764166,43 | 9797088,9 | 20-40 | 200-300 |
| 10 | FLORES | 764166,43 | 9797088,9 | 20-40 | 200-300 |
| 11 | FLORES | 764166,43 | 9797088,9 | 20-40 | 200-300 |
| 12 | FLORES | 764166,43 | 9797088,9 | 20-40 | 200-300 |
| 13 | LICAN | 756389,95 | 9816530 | 20-40 | 200-300 |
| 14 | LICTO | 764166,43 | 9804865,3 | 20-40 | 200-300 |

| | | | | | |
|----|-------|-----------|-----------|-------|---------|
| 15 | LICTO | 764166,43 | 9800977,1 | 20-40 | 200-300 |
| 16 | LICTO | 764166,43 | 9793200,6 | 20-40 | 200-300 |
| 17 | LICTO | 764166,43 | 9804865,3 | 20-40 | 200-300 |
| 18 | PUNIN | 760278,19 | 9800977,1 | 20-40 | 200-300 |
| 37 | CACHA | 752501,72 | 9812641,8 | 20-40 | 200-300 |
| 38 | CACHA | 752501,72 | 9808753,6 | 20-40 | 200-300 |
| 39 | CACHA | 752501,72 | 9812641,8 | 20-40 | 200-300 |
| 40 | CACHA | 752501,72 | 9808753,6 | 20-40 | 200-300 |
| 41 | CACHA | 752501,72 | 9812641,8 | 20-40 | 200-300 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 7

Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SP-ARENA MALGRADADA

| N° VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM | CBR | PCI | |
|--------|-----------|-----------------|-----------|-------|---------|
| 19 | QUIMIAG | 771942,91 | 9812641,8 | 15-25 | 200-300 |
| 20 | QUIMIAG | 771942,91 | 9812641,8 | 15-25 | 200-300 |
| 21 | QUIMIAG | 771942,91 | 9812641,8 | 15-25 | 200-300 |
| 22 | QUIMIAG | 771942,91 | 9812641,8 | 15-25 | 200-300 |
| 23 | QUIMIAG | 771942,91 | 9812641,8 | 15-25 | 200-300 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 8

Valores de CBR y PCI correlacionados con resultados con resultados según la clasificación SUCS de suelo SP-SM-ARENA POBREMENTE GRADA CON LIMO

| N° VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM | CBR | PCI | |
|--------|-----------|-----------------|-----------|--------------|---------|
| 42 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 43 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 44 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |

| | | | | | |
|----|---------|-----------|-----------|--------------|---------|
| 45 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 46 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 47 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 48 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |
| 49 | PUNGALA | 783607,63 | 9793200,6 | 15-25, 20-40 | 200-300 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En las Tablas # se muestran datos de la clasificación SUCS, tomados de (Latacunga.V & Villaroel.A, 2023) que se correlacionaron para obtener datos de CBR Y PCI, además se tomó datos (ICG, 2001) de la guía de diseño empírico del pavimentos nuevos y rehabilitación de estructuras de pavimento.

La relación entre el índice de CBR y los tipos de suelos según la clasificación SUCS puede variar ya que el ensayo de CBR se centra específicamente en la capacidad portante de los suelos para hacer pavimentos pero en ciertos tipos de suelos según la clasificación SUCS pueden influir en los valores de CBR, en la tabla 3 se puede observar la correlación de los resultados de la clasificación SUCS con valores de CBR, en donde las arcillas tienen valores de CBR más bajos debido a su baja capacidad de drenaje en este tipo de suelos a menudo se requiere hacer mejoras para ser utilizados en pavimentos; los suelos granulares como arenas y grabas tienen valores de CBR más altos debido a su buena capacidad de drenaje y resistencia. En los limos se pueden tener una variabilidad en los valores de CBR; existen limos que pueden tener valores moderados de CBR y otros que contienen contenido orgánico pueden tener valores más bajos.

4.4 Resultados del ensayo Proctor estándar

Tabla 9

Resultados de porcentaje de agua y porcentaje del peso específico del suelo compactado seco.

| Porcentaje de Agua [%] | Peso Específico del Suelo Compactado Seco [%] |
|---------------------------|--|
| 8.749 | 1.161 |
| 14.318 | 1.251 |
| 14.318 | 1.251 |

| | |
|--------|-------|
| 21.043 | 1.288 |
| 27.825 | 1.270 |
| 32.687 | 1.300 |
| 37.485 | 1.223 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

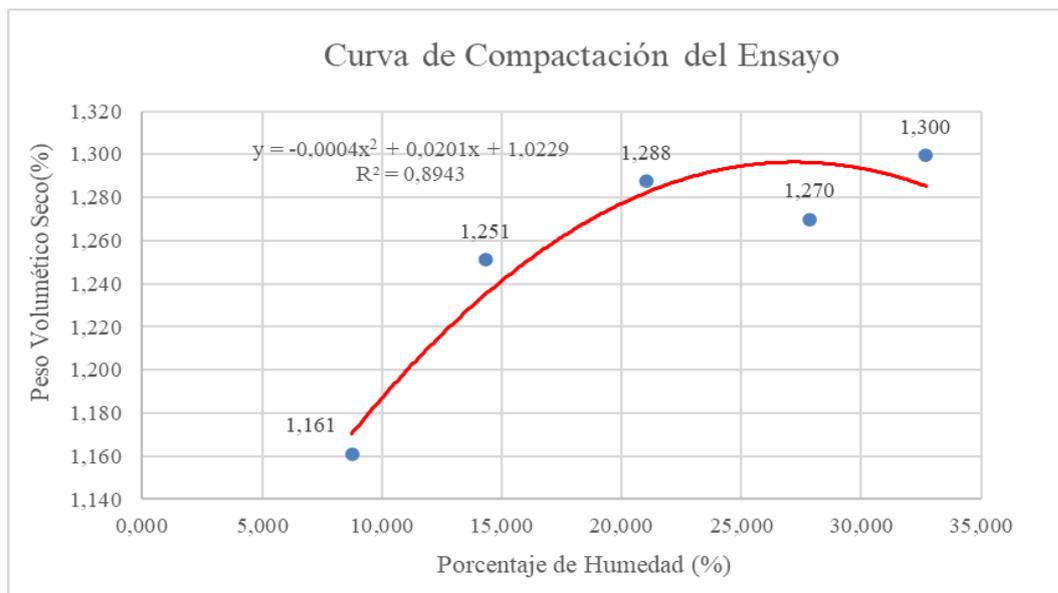
Durante el ensayo Proctor Standard, se realiza la compactación de muestras de suelo a diferentes contenidos de humedad, y para cada nivel de contenido de humedad, se miden el peso del suelo seco y el volumen del suelo compactado seco. A partir de estos datos, se pueden calcular el porcentaje de agua y el peso específico del suelo compactado seco para cada nivel de compactación.

La presentación de estos resultados se realiza comúnmente en una tabla que muestra el contenido de humedad, el peso del suelo seco, el volumen del suelo compactado seco, el porcentaje de agua y el peso específico del suelo compactado seco para cada nivel de compactación. Estos datos son esenciales para trazar la curva de compactación, identificar el contenido de humedad óptimo y determinar la máxima densidad seca del suelo.

4.4.1 Curva de compactación del ensayo Proctor Estándar

Figura 16

Curva de compactación del ensayo Proctor Standar



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

La curva de compactación del ensayo Proctor Standard es una herramienta valiosa para los ingenieros geotécnicos y civiles, ya que proporciona información sobre la respuesta del suelo a diferentes niveles de humedad y ayuda a determinar las condiciones óptimas para la compactación en proyectos de construcción.

Tabla 10

Resultados de la humedad y densidad óptima del ensayo Proctor estándar

| HUMEDAD Y DENSIDAD ÓPTIMA | | |
|----------------------------------|---------|---------------------|
| Punto máximo de la curva | | |
| A | -0.0022 | [-] |
| B | 0.0336 | [-] |
| C | 1.8667 | [-] |
| Humedad Óptima | 7.636 | [%] |
| Densidad Óptima Seca | 1.995 | [T/m ³] |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En el ensayo Proctor Standard, se determina la humedad y densidad óptimas del suelo mediante la realización de una serie de compactaciones en laboratorio con diferentes contenidos de humedad. Los resultados se plasman en una curva de compactación que ayuda a identificar dos puntos clave: el punto A (máxima densidad seca) y el contenido de humedad óptimo ($W_{\text{óptimo}}$). Aquí hay más detalles sobre estos parámetros:

Estos parámetros son críticos en la ingeniería geotécnica, ya que determinan las condiciones óptimas para compactar un suelo y lograr la máxima capacidad de carga. La relación entre la humedad y la densidad es clave para entender cómo el suelo responde a diferentes niveles de humedad y cómo se puede manipular para lograr las condiciones de ingeniería deseadas. La curva de compactación generada a partir del ensayo Proctor Standard es una herramienta valiosa en el diseño de cimentaciones, terraplenes y estructuras.

4.4.2 Ensayo de CBR de Laboratorio

Tabla 11

Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G1 a 12 golpes

| PENETRACIÓN | | | Carga Estandar | Molde N° G1 | | |
|-------------|--------|-------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| In | mm | cm | | Golpes por capa N° 12 | | |
| | | | Carga de prueba | | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in ² | Kg/cm ² |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 135 | 44.36 | 3.12 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 263 | 86.42 | 6.08 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 352 | 115.66 | 8.13 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 414 | 136.03 | 9.56 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 468 | 153.77 | 10.81 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 514 | 168.89 | 11.87 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 560 | 184.00 | 12.94 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 600 | 197.15 | 13.86 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 638 | 209.63 | 14.74 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 676 | 222.12 | 15.62 |

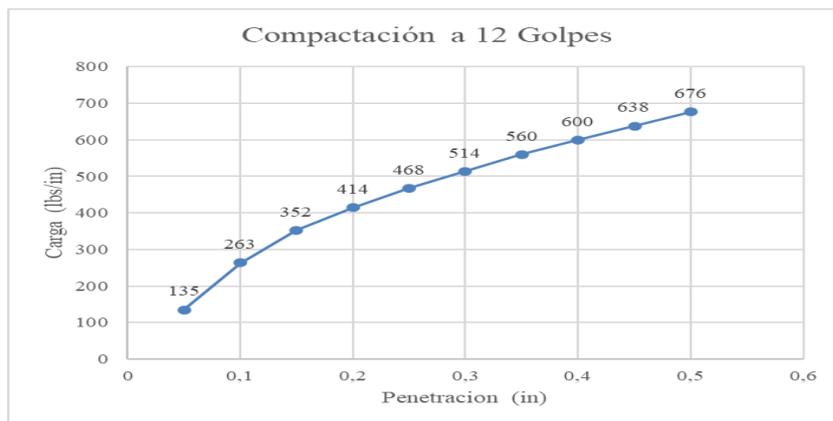
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En La tabla se muestran los resultados del molde G1 realizado con la compactación a 12 por capa, arrojando resultados en la prensa digital correlacionando la carga en libras y la de formación en pulgadas, donde se evalúa la resistencia del suelo en estas condiciones.

