



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA  
ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES ÁRIDOS DE LA CANTERA DEL  
CANTÓN GUACHAPALA MEDIANTE APLICACIÓN DE ADITIVO  
FORMADO POR ORGANOSILANOS.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:           LUIS ALEJANDRO LOJA VIRI  
                          JUAN DIEGO PALACIOS PADRON**

**DIRECTOR:  ING. MSC. JOSE FRANCISCO DARQUEA CORDOVA**

**CUENCA – ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## **UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

### **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

#### **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES ÁRIDOS DE LA CANTERA DEL CANTÓN GUACHAPALA MEDIANTE APLICACIÓN DE ADITIVO FORMADO POR ORGANOSILANOS.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: LUIS ALEJANDRO LOJA VIRI  
JUAN DIEGO PALACIOS PADRON**

**DIRECTOR: ING. MSC. JOSE FRANCISCO DARQUEA CORDOVA**

**CUENCA – ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Luis Alejandro Loja Viri y Juan Diego Palacios Padrón portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 010646909-1 y 010662911-6. Declaramos ser autores de la obra: **“Análisis De Factibilidad Técnica Y Económica De La Estabilización De Materiales Áridos De La Cantera Del Cantón Guachapala Mediante Aplicación De Aditivo Formado Por Organosilanos”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **05 de mayo de 2023**



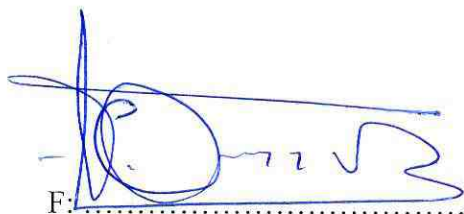
F: .....  
Luis Alejandro Loja Viri  
010646909-1



F: .....  
Juan Diego Palacios Padrón  
010662911-6

## CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Francisco José Darquea Córdova, certifico que el presente trabajo de titulación fue ejecutado por los estudiantes Loja Viri Luis Alejandro y Palacios Padrón Juan Diego bajo mi dirección.



F: .....  
Francisco José Darquea Córdova  
010378417-9

## Dedicatoria

Dedicatoria de Luis Alejandro Loja Viri

La presente tesis está dedicado principalmente a mi madre que es mi ángel de la guarda que desde el cielo me cuida y me protege, a mi hermano que estuvo durante todo el transcurso de mis estudios apoyándome de forma incondicional en la parte moral y sobre todo económica para culminar la meta planteada y lograr ser un profesional.

Dedicatoria de Juan Diego Palacios Padrón

El presente trabajo, está dedicado primeramente a Dios, por ser mi guía y fortaleza durante esta etapa. A mis padres y a mi hermana que con su apoyo y sacrificio me ayudaron a culminar mi formación profesional. y a mi abuelita por estar presente y enseñarme a no rendirme a pesar de los duros momentos del proceso.

## Agradecimiento

Agradecimiento de Luis Alejandro Loja Viri

A Dios, por haberme iluminado día tras día para lograr culminar con mi carrera.

Agradezco a mi familia y amigos quienes me han brindado su apoyo y estuvieron a mi lado durante el proceso de formación para lograr mis objetivos, fueron quienes permanecieron a mi lado de manera incondicional en todos mis triunfos, fracasos y su vez me han acompañado en momentos de alegrías y tristezas que se presentaba a mi diario vivir. También agradezco a mi asesor de tesis Mgs. Ing. Francisco José Darquea Córdova, Ing. Paola Verónica Delgado Garzón, por brindar sus conocimientos, sabiduría y apoyo incondicional para poder llevar a cabo el desarrollo de mi tesis

### Agradecimiento de Juan Diego Palacios Padrón

Agradezco a Dios, por haberme dado la fuerza para lograr alcanzar mis metas, a mi familia que siempre confió en mí, a mis amigos que me incentivaron a mejorar mis conocimientos y a los docentes de la Universidad Católica de Cuenca por todos los conocimientos adquiridos en las aulas, principalmente a los ingenieros Francisco José Darquea Córdova y Paola Verónica Delgado Garzón quienes fueron los que me guiaron en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

.

## Resumen

La presente investigación se basa en el análisis de estabilización de material granular de la cantera perteneciente al cantón Guachapala mediante la implementación de aditivo formado por organosilanos, y así determinar cómo influye en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas para su posterior aplicación en el proceso de mantenimiento periódico de lastrado de vías rurales presentes en la zona. Esta investigación es de tipo aplicada en la cual se realizó los respectivos ensayos del material pétreo en condiciones naturales y posterior a ello establecer alternativas de estabilización de acuerdo a dosificaciones recomendadas en la ficha técnica del proveedor. En este análisis se obtuvieron los siguientes resultados del material en condiciones naturales siendo el índice de plasticidad (IP) del 25%, el CBR 4.2%, y permeabilidad relativamente baja en donde solo llegó a la saturación de la muestra. Por otra parte, con la dosificación de 1 Kg/m<sup>3</sup> más 1% de cemento se obtuvo el mejor resultado disminuyendo el índice de plasticidad (IP) al 14%, el CBR ascendió al 23% y se estima que el material se mantiene impermeable debido a la formación de la nanomembrana que impide el paso del agua. Finalmente, se determinó que la implementación del aditivo resulta viable de acuerdo a un análisis basado en precios unitarios teniendo una inversión inicial mayor, sin embargo, prolonga la vida útil de la capa de rodadura lo que reduce el costo a largo plazo.

*Palabras clave:* terrasil, organosilanos, estabilización, mantenimiento vial

### Abstract

This research is based on the analysis of the stabilization of granular material from the quarry belonging to the Guachapala canton by implementing an additive formed by organosilanes and thus determining how it influences the improvement of the physical and mechanical properties for its subsequent application in the process of periodic maintenance of the ballast of rural roads in the area. This is an applied research in which the respective tests of the stone material were carried out under natural conditions. After that, stabilization alternatives were established according to the dosages recommended in the supplier's technical data sheet. In this analysis, the following results were obtained for the material under natural conditions, with a plasticity index (PI) of 25%, CBR of 4.2%, and relatively low permeability, which only reached saturation of the sample. On the other hand, with the dosage of 1 Kg/m<sup>3</sup> plus 1% cement, the best result was obtained, decreasing the plasticity index (PI) to 14%, the CBR increased to 23%, and it is estimated that the material remains impermeable due to the formation of the nanomembrane that prevents water filtration. Finally, it was determined that implementing the additive is feasible according to an analysis based on unit prices with a higher initial investment; however, it prolongs the useful life of the wearing course, reducing the long-term cost.

*Keywords:* terrasil, organosilanes, stabilization, road maintenance

## Índice De Contenido

Declaratoria De Autoría Y Responsabilidad.....	II
Certificación Del Director De Tesis .....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Índice De Figuras .....	XIII
Índice De Ilustraciones .....	XIV
Índice De Tablas .....	XIV
Índice De Formulas.....	XV
1 Capítulo I.....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Objetivos .....	5
<i>1.3.1 Objetivo General.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos .....</i>	<i>5</i>
1.4 Alcance.....	6
1.5 Problema .....	7
<i>1.5.1 Formulación Del Problema .....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2 Delimitación Del Problema .....</i>	<i>8</i>
1.6 Justificación .....	8
2 Capitulo II.....	11

2.1 Marco Teórico.....	11
2.1.1 TerraSil.....	11
2.1.2 Suelo.....	15
2.1.3 Contenido De Agua En El Suelo (W%).....	17
2.1.4 Límites De Atterberg (Norma ASTM D4318).....	18
2.1.5 Límite Líquido.....	19
2.1.6 Limite Plástico.....	19
2.1.7 Índice De Plasticidad.....	20
2.1.8 Análisis Granulométrico De Los Áridos Finos Y Gruesos (Norma ASTM C136-01).....	20
2.1.9 Granulometría.....	21
2.1.10 Compactación De Suelos.....	25
2.1.11 Curva De Compactación.....	26
2.1.12 Humedad Óptima.....	27
2.1.13 Grado De Compactación De Suelo.....	27
2.1.14 Proctor Modificado (Norma ASTM D1557).....	27
2.1.15 Interpretación Del Ensayo Proctor.....	28
2.1.16 Ensayo De California Bearing Ratio (CBR) (Norma ASTM D1883).....	30
2.1.17 Permeabilidad.....	33
2.1.18 Expansividad De Suelos.....	37
2.2 Metodología.....	37
3 Capítulo III.....	40
3.1 Ensayos De La Laboratorio Con Aditivo Y Sin Aditivo.....	40