4.4.3 Curva de CBR a 12 golpes

Figura 17

Curva de CBR molde G1 a 12 golpes



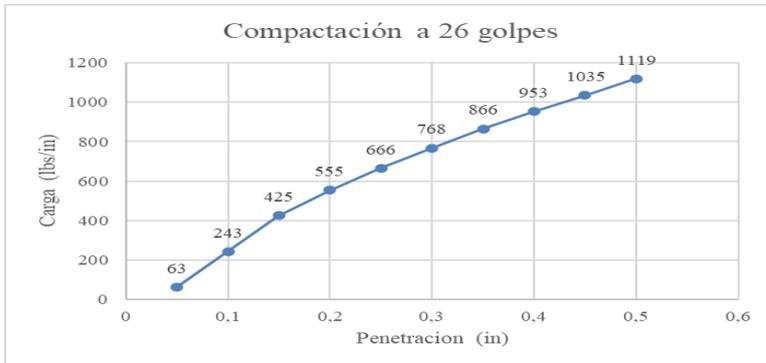
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

La curva del ensayo de CBR nos indica la carga relativa que se necesita para producir una penetración en un suelo compactado.

4.5 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G2 a 26 golpes

Figura 18

Curva de CBR MOLDE G2 a 26 golpes



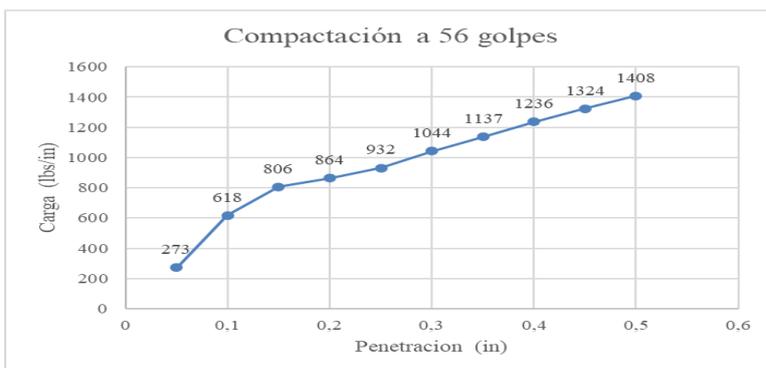
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se muestran los resultados del molde G2 realizado con la compactación a 26 por capa, arrojando resultados en la prensa digital correlacionando la carga en libras y la de formación en pulgadas, donde se evalúa la resistencia del suelo en estas condiciones, a diferencia de los resultados de la tabla 6 en este molde se tiene mayor compactación y se necesita mayor carga para poder penetrar en el suelo compactado.

4.6 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G3 a 56 golpes

Figura 19

Curva de CBR molde G3 a 56 golpes



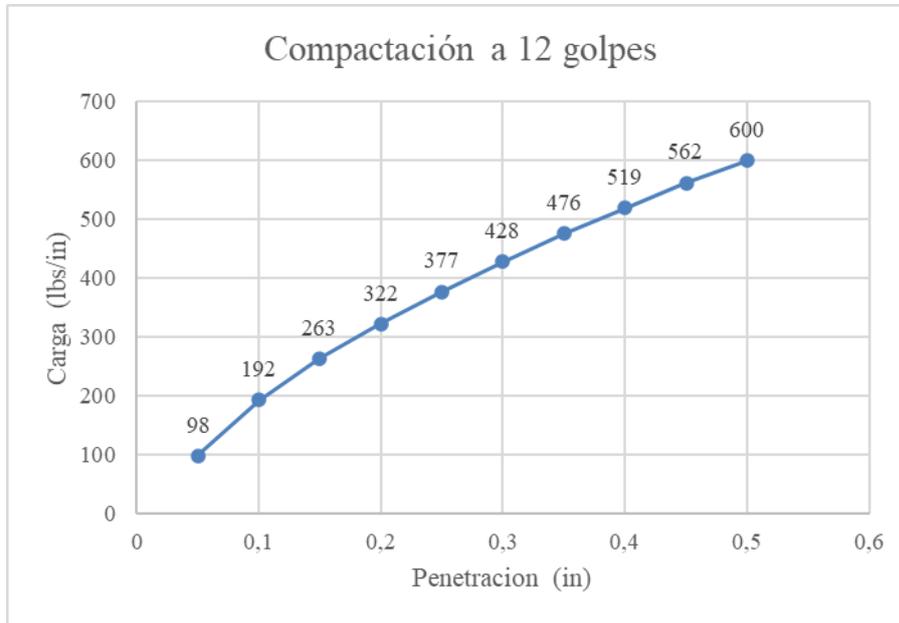
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se muestran los resultados del molde G2 realizado con la compactación a 56 por capa, arrojando resultados en la prensa digital correlacionando la carga en libras y la de formación en pulgadas, donde se evalúa la resistencia del suelo en estas condiciones, a diferencia de los resultados de las tablas 6 y 7 en este molde se tiene mayor compactación y se necesita mayor carga para poder penetrar en el suelo compactado.

4.7 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G4 a 12 golpes

Figura 20

Curva de CBR molde G4 a 12 golpes

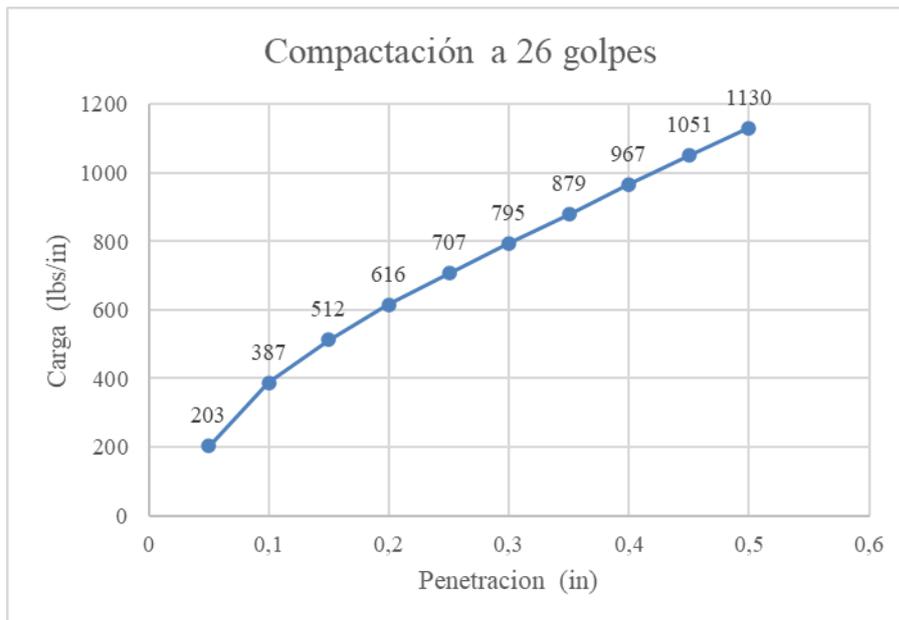


Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.8 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G5 a 26 golpes

Figura 21

Curva de CBR molde G5 a 26 golpes

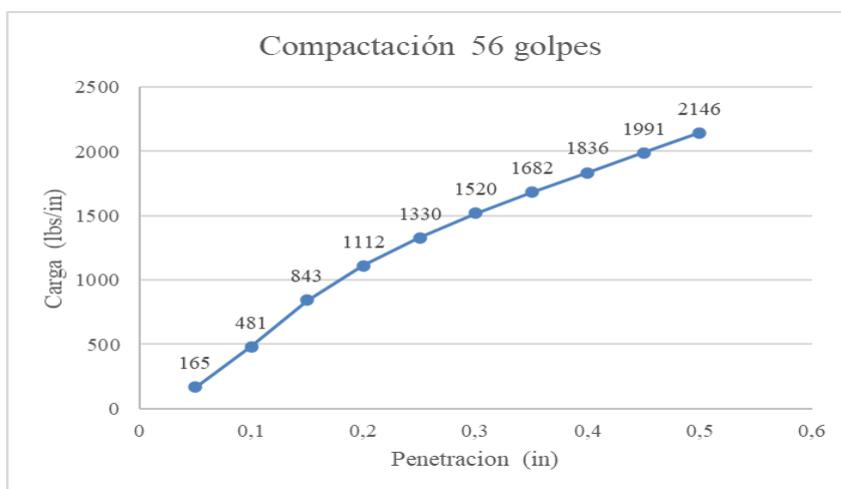


Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.9 Resultados obtenidos en la prensa para CBR molde G6 a 56 golpes

Figura 22

Curva de CBR molde G6 a 56 golpes



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 12

Relación de resultados de densidad e índice de CBR de la muestra 1

| in | Densidad | Índice CBR |
|----|----------|------------|
| | Seca | |
| 1 | 1.305 | 8.642 |
| | 1.341 | 9.299 |
| | 1.435 | 20.306 |
| | 1.305 | 9.069 |
| 2 | 1.341 | 12.157 |
| | 1.435 | 18.926 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 13

Relación de resultados de densidad e índice de CBR de la muestra 2

| in | Densidad | Índice CBR |
|----|----------|------------|
| | Seca | |
| 1 | 1.278 | 6.309 |
| | 1.337 | 12.716 |
| | 1.389 | 15.805 |
| | 1.278 | 7.053 |
| 2 | 1.337 | 13.494 |
| | 1.389 | 24.359 |

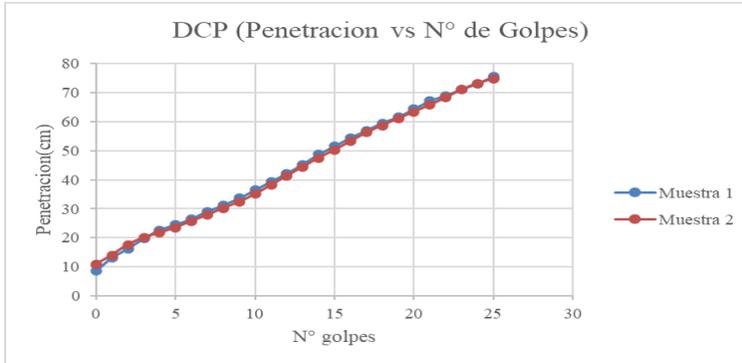
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.10 Resultados del Ensayo DCP

4.10.1 Resultados sin confinamiento con geoceldas

Figura 23

Curva de penetración vs. N. de golpes del ensayo DCP



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la figura se muestra la correlación de los resultados obtenidos en el ensayo de campo que son los centímetros de penetración por cada número de golpes, estos resultados se obtuvieron en la vía de la Parroquia San Juan, donde no se aplicó el confinamiento con geoceldas.

Tabla 14

Resultados de la correlación del DCP y CBR

| Muestra | DCP | | CBR | | |
|---------|------------------|-------|---------------------|----------|-------------|
| | DN (mm/golpe) | Klein | Klein & Heerdenm | Harrison | ASTM D-6951 |
| 1 | 30.2 | 10.8 | 10.7 | 10.85 | 9.7 |
| 2 | 29.94 | 10.8 | 10.7 | 10.86 | 9.8 |

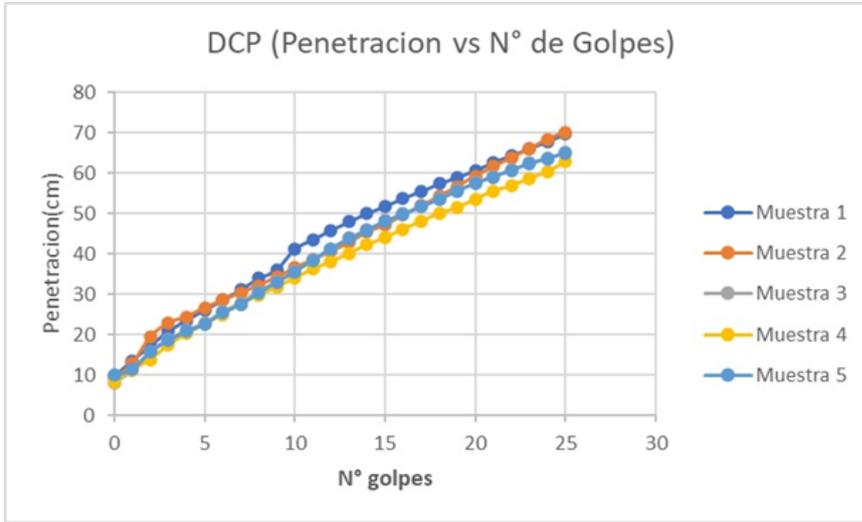
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la tabla se describen los resultados DN (mm/golpe) obtenidos en el ensayo de campo y correlacionando a resultados de CBR basándose en las ecuaciones de los autores Kleyn, Heerden y Harrinson.