3.1.1	<i>Definición de la zona de estudio</i> .....	40
3.1.2	<i>Caracterización de la zona de acuerdo a litología</i> .....	41
3.1.3	<i>Geología de la zona de estudio</i> .....	41
3.1.4	<i>Litología de la mina San Pedro</i> .....	43
3.1.5	<i>Meta – volcánicas de San Francisco (J – P)</i> .....	43
3.1.6	<i>Capacidad de explotación de la zona de estudio</i> .....	43
3.2	<i>Ensayos de laboratorio del material en condiciones naturales</i> .....	46
3.2.1	<i>Ensayo para determinar la granulometría de los áridos</i> .....	46
3.2.2	<i>Índice de Plasticidad</i> .....	46
3.2.3	<i>Contenido de Humedad</i> .....	47
3.2.4	<i>Clasificación de Suelos</i> .....	48
3.2.5	<i>Proctor Modificado</i> .....	48
3.2.6	<i>Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)</i> .....	49
3.2.7	<i>Ensayo de Permeabilidad</i> .....	51
3.2.8	<i>Ensayo de Abrasión</i> .....	51
3.3	<i>Ensayos mediante implementación de aditivo TerraSil</i> .....	54
3.3.1	<i>Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 0.5 kg/m<sup>3</sup> de TerraSil</i> .....	54
3.3.2	<i>Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 1 kg/m<sup>3</sup> de TerraSil</i> .....	56
3.3.3	<i>Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 1 kg/m<sup>3</sup> de TerraSil + 1% Cemento</i> .....	58
3.4	<i>Análisis Comparativo de Resultados Obtenidos</i> .....	60

3.4.1 Gráfico comparativo de los límites de Atterberg.....	60
3.4.2 Gráfico comparativo de los valores de CBR .....	61
3.4.3 Gráfico comparativo de los valores de Expansividad .....	62
4 Capítulo IV.....	64
4.1 Estudio Costo Beneficio.....	64
4.1.1 Cálculo de Costos. ....	65
4.2 Costo de mantenimiento vial mediante implementación de aditivo + cemento. ....	69
4.3 Conclusiones .....	72
4.4 Recomendaciones.....	74
Referencias.....	75
Anexos.....	79

## Índice De Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Mantenimiento Vial Cantón Guachapala Fuente: Autor, 2023</i> .....	16
<b>Figura 2</b> <i>Análisis Granulométrico Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Tabla de Tamices Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	22
<b>Figura 4</b> <i>Tamices Para Granulometría de Grueso Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	23
<b>Figura 5</b> <i>Tamices Para Granulometría de Finos Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	23
<b>Figura 6</b> <i>Curva de Distribución Granulométrica Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	25
<b>Figura 7</b> <i>Interpretación de Curva de Compactación Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> ....	26
<b>Figura 8</b> <i>Curva de Saturación Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	29
<b>Figura 9</b> <i>Densidad Optima Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)</i> .....	30
<b>Figura 10</b> <i>Coeficientes de Permeabilidad Fuente: (FAO, 2016)</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Ubicación de la Zona de Estudio Fuente: Autor-Google Earth</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Ubicación de la Zona de Estudio Fuente: Autor,2023</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Litología de la zona Fuente: Autor, 2023</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Delimitación de Cantera San Pedro Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala</i> ..	43
<b>Figura 15</b> <i>Diseño de Talud Cantera San Pedro Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala</i> ...	44
<b>Figura 16</b> <i>Plataformas de Diseño Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Material de Extracción de Sitio Fuente: Autor, 2023</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Material Cuarteado Fuente. Autor, 2023</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Curva Granulométrica Fuente: Autor, 2023</i> .....	46
<b>Figura 20</b> <i>Limites de Atterberg Fuente: Autor, 2023</i> .....	47
<b>Figura 21</b> <i>Curva de Compactación Fuente: Autor, 2023</i> .....	49
<b>Figura 22</b> <i>Porcentaje de CBR con Material en Condiciones Naturales Fuente: Autor, 2023</i> ...	50

<b>Figura 23</b> Ruptura de Partículas Gruesas al Recibir Energía de Compactación. Fuente. Autor 2023.....	50
<b>Figura 24</b> Material Grueso Para Ensayo de Abrasión. Fuente: Autor, 2023 .....	52
<b>Figura 25</b> Granulometría Representativa de los Agregados Para Selección de Método a Usar Fuente: ASTM C-535. ....	52
<b>Figura 26</b> Material Luego de Ensayo de Abrasión. Fuente: Autor, 2023 .....	53
<b>Figura 27</b> Porcentaje de CBR de Material con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023 ....	55
<b>Figura 28</b> Limites de Atterberg con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023 .....	55
<b>Figura 29</b> Porcentaje de CBR de Material con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023 .....	56
<b>Figura 30</b> Limites de Atterberg con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023 .....	57
<b>Figura 31</b> Porcentaje de CBR de Material con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023.....	58
<b>Figura 32</b> Limites de Atterberg con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023	59
<b>Figura 33</b> Vía a Estabilizar Fuente: Google Earth, 2023.....	66

### Índice De Ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> Grafico Comparativo Limites de Atterberg Fuente: Autor, 2023 .....	60
<b>Ilustración 2</b> Grafico Comparativo CBR Fuente: Autor, 2023.....	61
<b>Ilustración 3</b> Grafico Comparativo de Porcentaje de Expansividad Fuente: Autor, 2023 .....	62

### Índice De Tablas

<b>Tabla 1</b> Clases de Permeabilidad de los Suelos para Agricultura y su Conservación. ....	36
<b>Tabla 2</b> Clases de Permeabilidad de los Suelos Para Obras de Ingeniería Civil Fuente: (FAO, 2016) .....	36
<b>Tabla 3</b> Resultado de Limites de Atterberg Fuente: Autor, 2023.....	47

<b>Tabla 4</b> Contenido de Humedad Fuente: Autor, 2023 .....	47
<b>Tabla 5</b> Clasificación de Suelo Método AASHTO Fuente: Autor, 2023.....	48
<b>Tabla 6</b> Dosificaciones de Aditivo Recomendadas Fuente: Autor, 2023 .....	54
<b>Tabla 7</b> Resultados Obtenidos con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023.....	56
<b>Tabla 8</b> Resultados Obtenidos con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023.....	57
<b>Tabla 9</b> Resultados Obtenidos con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023..	59
<b>Tabla 10</b> Espesor de Capa a Estabilizar Fuente: Autor, 2023.....	65
<b>Tabla 11</b> Datos de la Vía Sin Estabilizar Fuente: Autor, 2023.....	66
<b>Tabla 12</b> Tabla de Presupuesto sin Estabilización Fuente: Autor, 2023.....	67
<b>Tabla 13</b> Datos Iniciales Para Análisis de Costos Fuente: Autor, 2023.....	68
<b>Tabla 14</b> Costo Global Actualizado Fuente: Autor, 2023.....	68
<b>Tabla 15</b> Datos de Vía a Estabilizar Fuente: Autor, 2023 .....	69
<b>Tabla 16</b> Presupuesto Para Vía con Estabilización Fuente: Autor, 2023. ....	69
<b>Tabla 17</b> Datos Iniciales Para Análisis de Costos con Estabilización Fuente: Autor, 2023.....	70
<b>Tabla 18</b> Costo Global Actualizado con Estabilización Fuente: Autor, 2023. ....	71

### Índice De Formulas

<b>Ecuación 1:</b> Contenido de Humedad en Una Muestra de Suelo.....	17
<b>Ecuación 2:</b> Índice de Plasticidad .....	20
<b>Ecuación 3.</b> Peso Retenido en Cada Tamiz.....	24
<b>Ecuación 4</b> Cálculo de Porcentaje de Desgaste Ensayo de Abrasión .....	53