4.10.2 Resultados aplicando confinamiento

Figura 24

Curva de penetración vs. N. de golpes del ensayo DCP



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 15

Resultados de la correlación del DCP y CBR

| Muestra | DCP | | | CBR | |
|---------|---------------|-------|------------------|----------|-------------|
| | DN (mm/golpe) | Klein | Klein & Heerdenm | Harrison | ASTM D-6951 |
| 1 | 27.84 | 10.9 | 10.8 | 10.9 | 10.5 |
| 2 | 28.04 | 10.9 | 10.8 | 10.9 | 10.4 |
| 3 | 26.04 | 10.9 | 10.8 | 10.94 | 11.2 |
| 4 | 25.16 | 10.9 | 10.8 | 11.0 | 11.6 |
| 5 | 25.96 | 10.9 | 10.8 | 10.92 | 11.2 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la tabla se describen los resultados DN (mm/golpe) obtenidos en el ensayo de campo y correlacionando a resultados de CBR basándose en las ecuaciones de los autores Kleyn, Heerden y Harrinson, estos resultados tienden a ser poco más elevados que los resultados de la tabla 13 debido a que este ensayo se realizó posterior a la de aplicación del confinamiento con geocledas en el camino rural.

Tabla 16

Correlación del Geogauge y CBR de la subrasante aplicada confinamiento con geoceldas

| M. de Rigidez | M. de Young | MR | CBR (T) | CBR (P) |
|---------------|-------------|--------|---------|---------|
| 3.85 | 28.54 | 4139.4 | 2.85 | 2.13 |
| 4.1 | 30.4 | 4409.2 | 3.04 | 2.35 |

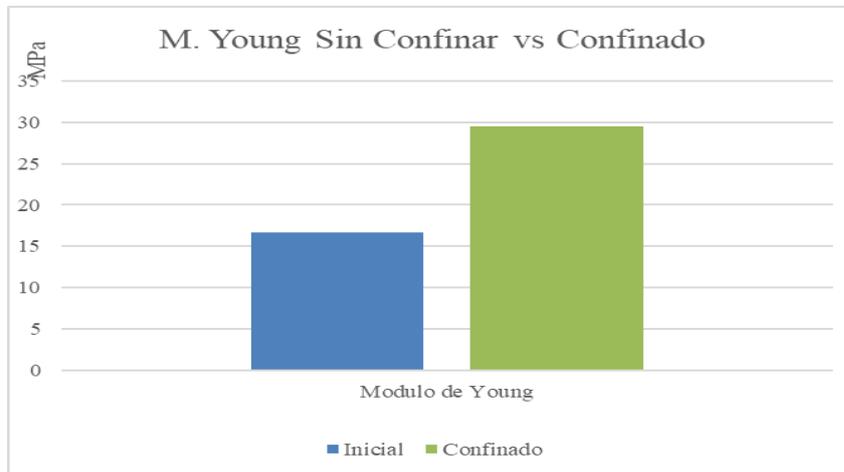
Nota. Tomado de (Romero, 2024)

En la tabla se muestra los CBR de la vía obtenido in situ utilizando dos métodos.

4.11 Datos de la vía de san Juan seleccionada para mejorar la capacidad portante de la estructura vial

Figura 25

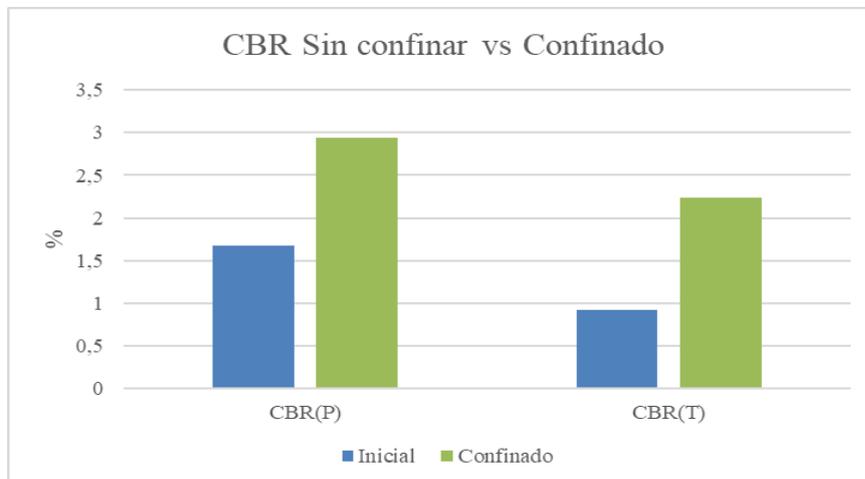
Resultados obtenidos con el Geogauge



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 26

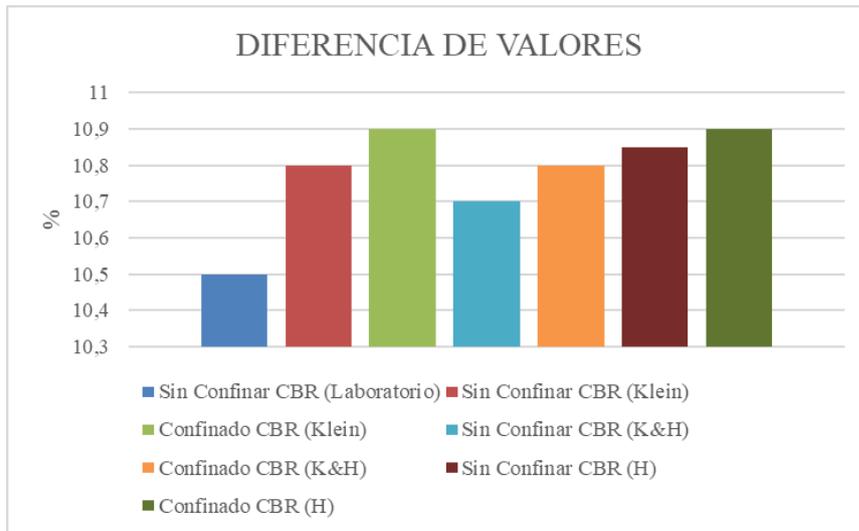
Resultados del Geogauge correlacionados con dos métodos para obtener el CBR



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 27

Resultados del ensayo de CBR de laboratorio e In Situ



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.12 Datos comparativos de costos vs tiempo

Tabla 17

Costo unitario por kilómetro de vía de estabilización con diferentes métodos

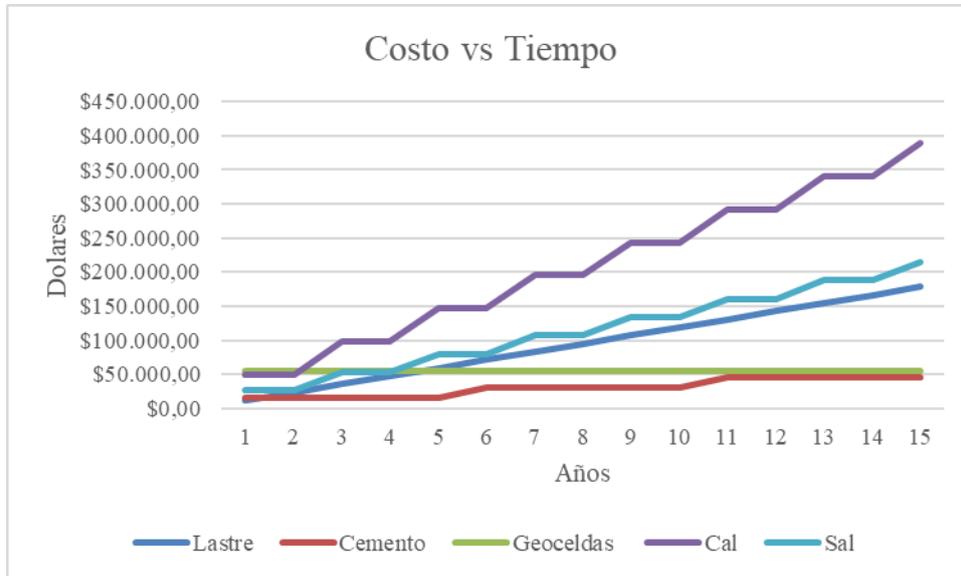
| Método | Costo por m2 | Costo por km |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Estabilizante Cal óptimo (5,5%) | \$9.75 | \$48 750.00 |
| Estabilizante sal óptimo (4.9%) | \$5.36 | \$26 812.50 |
| Estabilizante Geocelda | \$11.00 | \$55 000.00 |
| Estabilizante con Lastres | \$1.70 | \$11 907.52 |
| Estabilizante con Cemento | \$3.06 | \$15 322.04 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

4.13 Costos del mantenimiento vial

Figura 28

Comparativo temporal entre la inversión de una vía estabilizada con diferentes métodos



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En conclusión, la aplicación de geoceldas en las subrasantes de caminos agrícolas en el Cantón Riobamba ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la capacidad portante del suelo, esto se traduce a una mayor resistencia a la deformación y una reducción del riesgo de fallo estructural, su uso permite optimizar el rendimiento de los caminos agrícolas al proporcionar un soporte adicional al suelo subyacente y durabilidad de la infraestructura vial.
- Además de mejorar la capacidad portante de los caminos agrícolas, el uso de geoceldas puede proporcionar beneficios adicionales, como una mejor gestión del agua y la reducción de la erosión del suelo, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental de la infraestructura vial, esta aplicación de geoceldas ha resultado en una notable reducción de los asentamientos y deformaciones en los caminos agrícolas, lo que contribuye a una mayor durabilidad de la infraestructura vial y a la mejora de las condiciones de transporte para los agricultores y residentes locales.
- Es importante tener en cuenta las condiciones específicas del suelo, el clima y los requisitos de carga al diseñar e implementar sistemas de confinamiento con geoceldas. Un enfoque integral que considere estos factores garantizará resultados óptimos y una mayor eficacia a largo plazo.
- La aplicación de confinamiento con geoceldas ofrece una solución eficaz y sostenible para mejorar la capacidad portante de los subrasantes en caminos agrícolas del cantón Riobamba, lo que conlleva una serie de beneficios tanto en términos de rendimiento estructural como económico y ambiental, aunque la implementación inicial de geoceldas puede implicar costos adicionales, estas inversiones pueden traducirse en ahorros significativos a largo plazo al reducir la necesidad de mantenimiento y reparaciones posteriores debido a problemas de estabilidad del suelo.
- El análisis de costo-beneficio del uso de geoceldas dependerá de una evaluación integral de los factores económicos, técnicos y ambientales involucrados en el proyecto específico. Sin embargo, en este caso, las geoceldas pueden ofrecer una solución rentable y efectiva para mejorar la estabilidad del suelo y prolongar la

vida útil de la infraestructura, pero, es importante considerar que el costo inicial de las geoceldas puede ser más alto que el de algunas alternativas de confinamiento para la estabilización tradicional del suelo.