## 1 Capítulo I

### 1.1 Introducción

En el Ecuador, para promover el desarrollo de las comunidades rurales se realiza por medio de acceso de vías, mismos que a su vez estas deben garantizar condiciones de seguridad y comodidad a través de mantenimientos periódicos de vialidad bajo planificaciones establecidas a cargo de entidades competentes. Una vez que se realiza este proceso de mantenimiento, el material implementado presenta ciertos problemas inmediatos al conformar la plataforma de vía, debido a que se encuentra expuesto a diferentes factores y agentes climáticos, principalmente en épocas de lluvia donde el material al estar expuesto al agua tiende a sufrir un deterioro en forma acelerada perdiendo sus propiedades mecánicas, trayendo consigo la generación inmediata de baches y ahuellamientos, ya que el material tiende a ser arrastrado mediante escorrentía. Por lo contrario, en épocas de sequía o verano, presenta diferentes problemas al tener contacto con el tránsito de vehículos lo cual genera abrasión trayendo consigo desprendimientos de material, emisión de polvo afectando a las personas que viven en las cercanías a la vía, así como las personas que transitan por ella.

El presente trabajo de titulación trata de mejorar las diferentes propiedades físico - mecánicas del material de extracción de mina obtenido de la fuente de material San Pedro que se encuentra ubicada en el cantón Guachapala perteneciente a la provincia del Azuay situada sobre la Cuenca del Rio Paute, mismo que es utilizado para la conformación de la rasante de la vía; esto se pretende lograr mediante la incorporación de aditivo formado por organosilanos, que cuenta con propiedades estabilizantes con la capacidad de reducir la permeabilidad del material tratado.

La finalidad de la investigación es conocer las mejoras que brinda este producto, con la aplicación de ensayos dentro del Laboratorio de Suelos de la Unidad Académica de Ingeniería,

Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca realizando los siguientes ensayos: (Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR, Permeabilidad), mismos que ayudarán a conocer sus características físicas y mecánicas presentes, y con esto se realizará un análisis comparativo mediante el cual se conocerá las propiedades ganadas mediante la implementación de este aditivo en relación al material obtenido en condiciones naturales. Por otra parte, se realizará un estudio de costo-beneficio, que permita establecer como una solución viable a implementar en proyectos de mantenimiento vial trayendo consigo una reducción en la explotación de fuentes de materiales, así como la disminución de emisiones de agentes contaminantes hacia el medio ambiente, lo que conduce a una reducción de la huella de carbono siendo generada a lo largo de toda la obra principalmente por equipos de explotación, transporte y personal.

## 1.2 Antecedentes

La sociedad se ha visto en la necesidad de comunicarse hacia diferentes lugares, por lo que ha evolucionado en diferentes métodos de preparación y construcción de caminos, siendo estos la combinación de roca y aglomerantes. Y con los diferentes métodos desarrollados en base a la experiencia de un sin número de ingenieros fue dando como resultado las grandes autopistas o carreteras conformadas por pavimentos flexible, emulsión asfáltica de alta calidad entre otros. (Rodriguez Vinces, 2016)

Los caminos, carreteras y similares son obras de infraestructura que fortalece la economía regional y a su vez proporciona un beneficio social, sin embargo, al ser realizada a lo largo del territorio ecuatoriano la explotación de las fuentes de material provocan afectaciones debido a que generan impactos ambientales. (Vanegas Taborda, 2020, pág. 2)

Es importantes destacar que la construcción de conexiones viales, generan vínculos entre comunidades, parroquias y ciudades promoviendo el desarrollo de la economía del Cantón Guachapala; el mantenimiento vial rural está determinado por el Gobierno Provincial del Azuay, conjuntamente con el GAD Municipal del Cantón Guachapala.

La infraestructura vial del Cantón Guachapala está compuesta por la interestatal E40 que pertenece a la red de corredores arteriales siendo el eje principal donde se desarrollan diversas actividades: comerciales, productivas, extractivas y transporte; mismo que la convierte en la vía más importante del cantón Guachapala para conectar el centro del Cantón con la ciudad más importante de la provincia del Azuay, provincia de Morona Santiago y con otros núcleos de población relevantes de la región Azuaya como Gualaceo, Paute, Sevilla de Oro. Dentro del Cantón Guachapala mediante vialidad interna se desarrolla actividades de comercio y producción, principalmente destaca la agricultura y ganadería en el sector rural, cuenta con 62.8

km de vialidad mismo que se dividen en 18.18 km de vías asfaltadas perteneciente al área urbana y 44.62 km de vías lastradas que dirigen hacia las comunidades a partir del centro cantonal, este sistema de vialidad que une comunidades son las que se encuentran más propensas a encontrarse en mal estado debido a falta de mantenimiento, condiciones meteorológicas principalmente la lluvia, debido a que se encuentran implementado el material de lastre como capa de rodadura lo cual al estar expuesto a estos factores dañan la calzada por consiguiente generando dificultad al ingreso de estos sectores lo que impide un avance en la economía de estas zonas. (Guachapala G. M., 2014 - 2027)

Con el paso del tiempo al evidenciar la escases de material para mantenimientos periódicos de vialidad se vieron en la necesidad de implementar estrategias para la construcción de vías mediante procesos de estabilización, mismo que resulta ser una opción factible principalmente por la causa mencionada anteriormente, además por razones económicas, estéticas y operativas. Esta alternativa consiste en un proceso de alteración física del suelo trayendo consigo un impacto ambiental mínimo a diferencia de métodos tradicionales. Sin embargo, este impacto es mucho menor al que se podría generar con la incorporación del asfalto, por ejemplo, como materia prima para la construcción de una carretera pavimentada. (Vanegas Taborda, 2020, pág. 8)

Cabe destacar que los municipios y juntas parroquiales a veces no cuenta con los recursos necesarios para realizar un asfaltado o pavimentación rígida generando mejores condiciones viales; por lo que en la presente investigación se procura realizar un estudio técnico – económico de materiales convencionales utilizados para la construcción vial conjuntamente con aditivo orgánico formados por organosilanos.

Esta investigación sale para priorizar la necesidad de ingresar hacia los sectores productivos y al mismo tiempo transportar los productos hacia los mercados en menor tiempo gracias al mantenimiento de vías y así garantizar un nivel óptimo de las plataformas viales.

(Guachapala G. M., 2014 - 2027, pág. 292)

Este proceso ha conseguido tener diferentes requerimientos como: resistencia a la fuerza normal, deformabilidad o compresibilidad, estabilidad volumétrica ante la existencia de agentes atmosféricos (Agua) entre otros, deseando encontrar un buen comportamiento mecánico óptimo del suelo y la correcta distribución que se coloque para la circulación del tránsito de vehículos livianos o pesados; en la presente investigación se busca encontrar estas relaciones y cómo se comporta el suelo del Cantón Guachapala con la implementación de aditivo formado por organosilanos.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Analizar la factibilidad técnica y económica mediante la aplicación de aditivo formado por organosilanos en la estabilización de materiales provenientes de la mina San Pedro perteneciente al cantón Guachapala.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Caracterizar los materiales áridos de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas.
- Describir las propiedades del aditivo formado por organosilanos de la marca TerraSil.
- Ensayar la permeabilidad del material árido sin adición de aditivo.
- Ensayar la permeabilidad del material árido con adición de aditivo.
- Determinar el CBR del material árido analizado sin la adición de aditivo.

- Determinar el porcentaje óptimo de aditivo aplicado al material árido que entregue el mayor CBR.
- Establecer un análisis costo – beneficio que determine la viabilidad de la implementación del producto.

#### **1.4 Alcance**

La falta de mantenimiento periódico de vialidad, la conservación de obras de drenaje por parte de las entidades gubernamentales y personas que viven en las comunidades, las condiciones meteorológicas son las principales causas que provoca el mal estado de la infraestructura vial, ocasionando que en épocas de lluvia el agua ingrese hacia la vía lo cual genera baches, ahuellamientos, en si el deterioro de la calzada haciendo difícil el ingreso a las diferentes comunidades. (Guachapala G. M., 2014 - 2027, pág. 295)

Al existir un proyecto de implementación vial, esto pueden generar efectos positivos en la economía del Cantón Guachapala. En este sentido, el trabajo no solo es fundamental para el desarrollo de la sociedad, sino también una de las principales causas de la generación de residuos, contaminación, la transformación ambiental y el importante consumo de energía. (Jerez et al., 2018).