5.2 Recomendaciones

- Es importante Llevar a cabo un estudio de campo detallado para evaluar las condiciones del suelo y la capacidad portante de las subrasantes en los caminos agrícolas del cantón Riobamba para de esta manera recopilar datos geotécnicos y realiza pruebas de carga para entender mejor el comportamiento del suelo.
- Se recomienda considerar la aplicación de confinamiento con geoceldas en proyectos futuros de construcción y mantenimiento de caminos agrícolas en el cantón Riobamba. Esta tecnología puede ayudar a garantizar la estabilidad y durabilidad de las vías, incluso en áreas con suelos de baja calidad.
- Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar el rendimiento a largo plazo de los caminos agrícolas mejorados con geoceldas en el cantón Riobamba, esto permitirá obtener más datos sobre la durabilidad y la efectividad de esta técnica en diferentes condiciones climáticas y de tráfico.
- Es importante llevar a cabo programas de capacitación y sensibilización dirigidos a ingenieros, autoridades locales y agricultores sobre los beneficios del confinamiento con geoceldas en la mejora de la capacidad portante de los caminos agrícolas. Esto puede ayudar a fomentar la adopción de esta tecnología en futuros proyectos viales en la región.
- Es fundamental evaluar cuidadosamente los costos y beneficios específicos de cada proyecto antes de decidir si las geoceldas son la opción más rentable. Además, el diseño y la instalación adecuados son clave para maximizar los beneficios y minimizar los costos adicionales. Se recomienda consultar a expertos en ingeniería geotécnica para obtener recomendaciones específicas para su situación particular.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, E. (2003). Guía del Usuario: Medidor de rigidez y módulo del suelo. *GeoGauge*.
Obtenido de GeoGauge: <https://toaz.info/doc-view-2>
- Angelone, S., Tosticarelli, J., & Martínez, F. (1994). *Aplicación del penetrómetro dinámico de cono en obras viales y control de compactación*. Obtenido de dcp.PDF (fing.edu.uy)
- Cancelli, R., & Montanelli, F. (1993). Index and performance test for geocells in different applications. ASTM TSP 1990.
- Escarraja, M., & Mejía, M. (2019). *Repositorio UTA*. Obtenido de Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas y suelo cemento, para mejorar la capacidad de portante del suelo: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18418/2019millerescarraga?sequence=8&isAllowed=y>
- Geotecnia. (2019). *Ensayo CBR de la Laboratorio*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>
- Gómez, B. (2011). Iniciación de la modelación física en centrifuga geotécnica de un muro de contención con Geocelda. Bogotá, Colombia.
- Ingeniería, I. (2020). *Clasificación del suelo 3 (1)*. Obtenido de <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/31/31448/suelos.pdf>
- Mestre, A. (2020). *Aplicación de geo sintéticos en vías terciarias: Caso de estudio Municipio de Carurú Departamento de Vaupés*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d9acb59d-7d30-4130-a323-357ea2ffbd82/content>
- Muñoz, W. (2015). *Evaluación de la capacidad portante de los suelos de la fundación de la Ciudad Universitaria- Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1427/TESIS%20WILFREDO%20FER%20NANDEZ%20%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Narváez, M. (2017). *Estudios comparativos del grado de compactación y módulo de Young para evaluar la respuesta mecánica en rellenos estructurales*. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11604/1/TTUAIC_2017_IC_CD0010.pdf
- Olavarría, J. (11 de octubre de 2022). *Carta de Plasticidad de Casagrande*. Obtenido de <https://ingenieriaelemental.com/carta-de-plasticidad-de-casagrande-online/>

- Oyarzun. (2018). *Diseño y construcción de prototipo de pavimentos y superficies drenantes*.
Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47782/3560900251878UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Pérez, F. (noviembre de 1980). "Programa de caminos Rurales con Mano de obra intensiva. Guatemala.
- Pérez, G. (2020). Caminos rurales: Vías claves para la producción, la conectividad y el desarrollo territorial. *Cepal*.
- Pérez, G. (2021). Impactos Sociales de los caminos rurales en Mesoamérica. *Cepal*, 5. Obtenido de Impactos Sociales de los caminos rurales en Mesoamérica.
- Riaño, D. (noviembre de 2018). Repositorio Uniandes. Bogotá, Colombia.
- Rondón, A. (S/f). *Ensayo Proctor Normal y Modificación*. Obtenido de https://www.academia.edu/39240874/Ensayo_Proctor_Normal_y_Modificado_Descripci%C3%B3n_e_interpretaci%C3%B3n
- Sánchez, F. (22 de junio de 2023). *Geotechips*. Obtenido de <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>
- Santamarina, J. C. (2002). *Specific surface: Determination and relevance*. *Canadian Geotechnical Journal*. 39 (1). Obtenido de <https://doi.org/10.1139/T01-077>
- U-Cursos. (2019). *Guía de Laboratorio. Compactación y CBR*. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/1/CI44A/1/material_docente/bajar?id_material=62749
- Wavin, P. (2021). *Diseño de infraestructura con geosintéticos*. *Geosoft*, 110-111.
- Latacunga.V, & Villaroel.A. (2023). *Exposición por sulfatos en el suelo a elementos superficiales de hormigón en viviendas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo*. Obtenido de Exposición por sulfatos en el suelo a elementos superficiales de hormigón en viviendas del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.
- ICG. (2001). *de la guía de diseño empírico del pavimentos nuevos y rehabilitación de estructuras de pavimento* . Copyright.

ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de las fichas técnicas de geoceldas en el mercado nacional

Figura 29 Caracterización de fichas técnicas de geoceldas disponibles en el mercado Nacional: Ficha técnica Pawco Wavin

| PROPIEDADES MECÁNICAS | NORMA | UNIDAD | VALOR | | | | |
|---|-------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 445 - 075 | 356 - 100 | 356 - 120 | 445 - 150 | 445 - 200 |
| Resistencia a la tensión en el punto de fluencia Valor mínimo (± 3%) | ISO 10319 | kN/m | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| Resistencia a la tensión en la soldadura Valor mínimo (± 3%) | ISO 13426-1 Método B | kN/m | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Tiempo inducción oxidación | ASTM D3895 | min | >150 | >150 | >150 | >150 | >150 |
| Resistencia al agrietamiento por exposición ambiental | ASTM D1693 | h | ≥5000 | ≥5000 | ≥5000 | ≥5000 | ≥5000 |
| PROPIEDADES FÍSICAS | NORMA | UNIDAD | 445 - 075 | 356 - 100 | 356 - 120 | 445 - 150 | 445 - 200 |
| Material | - | | HDPE Virgen |
| Densidad | ASTM D1505 | g/cm3 | 0.945 - 0.960 | 0.945 - 0.960 | 0.945 - 0.960 | 0.945 - 0.960 | 0.945 - 0.960 |
| Negro de humo | ASTM D1603 | % | >1.5 | >1.5 | >1.5 | >1.5 | >1.5 |
| Espesor (texturizado) | ASTM D5199 | mm | 1.50 (±10%) | 1.50 (±10%) | 1.50 (±10%) | 1.50 (±10%) | 1.50 (±10%) |
| Distancia entre costillas | Medido | mm | 445 | 356 | 356 | 445 | 445 |
| Dimensiones de la celda abierta (± 3%) | Medido | mm | 315 x 304 | 259 x 226 | 259 x 226 | 315 x 304 | 315 x 304 |
| Altura de las celdas (± 3%) | Medido | mm | 75 | 100 | 120 | 150 | 200 |
| Dimensiones de la sección expandida (± 3%) | Medido | m | 2.52 x 9.12 | 2.52 x 7.30 | 2.52 x 7.30 | 5.04 x 9.12 | 2.52 x 9.12 |
| Área sección expandida (± 3%) | Medido | m2 | 22,96 | 18,37 | 18,37 | 45,96 | 22,96 |
| Ranurada (Conexión pines) | | | - | X | X | X | X |

| PIN CONECTOR | PROPIEDADES |
|--------------|--|
| Piezas | 2 (pin y abrazadera) |
| Color | Naranja, para facilitar la identificación de la unión de los paneles en el proceso de instalación. |

| ABRAZADERA | PROPIEDADES | PROPIEDADES |
|------------|-------------|-------------|
| Ancho | | 20 mm |
| Largo | | 24 mm |
| Espesor | | 7 mm |



Nota. Tomado de (Pawco Wavin, 2024)

Figura 30 Ficha técnica de geoceldas Empresa Maccaferri

MacCel® 75

Geocelda Perforada



Características técnicas

Propiedades (Materia Prima)

| Superficie | | Texturada y Perforada |
|--|-------------------|-----------------------|
| Densidad mínima del polímero (ASTM D1505) | g/cm ³ | >=0.94 |
| Estabilizador Negro de Carbón (ASTM D1603) | % | >=2.0 |

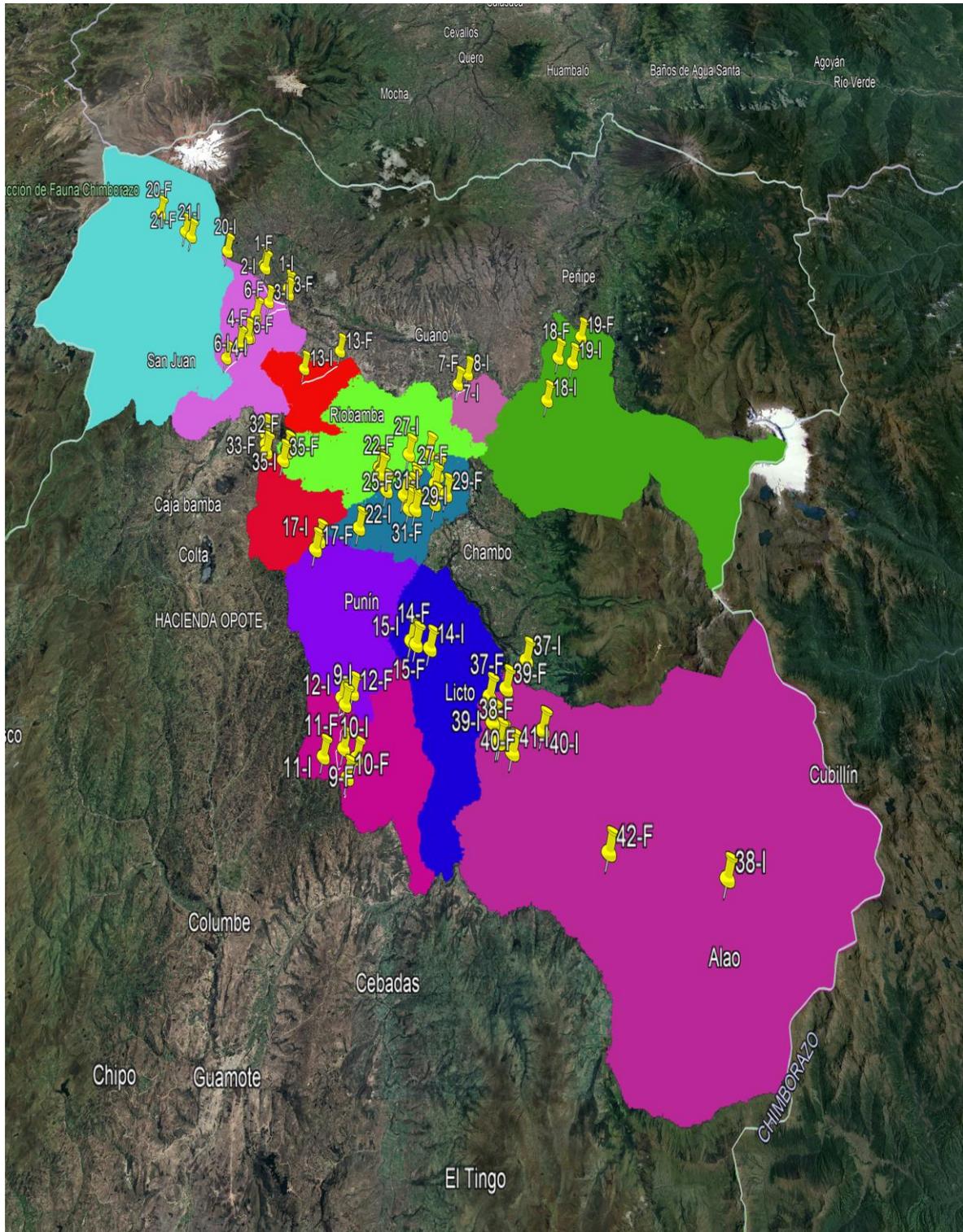
Propiedades (Celda)

| | | |
|---|----------------|---------------------------|
| Altura de la celda | mm | 75 |
| Dimensiones de la celda expandida | mm | 526x442 |
| Ancho de la sección expandida | m | 2.63 |
| Largo de la sección expandida | m | 5.30 |
| Números de Celdas por sección | (W x L) | 120 |
| Área de la Sección Expandida | m ² | 13.94 |
| Resistencia de la soldadura (C OE GL-86-19) | N/100 mm | >=1420 |
| Resistencia al Agrietamiento (ASTM D 1693) | h | >=3000 |
| Espesor de la faja de la celda perforada | mm | 1.65-1.75 |
| Tipo de Soldadura | | Ultrasónica 9 puntos/pulg |

Nota. Tomado de (Maccaferri, 2024)

Anexo 2. Zonificación de las vías de estudio con sus coordenadas de inicio y fin

Figura 31 Mapa de Zonificación



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 3. Evidencia fotográfica de los ensayos y toma de datos del proyecto

TOMA DE DATOS CON GEOGAUGE

Figura 32 Módulo de Young



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 33 Módulo de Rigidez



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 34 Toma de datos con Geogauge



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 35 Evidencia de toma de datos



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

PROCTOR ESTÁNDAR Y CBR

Figura 36 Muestras de suelo de la vía seleccionada



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 37 Secado de la muestra para el ensayo



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR

Figura 38 Peso del molde



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 39 Peso del cilindro + Suelo



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 40 *Taras con distintos tipos de muestras*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 41 *Muestra saturada*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

ENSAYO DE CBR DE LABORATORIO

Figura 42 *Peso de CBR de laboratorio*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 43 *Equipo para ensayo de CBR*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 44 Cilindro + suelo compacto a su humedad optima



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 45 Lectura inicial del deformímetro



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 46 Muestras sumergidas



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 47 Colocación de cilindro en la prensa



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 48 Lectura del resultado obtenido



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 49 Peso de la Tara con la muestra



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

APLICACIONES DEL CONFINAMIENTO CON GEOCELDAS

Figura 50 Extracción del suelo para nivelar



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 51 Vía nivelada



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 52 *Geoceldas implementadas en las vías*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 53 *Uso del mismo suelo natural para confinar con la Geocelda*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 54 *Camino agrícola confinado*



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

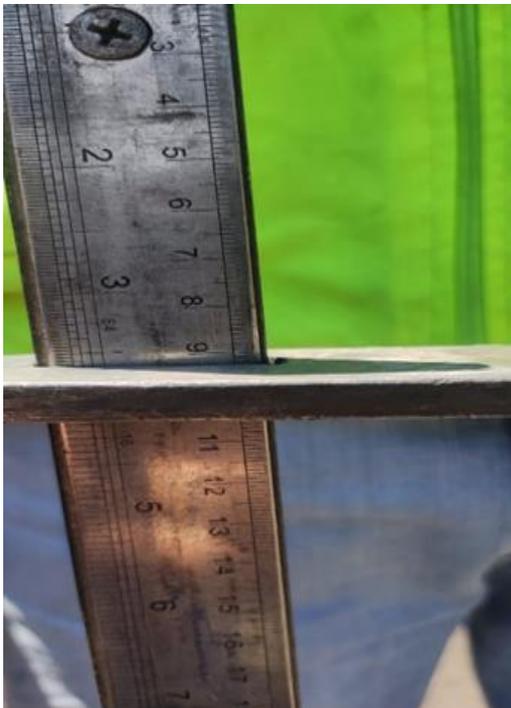
ENSAYO DCP

Figura 55 Equipo de ensayo DCP



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 57 Lectura inicial



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 56 Evidencia del ensayo



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Figura 58 Lectura a los 25 golpes



Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 4. Resultados la zonificación y de los ensayos de campo y laboratorio

Tabla 18 Zonificación y ensayos de campo y laboratorio

| Propiedades | Pawco Wavin | Marccafferri |
|---|------------------------|---------------------|
| Altura (mm) | 75 | 75 |
| Largo de Sección Expandida(m) | 5.1 | 5.3 |
| Ancho de la sección Expandida(m) | 3.9 | 2.63 |
| Área de la sección Expandida (m2) | 19.89 | 13.94 |
| Resistencia al Agrietamiento (h) | 50 | 30 |
| Espesor de la Faja Perforada (mm) | 1.65 | 1.65 |
| Resistencia a la Tensión en el punto de Fluencia (kn/m) | 22 | - |
| Resistencia a la Tensión en Soldadura (kn/m) | 16 | - |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 5. Resultados de la depuración de la hoja de Excel del GADPCH

Tabla 19 *Coordenadas y longitudes de las vías seleccionadas*

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|--|------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|------------|---------------------------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| Fecha de ejecución 30 de octubre del 2023 | | | | | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Zonificación | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| N° VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM INICIO | | COORDENADAS UTM FINAL | | LONGITUD DE LA VIA |
| 1 | CALPI | 752482.355 | 9824536.76 | 750507.244 | 9826167.68 | 2.7381 |
| 2 | CALPI | 750483.893 | 9826224.38 | 750381.183 | 9826404.38 | 0.2097 |
| 3 | CALPI | 751166.422 | 9823600.84 | 752592.625 | 9824185.95 | 1.6241 |
| 4 | CALPI | 748689.173 | 9819508.73 | 749485.789 | 9820380.27 | 1.1884 |
| 5 | CALPI | 750117.713 | 9820912.82 | 749982.287 | 9820895.14 | 0.1656 |
| 6 | CALPI | 749485.789 | 9820380.27 | 750368.873 | 9822507.49 | 2.3057 |
| 7 | CUBIJIES | 765395.339 | 9817641.69 | 766079.856 | 9818331.33 | 1.0907 |
| 8 | CUBIJIES | 766116.216 | 9818370.9 | 766156.21 | 9818419.75 | 0.0633 |
| 9 | FLORES | 759069.038 | 9799525.03 | 759165.988 | 9797517.26 | 2.6857 |
| 10 | FLORES | 759938.051 | 9797090.37 | 759489.203 | 9796231.12 | 1.137 |
| 11 | FLORES | 758031.99 | 9797164.17 | 758040.416 | 9797192.67 | 0.0299 |
| 12 | FLORES | 758832.16 | 9799858.36 | 759474.58 | 9800068.84 | 1.1388 |
| 13 | LICAN | 754386.887 | 9818746.82 | 756834.645 | 9819973.13 | 2.8165 |
| 14 | LICTO | 763934.385 | 9802154.23 | 763091.29 | 9802357.6 | 2.3121 |
| 15 | LICTO | 762781.09 | 9802535.62 | 762781.09 | 9802535.62 | 0.9055 |
| 16 | LICTO | 762802.788 | 9802546.24 | 762781.09 | 9802535.62 | 0.0242 |

| | | | | | | |
|----|----------|------------|------------|------------|------------|---------|
| 17 | PUNIN | 756626.049 | 9807873.09 | 756433.504 | 9807384.47 | 0.9766 |
| 18 | QUIMIAG | 771620.58 | 9816448.18 | 772547.132 | 9819373.24 | 5.2981 |
| 19 | QUIMIAG | 773559.595 | 9819036.98 | 774291.963 | 9820864.59 | 4.2135 |
| 20 | SAN JUAN | 747383.347 | 9827542.01 | 741549.949 | 9830741.57 | 12.4701 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 20 *Coordenadas y longitudes de las vías seleccionadas*

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|------------------------|------------|-----------------------|------------|------------------------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| Fecha de ejecución | | | | | | 30 de octubre del 2023 |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Zonificación | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| Nº VIA | PARROQUIA | COORDENADAS UTM INICIO | | COORDENADAS UTM FINAL | | LONGITUD DE LA VIA |
| 21 | SAN JUAN | 744346.985 | 9828776.62 | 743806.382 | 9829179.02 | 0.8974 |
| 22 | SAN LUIS | 759117.856 | 9808587.33 | 760339.355 | 9811798.06 | 8.3838 |
| 23 | SAN LUIS | 760289.297 | 9811860.33 | 760340.694 | 9811978.2 | 0.1305 |
| 24 | SAN LUIS | 760192.612 | 9812141.01 | 760192.656 | 9812141.34 | 0.0003 |
| 25 | SAN LUIS | 760763.794 | 9810772.97 | 761925.756 | 9810473.13 | 1.6392 |
| 26 | SAN LUIS | 764131.882 | 9811685.03 | 762575.288 | 9810939.99 | 1.8139 |
| 27 | SAN LUIS | 762137.061 | 9812975.61 | 763960.768 | 9811170.01 | 2.6335 |
| 28 | SAN LUIS | 762520.559 | 9811156.28 | 763496.647 | 9813064.06 | 2.2514 |
| 29 | SAN LUIS | 762717.078 | 9809644.78 | 764713.69 | 9810526.47 | 2.703 |
| 30 | SAN LUIS | 762388.318 | 9810575.1 | 763963.29 | 9809990.31 | 1.9272 |
| 31 | SAN LUIS | 762292.099 | 9809678.14 | 762319.016 | 9809821.69 | 0.1481 |

| | | | | | | |
|----|---------|------------|------------|------------|------------|---------|
| 32 | CACHA | 752363.463 | 9813632.73 | 752467.368 | 9813160.3 | 0.5246 |
| 33 | CACHA | 752312.494 | 9814298.57 | 752279.568 | 9814249.46 | 0.0592 |
| 34 | CACHA | 753840.983 | 9813300.44 | 753825.288 | 9813294.1 | 0.0169 |
| 35 | CACHA | 753873.591 | 9813203.13 | 753666.014 | 9812642.3 | 0.7134 |
| 36 | CACHA | 753825.288 | 9813294.1 | 753871.628 | 9813218.05 | 0.1862 |
| 37 | PUNGALA | 769755.255 | 9801550.9 | 767532.821 | 9799821.64 | 4.0706 |
| 38 | PUNGALA | 780285.831 | 9791961.78 | 768049.136 | 9797718.84 | 16.4703 |
| 39 | PUNGALA | 767709.781 | 9798601.85 | 768525.048 | 9800194.12 | 3.9138 |
| 40 | PUNGALA | 770602.495 | 9798226.04 | 768163.093 | 9797719.37 | 3.0834 |
| 41 | PUNGALA | 768831.546 | 9797239.4 | 770602.495 | 9798226.04 | 2.3575 |
| 42 | PUNGALA | 768051.815 | 9797732.52 | 774000.445 | 9793002.7 | 16.9773 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 5. Módulo de Rigidez y Módulo de Young obtenidos con el Geogauge