Con la aparición de nuevas tecnológicas, materiales ecológicos, metodología y normativa de construcción se determina nuevos lineamientos para la estabilización de suelos a costos menores y con tiempo de duración más largos. Los estudios encaminados a la estabilización mediante organosilanos tratan de evaluar los diferentes términos de resistencia mecánica que se llega alcanzar por la mezcla de suelo y además de la funcionabilidad del tipo de suelo analizado. (Jerez et al., 2018).

Es necesario indicar que se ha elaborado un estudio en Colombia donde el autor Jerez y sus colaboradores indican en su estudio detallado sobre el “desempeño de un organosilanos como estabilizante de un suelo laterítico evaluando propiedades como capacidad portante, densidad y permeabilidad”. (Jerez et al., 2018).

Con esta investigación se busca generar la implementación de la estabilización mediante incorporación de aditivo formado por organosilanos en el Cantón Guachapala conjuntamente con el GAD Municipal para mejorar la infraestructura vial en cuanto a lo que conlleva a vías incorporadas material de lastre como capa de rodadura que se encuentran en pésimas condiciones.

## **1.5 Problema**

### ***1.5.1 Formulación Del Problema***

Los mantenimientos periódicos de la vialidad conllevan al desarrollo de las comunidades, de tal manera que facilitan el transporte para la dotación de insumos, medicina, alimentos, entre otros. Dentro del proceso de mantenimiento, los materiales convencionales usados para el lastrado de vías en zonas rurales se enfrentan a problemas de baja calidad y durabilidad afectados por el tránsito y agentes climáticos que se han intensificado en los últimos años, principalmente la presencia de lluvia tiende a deteriorar directamente a la calzada provocando inmediatamente surcos, baches y ahuellamientos, mientras que en épocas de sequía debido a la acción de los vehículos este material utilizado como capa de rodadura tiende a desprenderse debido a la acción abrasiva que genera los neumáticos contra la calzada. (Arenas, 2018)

También en la actualidad las fuentes de material se encuentran escasas y en algunos casos agotadas debido a las técnicas de explotación y uso que continúan implementándose de forma

tradicional sin establecer estrategias que minimicen el uso de grandes cantidades de material en la conformación de plataformas viales.

### ***1.5.2 Delimitación Del Problema***

En este trabajo se propone la implementación de aditivo formado por organosilanos de la marca TerraSil en materiales áridos (lastre), obtenido de una fuente de material del cantón Guachapala perteneciente a la Cuenca del Río Paute con el objetivo de analizar cómo influye en la mejora de las propiedades del material determinados a través de ensayos de Granulometría Norma ASTM C136-01, Límites de Atterberg Norma ASTM D4318, Proctor Modificado Norma ASTM D1557, Ensayo de California Bearing Ratio (CBR) Norma ASTM D1883, Permeabilidad Norma ASTM D5084 y se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos entre el material sin aditivo respecto al material que será implementado el aditivo bajo parámetros establecidos por el fabricante basados principalmente en la resistencia del suelo (CBR) que presenta en condiciones naturales.

Mediante la estabilización de material se pretende analizar si la propuesta planteada es viable y adaptable teniendo en cuenta si presenta costo - beneficio adecuado de tal forma que a futuro sea una alternativa para la conservación y durabilidad del material incorporado en vialidad.

### **1.6 Justificación**

La baja calidad de los materiales implementados dentro de proceso de mantenimiento periódico de vías que se realiza mediante incorporación de lastre aplicado en zonas rurales, es un problema evidente en el país, debido a la acción de agentes climáticos que producen un deterioro temprano del material que conforma la capa de rodadura, provocando limitantes principalmente en la comunicación y el comercio de los habitantes. Por tal razón, se pretende brindar una

solución adaptada al país para solventar esta problemática que permita contar con vías más preparadas para resistir los factores a los que se encuentran expuestas.