Tabla 21 Datos obtenidos en puntos de los caminos agrícolas

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | |
| Fecha de ejecución 21 de diciembre del 2024 | | | | | | | | |
| Ubicación | Riobamba | | | Autor | | Romero Jorge | | |
| Descripción | Toma de datos con el Geogauge | | | Tutor | | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| N° VIA | M. 1 RIGIDEZ | M. 1 YOUNG | COORDENADA UTM 1 | | M. 2 RIGIDEZ | M. 2 YOUNG | COORDENADA UTM 2 | |
| 1 | 5 | 39.83 | 752533 | 9824177 | 10.46 | 77.53 | 750745 | 9825792 |
| 2 | 8 | 57.55 | 750394 | 9826391 | 4.95 | 36.78 | 750474 | 9826236 |
| 3 | 9 | 68.92 | 750308 | 9822359 | 10.46 | 77.53 | 750745 | 9825792 |
| 4 | 17 | 127.32 | 749400 | 9820301 | 7.22 | 53.52 | 749188 | 9820113 |
| 5 | 8 | 62.02 | 749997 | 9821058 | 6.87 | 50.91 | 750093 | 9820939 |
| 6 | 6.39 | 47.39 | 749485 | 9820380 | 7.81 | 57.93 | 749678 | 9820819 |
| 7 | 11.2 | 83.06 | 765990 | 9818270 | 7.58 | 56.23 | 765437 | 9817710 |
| 8 | 9.93 | 73.61 | 766173 | 9818411 | 12.89 | 95.58 | 766156 | 9818419 |
| 9 | 10.45 | 77.45 | 759085 | 9799525 | 12.58 | 93.29 | 759166 | 9797517.3 |
| 10 | 13.65 | 101.21 | 759938.1 | 9797090 | 12.58 | 93.29 | 759489.2 | 9796231.1 |
| 11 | 12.79 | 94.86 | 758032 | 9797164 | 10.32 | 76.48 | 758040.4 | 9797192.7 |
| 12 | 16.28 | 120.72 | 759276 | 9800140 | 13.67 | 101.33 | 758822 | 9799875 |
| 13 | 8.72 | 64.63 | 755543 | 9819139 | 10.39 | 77.06 | 756346 | 9819652 |
| 14 | 6.39 | 47.39 | 764469 | 9801601 | 7.06 | 53.38 | 763091.3 | 9802357.6 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|--------|----------|---------|-------|-------|----------|-----------|
| 15 | 8.69 | 64.45 | 762781.1 | 9802536 | 7.17 | 53.2 | 762781.1 | 9802535.6 |
| 16 | 5.21 | 38.67 | 762802.8 | 9802546 | 8.19 | 60.74 | 762781.1 | 9802535.6 |
| 17 | 5.27 | 39.09 | 764598 | 9801400 | 8.56 | 63.5 | 764046 | 9801478 |
| 18 | 6.71 | 49.78 | 756626 | 9807873 | 6.12 | 45.37 | 756433.5 | 9807384.5 |
| 19 | 13.65 | 101.21 | 771620.6 | 9816448 | 12.58 | 93.29 | 772547.1 | 9819373.2 |
| 20 | 10.32 | 76.48 | 773559.6 | 9819037 | 12.79 | 94.86 | 774292 | 9820864.6 |
| 21 | 8.18 | 60.64 | 769977 | 9812164 | 9.4 | 69.71 | 771011 | 9813465 |
| 22 | 14.52 | 107.68 | 771011 | 9813465 | 10.85 | 80.42 | 771232 | 9813443 |
| 23 | 2.24 | 16.65 | 771232 | 9813443 | 3.89 | 28.84 | 771332 | 9813443 |
| 24 | 2.94 | 21.7 | 746871 | 9826984 | 2.56 | 19 | 746873 | 982712 |
| 25 | 5.84 | 43.32 | 744347 | 9828777 | 8.18 | 60.64 | 743806.4 | 9829179 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 22 Datos obtenidos en puntos de los caminos agrícolas

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------------|------------------|---------|--------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | |
| | | | | | Fecha de ejecución | 8 de enero del 2024 | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Ensayo Proctor Estándar | | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| N° VIA | M. 1 RIGIDEZ | M. 1 YOUNG | COORDENADA UTM 1 | | M. 2 RIGIDEZ | M. 2 YOUNG | COORDENADA UTM 2 | |
| 26 | 2.35 | 17.41 | 747440 | 9826689 | 2.76 | 20.49 | 747668 | 9826671 |
| 27 | 9.18 | 68.06 | 759117.9 | 9808587 | 8.18 | 60.64 | 760339.4 | 9811798.1 |
| 28 | 9.15 | 67.83 | 760544 | 9811909 | 9.79 | 72.6 | 760340.7 | 9811978.2 |
| 29 | 7.89 | 58.52 | 760306 | 9811910 | 7.2 | 53.41 | 760334 | 9811957 |
| 30 | 8.58 | 63.61 | 760763.8 | 9810773 | 6.48 | 48.03 | 761490 | 9810608 |
| 31 | 10.85 | 80.42 | 764131.9 | 9811685 | 9.79 | 72.6 | 762905 | 9810804 |
| 32 | 8.14 | 60.36 | 763172 | 9811895 | 8.18 | 60.64 | 763960.8 | 9811170 |
| 33 | 12.79 | 94.86 | 762684 | 9811442 | 10.32 | 76.48 | 763119 | 9811841 |
| 34 | 22.27 | 165.14 | 762703 | 9809616 | 20.83 | 154.46 | 764713.7 | 9810526.5 |
| 35 | 7.13 | 52.87 | 762388.3 | 9810575 | 6.96 | 51.63 | 762889 | 9810369 |
| 36 | 7.06 | 52.32 | 762292.1 | 9809678 | 8.9 | 66.01 | 762424 | 9809796 |
| 37 | 6.96 | 51.58 | 752380 | 9813600 | 4.74 | 35.14 | 752493 | 98134003 |
| 38 | 7.5 | 55.6 | 752294 | 9814277 | 6.74 | 49.96 | 752224 | 9814075 |
| 39 | 11.32 | 83.92 | 753841 | 9813300 | 13.94 | 103.32 | 753825.3 | 9813294.1 |
| 40 | 12.57 | 93.19 | 753742 | 9812810 | 9.41 | 69.79 | 753806 | 9813205 |
| 41 | 7.32 | 54.31 | 753807 | 9813290 | 7.13 | 52.87 | 753871.6 | 9813218 |
| 42 | 8.64 | 64.07 | 769211 | 9801539 | 10.93 | 81.03 | 767826 | 9800250 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|--------|----------|---------|-------|--------|----------|-----------|
| 43 | 13.94 | 103.32 | 768367 | 9797547 | 22.22 | 164.77 | 768857 | 9797255 |
| 44 | 20.83 | 154.46 | 767709.8 | 9798602 | 11.45 | 84.89 | 768525 | 9800194.1 |
| 45 | 11.32 | 83.92 | 768461 | 9797899 | 8.66 | 64.18 | 769236 | 9798198 |
| 46 | 17.74 | 131.56 | 769176 | 9797664 | 14.52 | 107.68 | 770602.5 | 9798226 |
| 47 | 4.67 | 34.62 | 768059 | 9797658 | 19.22 | 142.54 | 768245 | 9797380 |
| 48 | 5.63 | 41.76 | 771368 | 9800306 | 3.5 | 25.93 | 771284 | 9800208 |
| 49 | 3.77 | 27.99 | 769176 | 9797687 | 5.19 | 38.46 | 768245 | 9797380 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 23 Datos obtenidos de la correlación del módulo de Young y CBR

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|---|------------|------------------|---------|---------|------------|---------|-----------------------|---------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | |
| Fecha de ejecución 05 de noviembre del 2023 | | | | | | | | |
| Ubicación | | UNACH - Riobamba | | | Autor | | Romero Jorge | |
| Descripción | | Zonificación | | | Tutor | | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| Nº VIA | M. 1 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) | M. 2 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) |
| 1 | 39.83 | 5776.9 | 3.98 | 3.58 | 77.53 | 11245.0 | 7.75 | 10.14 |
| 2 | 57.55 | 8347.1 | 5.76 | 6.37 | 36.78 | 5334.6 | 3.68 | 3.16 |
| 3 | 68.92 | 9996.2 | 6.89 | 8.44 | 77.53 | 11245.0 | 7.75 | 10.14 |
| 4 | 127.32 | 18466.5 | 12.73 | 22.02 | 53.52 | 7762.5 | 5.35 | 5.68 |
| 5 | 62.02 | 8995.4 | 6.20 | 7.16 | 50.91 | 7384.0 | 5.09 | 5.26 |
| 6 | 47.39 | 6873.4 | 4.74 | 4.70 | 57.93 | 8402.2 | 5.79 | 6.43 |
| 7 | 83.06 | 12047.0 | 8.31 | 11.30 | 56.23 | 8155.6 | 5.62 | 6.14 |
| 8 | 73.61 | 10676.4 | 7.36 | 9.35 | 95.58 | 13862.9 | 9.56 | 14.07 |
| 9 | 77.45 | 11233.3 | 7.75 | 10.13 | 93.29 | 13530.8 | 9.33 | 13.54 |
| 10 | 101.21 | 14679.5 | 10.12 | 15.38 | 93.29 | 13530.8 | 9.33 | 13.54 |
| 11 | 94.86 | 13758.5 | 9.49 | 13.90 | 76.48 | 11092.7 | 7.65 | 9.93 |
| 12 | 120.72 | 17509.2 | 12.07 | 20.26 | 101.33 | 14696.9 | 10.13 | 15.41 |
| 13 | 64.63 | 9373.9 | 6.46 | 7.63 | 77.06 | 11176.8 | 7.71 | 10.05 |
| 14 | 47.39 | 6873.4 | 4.74 | 4.70 | 53.38 | 7742.2 | 5.34 | 5.66 |
| 15 | 64.45 | 9347.8 | 6.45 | 7.60 | 53.20 | 7716.1 | 5.32 | 5.63 |
| 16 | 38.67 | 5608.7 | 3.87 | 3.42 | 60.74 | 8809.7 | 6.07 | 6.93 |
| 17 | 39.09 | 5669.6 | 3.91 | 3.48 | 63.50 | 9210.0 | 6.35 | 7.43 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|---------|-------|-------|-------|---------|------|-------|
| 18 | 49.78 | 7220.1 | 4.98 | 5.08 | 45.37 | 6580.5 | 4.54 | 4.39 |
| 19 | 101.21 | 14679.5 | 10.12 | 15.38 | 93.29 | 13530.8 | 9.33 | 13.54 |
| 20 | 76.48 | 11092.7 | 7.65 | 9.93 | 94.86 | 13758.5 | 9.49 | 13.90 |
| 21 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 | 69.71 | 10110.7 | 6.97 | 8.59 |
| 22 | 107.68 | 15617.9 | 10.77 | 16.95 | 80.42 | 11664.1 | 8.04 | 10.74 |
| 23 | 16.65 | 2414.9 | 1.67 | 0.92 | 28.84 | 4183.0 | 2.88 | 2.16 |
| 24 | 21.7 | 3147.4 | 2.17 | 1.9 | 19 | 2755.8 | 1.90 | 1.13 |
| 25 | 43.32 | 6283.1 | 4.33 | 4.09 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 24 Datos obtenidos de la correlación del módulo de Young y CBR

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------|---------|---------|------------|-----------------------|---------|---------|--|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | | |
| Fecha de ejecución 05 de noviembre del 2023 | | | | | | | | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | | Autor | Romero Jorge | | | |
| Descripción | Zonificación | | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | | |
| Nº VIA | M. 1 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) | M. 2 YOUNG | MR | CBR (T) | CBR (P) | |
| 26 | 17.41 | 2525.1 | 1.74 | 0.98 | 20.49 | 2971.9 | 2.05 | 1.27 | |
| 27 | 68.06 | 9871.4 | 6.81 | 8.28 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 | |
| 28 | 67.83 | 9838.1 | 6.78 | 8.23 | 72.6 | 10529.9 | 7.26 | 9.15 | |
| 29 | 58.52 | 8487.7 | 5.85 | 6.54 | 53.41 | 7746.6 | 5.34 | 5.67 | |
| 30 | 63.61 | 9226.0 | 6.36 | 7.45 | 48.03 | 6966.3 | 4.80 | 4.80 | |
| 31 | 80.42 | 11664.1 | 8.04 | 10.74 | 72.6 | 10529.9 | 7.26 | 9.15 | |
| 32 | 60.36 | 8754.6 | 6.04 | 6.86 | 60.64 | 8795.2 | 6.06 | 6.91 | |
| 33 | 94.86 | 13758.5 | 9.49 | 13.90 | 76.48 | 11092.7 | 7.65 | 9.93 | |
| 34 | 165.14 | 23951.9 | 16.51 | 33.06 | 154.46 | 22402.9 | 15.45 | 29.78 | |
| 35 | 52.87 | 7668.3 | 5.29 | 5.58 | 51.63 | 7488.4 | 5.16 | 5.37 | |
| 36 | 52.32 | 7588.5 | 5.23 | 5.49 | 66.01 | 9574.1 | 6.60 | 7.89 | |
| 37 | 51.58 | 7481.2 | 5.16 | 5.37 | 35.14 | 5096.7 | 3.51 | 2.95 | |
| 38 | 55.6 | 8064.2 | 5.56 | 6.03 | 49.96 | 7246.2 | 5.00 | 5.10 | |
| 39 | 83.92 | 12171.8 | 8.39 | 11.48 | 103.32 | 14985.5 | 10.33 | 15.89 | |
| 40 | 93.19 | 13516.3 | 9.32 | 13.52 | 69.79 | 10122.3 | 6.98 | 8.61 | |
| 41 | 54.31 | 7877.1 | 5.43 | 5.82 | 52.87 | 7668.3 | 5.29 | 5.58 | |
| 42 | 64.07 | 9292.7 | 6.41 | 7.53 | 81.03 | 11752.6 | 8.10 | 10.87 | |

| | | | | | | | | |
|----|--------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 43 | 103.32 | 14985.5 | 10.33 | 15.89 | 164.77 | 23898.2 | 16.48 | 32.94 |
| 44 | 154.46 | 22402.9 | 15.45 | 29.78 | 84.89 | 12312.4 | 8.49 | 11.69 |
| 45 | 83.92 | 12171.8 | 8.39 | 11.48 | 64.18 | 9308.7 | 6.42 | 7.55 |
| 46 | 131.56 | 19081.5 | 13.16 | 23.17 | 107.68 | 15617.9 | 10.77 | 16.95 |
| 47 | 34.62 | 5021.3 | 3.46 | 2.88 | 142.54 | 20674.0 | 14.25 | 26.27 |
| 48 | 41.76 | 6056.9 | 4.18 | 3.86 | 25.93 | 3760.9 | 2.59 | 1.83 |
| 49 | 27.99 | 4059.7 | 2.80 | 2.06 | 38.46 | 5578.2 | 3.85 | 3.39 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 6. Resultados del ensayo del laboratorio Proctor Estándar

Tabla 25 Datos de los pesos iniciales del ensayo

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|---|---|-----------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|--|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 8 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Ensayo Proctor Estándar | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| Muestra No. | | | 1 | | | |
| Procedencia del Material | | | Parroquia San Juan - Comunidad 4 esquinas | | | |
| Tipo de Material | | | Suelo Natural | | | |
| Diámetro Interno del Cilindro | | | 15.2 | [cm] | | |
| Altura Interna del Cilindro | | | 11.6 | [cm] | | |
| Volumen del Cilindro | | | 2104.92 | [cm ³] | | |
| Peso del Cilindro | | | 6.562 | [kg] | | |
| Punto | Peso Cilindro + Suelo Compactado | Denominación de Tara | Peso de Tara | Peso Suelo Húmedo + Tara | Peso Suelo Seco + Tara | |
| [-] | [kg] | [-] | [gr] | [gr] | [gr] | |
| 1 | 9.219 | 3J | 14.80 | 46.60 | 44.10 | |
| | | 4J | 14.60 | 46.20 | 43.60 | |
| 2 | 9.573 | 5J | 14.40 | 48.90 | 44.60 | |
| | | 6J | 14.50 | 43.90 | 40.20 | |
| 3 | 9.843 | 7J | 14.70 | 44.30 | 39.10 | |
| | | 8J | 14.80 | 49.10 | 43.20 | |

| | | | | | |
|---|--------|----|-------|-------|-------|
| 4 | 9.979 | 1R | 14.70 | 64.50 | 53.70 |
| | | 2R | 14.10 | 61.70 | 51.30 |
| 5 | 10.192 | 3R | 14.30 | 60.30 | 48.80 |
| | | 4R | 14.50 | 65.60 | 53.20 |
| 6 | 10.100 | 5R | 14.60 | 69.20 | 54.40 |
| | | 6R | 14.20 | 62.70 | 49.40 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 26 Resultados iniciales obtenidos en el ensayo

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | |
| Fecha de ejecución | | | | 8 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo Proctor Estándar | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| Punto | Peso Cilindro Proctor | Volumen del Cilindro Proctor | Peso Cilindro + Suelo Compactado | Peso del Suelo Compactado | Peso Específico del Suelo Compactado Húmedo |
| [-] | [kg] | [cm ³] | [kg] | [kg] | [T/m ³] |
| 1 | 6.562 | 2104.917 | 9.219 | 2.657 | 1.2623 |
| 2 | 6.562 | 2104.917 | 9.573 | 3.011 | 1.4305 |
| 3 | 6.562 | 2104.917 | 9.843 | 3.281 | 1.5587 |
| 4 | 6.562 | 2104.917 | 9.979 | 3.417 | 1.6233 |
| 5 | 6.562 | 2104.917 | 10.192 | 3.630 | 1.7245 |
| 6 | 6.562 | 2104.917 | 10.100 | 3.538 | 1.6808 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 27 Resultados finales obtenidos en el ensayo

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|---|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | |
| | | | | | Fecha de ejecución | 8 de enero del 2024 | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Ensayo Proctor Estándar | | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| Muestra | Peso de Tara | Peso Suelo Húmedo + Tara | Peso Suelo Seco + Tara | Peso Suelo Seco | Peso del Agua | Porcentaje de Agua | Porcentaje Promedio de Agua | Peso Específico del Suelo Compactado Seco |
| [-] | [gr] | [gr] | [gr] | [gr] | [gr] | [%] | [%] | [T/m ³] |
| 1 | 14.80 | 46.60 | 44.10 | 29.30 | 2.50 | 8.532 | 8.749 | 1.161 |
| | 14.60 | 46.20 | 43.60 | 29.00 | 2.60 | 8.966 | | |
| 2 | 14.40 | 48.90 | 44.60 | 30.20 | 4.30 | 14.238 | 14.318 | 1.251 |
| | 14.50 | 43.90 | 40.20 | 25.70 | 3.70 | 14.397 | | |
| 3 | 14.70 | 44.30 | 39.10 | 24.40 | 5.20 | 21.311 | 21.043 | 1.288 |
| | 14.80 | 49.10 | 43.20 | 28.40 | 5.90 | 20.775 | | |
| 4 | 14.70 | 64.50 | 53.70 | 39.00 | 10.80 | 27.692 | 27.825 | 1.270 |
| | 14.10 | 61.70 | 51.30 | 37.20 | 10.40 | 27.957 | | |
| 5 | 14.30 | 60.30 | 48.80 | 34.50 | 11.50 | 33.333 | 32.687 | 1.300 |
| | 14.50 | 65.60 | 53.20 | 38.70 | 12.40 | 32.041 | | |
| 6 | 14.60 | 69.20 | 54.40 | 39.80 | 14.80 | 37.186 | 37.485 | 1.223 |
| | 14.20 | 62.70 | 49.40 | 35.20 | 13.30 | 37.784 | | |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Anexo 7. Resultados obtenidos del ensayo de CBR en el laboratorio

Tabla 28 Datos iniciales tomados para el ensayo

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | |
| Fecha de ejecución | | | | 15 de enero del 2024 | | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | | | |
| Descripción | Ensayo CBR | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | | |
| | Molde N° | G 1 | G 2 | G 3 | G 4 | G 5 | G 6 |
| Peso del molde (kg) | | 7.964 | 7.949 | 7.985 | 7.949 | 7.965 | 7.949 |
| Volumen del molde (cm ³) | | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 |
| Número de capas | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Número de golpes por capa | | 12 | 26 | 56 | 12 | 26 | 56 |
| Peso del molde + peso del suelo húmedo (kg) | | 11.24 | 11.37 | 11.53 | 11.19 | 11.41 | 11.61 |
| P. del molde + peso del suelo húmedo "Saturado" (kg) | | 11.66 | 11.69 | 11.80 | 11.56 | 11.70 | 11.82 |
| Peso del suelo húmedo (kg) | | 3.277 | 3.425 | 3.547 | 3.242 | 3.451 | 3.663 |
| Peso del suelo húmedo "Saturado" (kg) | | 3.704 | 3.749 | 3.821 | 3.611 | 3.737 | 3.874 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | | 1.759 | 1.781 | 1.815 | 1.715 | 1.775 | 1.840 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 29 Resultados obtenidos el primer día de ensayo

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | | |
|--|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|---------------|----------------|---------------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | | |
| | | Fecha de ejecución | | 15 de enero del 2024 | | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | Autor | | Romero Jorge | | | |
| Descripción | Ensayo CBR | Tutor | | Ing. Vladimir Pazmiño | | | |
| | Tara N° | 5J(G1) | 2R(G1) | 6R(G2) | 7J(G2) | 14J(G3) | 8J(G3) |
| Peso suelo húmedo + tara (g) | | 43.9 | 47.2 | 42.5 | 37 | 38.4 | 36.9 |
| Peso suelo seco + tara (g) | | 36.3 | 38.6 | 35.8 | 31.2 | 33.6 | 32.2 |
| Peso de tara (g) | | 14.3 | 14.1 | 14.2 | 14.7 | 15.2 | 14.8 |
| Peso de agua (g) | | 7.6 | 8.6 | 6.7 | 5.8 | 4.8 | 4.7 |
| Promedio de dos pesos de agua por molde(g) | | 8.1 | | 6.25 | | 4.75 | |
| Peso de suelo seco (g) | | 22 | 24.5 | 21.6 | 16.5 | 18.4 | 17.4 |
| Promedio de peso de suelo seco(g) | | 23.25 | | 19.05 | | 17.9 | |
| Contenido de humedad (%) | | 34.84 | | 32.81 | | 26.54 | |
| Densidad seca (g/cm3) | | 1.304981304 | | 1.341027856 | | 1.43453042 | |
| | Tara N° | G3(G4) | 7(G4) | 1R(G5) | P1(G5) | P2(G6) | 1P(G6) |
| Peso suelo húmedo + tara (g) | | 44.5 | 41.2 | 41.8 | 41.8 | 43.5 | 38.1 |
| Peso suelo seco + tara (g) | | 36.8 | 34.5 | 35.7 | 35.5 | 38.2 | 32.3 |
| Peso de tara (g) | | 14.5 | 14.7 | 14.7 | 18.7 | 18.1 | 18.2 |
| Peso de agua (g) | | 7.7 | 6.7 | 6.1 | 6.3 | 5.3 | 5.8 |
| Promedio de los dos pesos de agua por molde(g) | | 7.2 | | 6.2 | | 5.55 | |
| Peso de suelo seco (g) | | 22.3 | 19.8 | 21 | 16.8 | 20.1 | 14.1 |

| | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Promedio de peso de suelo seco(g) | 21.05 | 18.9 | 17.1 |
| Contenido de humedad (%) | 34.20 | 32.80 | 32.46 |
| Densidad seca (g/cm3) | 1.278230088 | 1.336777356 | 1.389425996 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 30 Lecturas recolectadas de 5 días en los deformímetros de los 6 moldes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|-------|--------------------|-----------------------|-------|-------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | Autor | Romero Jorge | | |
| Descripción | Ensayo CBR | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | | |
| Datos de las lecturas el deformímetro | | | | | | |
| | Molde | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
| | G 1 | 21.6 | 42.8 | 47 | 49.9 | 51.1 |
| | G 2 | 18.1 | 41.4 | 46.1 | 49 | 51.6 |
| | G 3 | 13 | 43.9 | 47.8 | 49.5 | 51.2 |
| | G 4 | 23.1 | 39.2 | 42.5 | 44.9 | 46 |
| | G 5 | 22.1 | 41 | 45 | 47.5 | 49.2 |
| | G 6 | 16.5 | 33 | 36.8 | 38.9 | 41 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 31 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G1 compactado a 12 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G1 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 12 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in2 | Kg/cm2 |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 135 | 44.36 | 3.12 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 263 | 86.42 | 6.08 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 352 | 115.66 | 8.13 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 414 | 136.03 | 9.56 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 468 | 153.77 | 10.81 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 514 | 168.89 | 11.87 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 560 | 184.00 | 12.94 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 600 | 197.15 | 13.86 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 638 | 209.63 | 14.74 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 676 | 222.12 | 15.62 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 32 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G2 compactado a 26 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G2 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 26 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in2 | Kg/cm2 |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 63 | 20.70 | 1.46 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 283 | 92.99 | 6.54 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 425 | 139.65 | 9.82 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 555 | 182.36 | 12.82 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 666 | 218.83 | 15.39 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 768 | 252.35 | 17.74 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 866 | 284.55 | 20.01 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 953 | 313.13 | 22.02 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 1035 | 340.08 | 23.91 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 1119 | 367.68 | 25.85 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 33 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G3 compactado a 56 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G3 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 56 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in ² | Kg/cm ² |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 273 | 89.70 | 6.31 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 618 | 203.06 | 14.28 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 806 | 264.83 | 18.62 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 864 | 283.89 | 19.96 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 932 | 306.23 | 21.53 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 1044 | 343.03 | 24.12 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 1137 | 373.59 | 26.27 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 1236 | 406.12 | 28.55 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 1324 | 435.04 | 30.59 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 1408 | 462.64 | 32.53 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 34 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G4 compactado a 12 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G4 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 12 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in2 | Kg/cm2 |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 98 | 32.20 | 2.26 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 192 | 63.09 | 4.44 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 263 | 86.42 | 6.08 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 322 | 105.80 | 7.44 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 377 | 123.87 | 8.71 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 428 | 140.63 | 9.89 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 476 | 156.40 | 11.00 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 519 | 170.53 | 11.99 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 562 | 184.66 | 12.98 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 600 | 197.15 | 13.86 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 35 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G5 compactado a 26 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G5 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 26 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| In | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in2 | Kg/cm2 |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 203 | 66.70 | 4.69 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 387 | 127.16 | 8.94 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 512 | 168.23 | 11.83 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 616 | 202.40 | 14.23 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 707 | 232.30 | 16.33 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 795 | 261.22 | 18.37 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 879 | 288.82 | 20.31 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 967 | 317.73 | 22.34 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 1051 | 345.33 | 24.28 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 1130 | 371.29 | 26.10 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 36 Datos obtenidos en la prensa para ensayo de CBR del molde G6 compactado a 56 golpes

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| FACULTAD E INGENIERIA | | | | | | |
| INGENIERIA CIVIL | | | | | | |
| | | | | Fecha de ejecución | 19 de enero del 2024 | |
| Ubicación | UNACH - Riobamba | | | Autor | Romero Jorge | |
| Descripción | Ensayo CBR | | | Tutor | Ing. Vladimir Pazmiño | |
| | | | | Molde N° G6 | | |
| PENETRACIÓN | | | | Carga Estándar | Golpes por capa N° 56 | |
| | | | | Carga de prueba | | |
| in | mm | cm | lbs/in | Lectura (lb) | Lb/in2 | Kg/cm2 |
| 0.05 | 1.270 | 0.127 | | 165 | 54.22 | 3.81 |
| 0.1 | 2.540 | 0.254 | 1000 | 481 | 158.05 | 11.11 |
| 0.15 | 3.810 | 0.381 | | 843 | 276.99 | 19.47 |
| 0.2 | 5.080 | 0.508 | 1500 | 1112 | 365.38 | 25.69 |
| 0.25 | 6.350 | 0.635 | | 1330 | 437.01 | 30.72 |
| 0.3 | 7.620 | 0.762 | | 1520 | 499.44 | 35.11 |
| 0.35 | 8.890 | 0.889 | | 1682 | 552.67 | 38.86 |
| 0.4 | 10.160 | 1.016 | | 1836 | 603.27 | 42.41 |
| 0.45 | 11.430 | 1.143 | | 1991 | 654.20 | 45.99 |
| 0.5 | 12.700 | 1.27 | | 2146 | 705.13 | 49.58 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

| Muestra | Inicial | Confinado | |
|-----------------|----------------|------------------|------|
| Módulo de Young | 16.65 | 28.54 | 30.4 |

| Muestra | Inicial | Confinado | |
|----------------|----------------|------------------|------|
| CBR(P) | 1.67 | 2.85 | 3.04 |
| CBR(T) | 0.92 | 2.13 | 2.35 |

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 37 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Cal óptimo

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|--|---------------|----------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|
| RUBRO: Estabilizante Cal óptimo (5,5%) | | | | RUBRO: 1 | |
| DETALLE: | | | | UNIDAD: M3 | |
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCION | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R |
| Herramienta menor (5%M.0) | 1.00 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 0.01 |
| Moto niveladora | 1.00 | 55.00 | 55.00 | 0.01 | 0.54 |
| Rodillo liso | 1.00 | 40.00 | 40.00 | 0.01 | 0.39 |
| Tanquero | 1.00 | 30.00 | 30.00 | 0.01 | 0.29 |
| SUBTOTAL A | | | | | 1.23 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCION (CATEGORIA) | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R |
| Op. De equipo motoniveladora) | 1.00 | 4.01 | 4.01 | 0.01 | 0.04 |
| Op. Equipo (Rodillo liso) | 1.00 | 3.82 | 3.82 | 0.01 | 0.04 |
| Chofer tanquero | 1.00 | 5.26 | 5.26 | 0.01 | 0.05 |
| Peon | 1.00 | 3.62 | 3.62 | 0.01 | 0.04 |
| SUBTOTAL B | | | | | 0.17 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO C= A*B | |
| Agentes estabilizante Cal | KG | 55.00 | 0.12 | 6.57 | |
| Agua (102M3) | M3 | 0.03 | 1.00 | 0.03 | |
| SUBTOTAL C | | | | | 6.60 |
| Riobamba | | | COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C) | | 8.00 |
| | | | TOTAL COSTOS INDIRECTOS 25.00% | | 2.00 |
| | | | OTROS INDIRECTOS % | | |
| | | | PRECIO CALCULADO EN DÓLARES | | 10.00 |
| JORGE GUSTAVO ROMERO FREIRE | | | PRECIO UNITARIO ADOPTADO | | 10.00 |

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 38 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Sal óptimo

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | |
|--|---------------|---------------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|------|
| RUBRO: Estabilizante sal óptimo (4.9%) | | | | RUBRO: 2 | | |
| DETALLE: | | | | UNIDAD: M3 | | |
| EQUIPOS | | | | | | |
| DESCRIPCION | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R | |
| Herramienta menor | 1.00 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 0.01 | |
| Motoniveladora | 1.00 | 55.00 | 55.00 | 0.01 | 0.54 | |
| Rodillo liso | 1.00 | 40.00 | 40.00 | 0.01 | 0.39 | |
| Tanquero | 1.00 | 30.00 | 30.00 | 0.01 | 0.29 | |
| SUBTOTAL A | | | | | 1.23 | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| DESCRIPCION (CATEGORIA) | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R | |
| Op. De equipo motoniveladora) | 1.00 | 4.01 | 4.01 | 0.01 | 0.04 | |
| Op. Equipo (Rodillo liso) | 1.00 | 3.82 | 3.82 | 0.01 | 0.04 | |
| Chofer tanquero | 1.00 | 5.26 | 5.26 | 0.01 | 0.05 | |
| Peon | 1.00 | 3.62 | 3.62 | 0.01 | 0.04 | |
| SUBTOTAL B | | | | | 0.17 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO C= A*B | | |
| Agnete estabilizante sal | KG | 48.00 | 0.06 | 3.06 | | |
| Agua (102M3) | M3 | 0.03 | 1.00 | 0.03 | | |
| SUBTOTAL C | | | | | 3.09 | |
| Riobamba,10 de febrero 2024 | | COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C) | | | 4.49 | |
| | | TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | 25.00% | 1.12 |
| | | OTROS INDIRECTOS % | | | | |
| | | PRECIO CALCULADO EN DÓLARES | | | | 5.61 |
| JORGE GUSTAVO ROMERO FREIRE | | PRECIO UNITARIO ADOPTADO | | | 5.61 | |

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Nota. Tomado de (Romero, 2024)

Tabla 39 Análisis de precios unitarios de Estabilizante Geocelda

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|-------|
| RUBRO: Estabilizante Geocelda | | | RUBRO: 3 | | | |
| DETALLE: | | | UNIDAD: M3 | | | |
| EQUIPOS | | | | | | |
| DESCRIPCION | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R | |
| Herramienta menor | 1.00 | 0.01 | 0.01 | 1.00 | 0.01 | |
| Motoniveladora | 1.00 | 55.00 | 55.00 | 0.01 | 0.50 | |
| Rodillo liso | 1.00 | 40.00 | 40.00 | 0.01 | 0.36 | |
| Tanquero | 1.00 | 30.00 | 30.00 | 0.01 | 0.27 | |
| SUBTOTAL A | | | | | 1.14 | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| DESCRIPCION (CATEGORIA) | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C= A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D= C*R | |
| Op. De equipo (motoniveladora) | 1.00 | 4.01 | 4.01 | 0.01 | 0.04 | |
| Op. Equipo (Rodillo liso) | 1.00 | 3.82 | 3.82 | 0.01 | 0.03 | |
| Chofer tanquero | 1.00 | 5.26 | 5.26 | 0.01 | 0.05 | |
| Peon | 1.00 | 3.62 | 3.62 | 0.01 | 0.03 | |
| SUBTOTAL B | | | | | 0.15 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO C= A*B | | |
| Agente estabilizante geoceldas | M2 | 1.00 | 7.56 | 7.56 | | |
| Agua (102M3) | M3 | 0.03 | 1.00 | 0.03 | | |
| SUBTOTAL C | | | | | 7.59 | |
| Riobamba, 10 DE FEBRERO 2024 | | COSTO UNITARIO DIRECTO (A+B+C) | | | 8.88 | |
| | | TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | 25.00% | 2.22 |
| | | OTROS INDIRECTOS % | | | | |
| | | PRECIO CALCULADO EN DÓLARES | | | | 11.10 |
| JORGE GUSTAVO ROMERO FREIRE | | PRECIO UNITARIO ADOPTADO | | | 11.10 | |

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Nota. Tomado de (Romero, 2024)