Por otro lado, en la actualidad los materiales de construcción al ser explotados para diferentes actividades, son generalmente irrecuperables sumando la intensidad de contaminación que ejercen los equipos al momento de extraer los mismos, la emisión de polvo puede llegar a afectar a las personas que viven cerca de las vías intervenidas, por ello existe la necesidad de implementar estrategias sobre el uso de estos materiales a través de la incorporación de aditivos que son fabricados mediante nanotecnología aprovechando los avances que brindan estos productos, además este es un procedimiento que se encuentra implementando en varias disciplinas a nivel mundial y destaca la disminución de contaminantes en su elaboración respecto a productos sin esta tecnología.

Hay que destacar que la estabilización de los suelos mediante organosilanos se ha venido implementando como estrategia de mejoramiento que son utilizados como parte de la estructura vial, todo este proceso ha sido realizado mediante experimentación en laboratorio de suelos con diferentes materiales a nivel mundial, obteniendo así un importante criterio para ponerlo en práctica en el Cantón Guachapala ya que en la actualidad de acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial consta de 44.62 km de vías lastradas con material de extracción de mina, y de acuerdo al GAD Municipal en conjunto con el Gobierno Provincial del Azuay realizan estos mantenimientos periódicos de vialidad cubierto en su totalidad, pero al saber que las fuentes de material se van agotando al realizar procesos de explotación se descubren nuevas fuentes de material en ciertos casos presentan características inadecuadas razón por la cual se ve en la necesidad de implementar estrategias de estabilización para lograr que el material cumpla con las solicitudes requeridas.

Para esta estabilización es necesario tener en cuenta lo siguiente: el tipo de suelo, variabilidad del terreno, composición física del suelo que son características que pueden influir en el aditivo a ser utilizado. “De esta forma se elaboró una investigación que facilite elementos de base para la elaboración de posteriores estudios con la finalidad de concientizar a los investigadores que tengan en cuenta estos aspectos y sean relacionados a futuro en la construcción de vialidad.”. (Vanegas Taborda, 2020, pág. 11)

## 2 Capítulo II

### 2.1 Marco Teórico

#### 2.1.1 TerraSil

La estabilización de suelos con aditivo denominado TerraSil permite convertir permanentemente suelos inestables en suelos estables sin pérdida de porosidad, repelencia al agua, aumentar el CBR, eliminar la erosión del agua, mejorar la adhesión de los polímeros, eliminar la expansión de la arcilla, aumentar la durabilidad y mejorar las condiciones que nos permitirán reducir significativamente el espesor de las capas y por lo tanto reducir los costos de construcción. (Condori López, 2018)

Para la estabilización del suelo se puede realizar de dos formas:

1. Forma mecánica, la que consiste en mezclar dos o más suelos y graves de características similares.
2. Forma química, la que consiste en emplear aditivos que actúan de manera físico – químico como: cemento, cal, polímeros, etc. También de manera físico-orgánico mediante implementación de aditivos conformados por organosilanos.

El TerraSil es un aditivo modificador de suelos principalmente arcillosos, es un producto 100% organosilanos basado en nanotecnología, su principal acción consiste en impermeabilizar los suelos eliminando la expansividad e hinchamiento, también incrementa la resistencia a la deformación al mantener los valores friccionales de las partículas de arcilla, la adición de la sustancia logra expulsar el agua, reducir el índice de plasticidad de los suelos, aumentar los valores de CBR, de esta manera se ayuda a mejorar el módulo resiliente, teniendo datos de densidad y compactación en obra. (Vinces, 2017) (Panchana & Baquerizo, 2019)

Debido a estas necesidades de estabilización de suelos, el mercado ha comenzado a revolucionar con este aditivo ya que consiste en un tratamiento de estabilización con nanotecnología el cuál actúa de manera química y permanente en los diferentes tipos de materiales granulares. (Vinces, 2017)

Al momento de construir un camino o carretera, la mayoría de las veces uno se encuentra con situaciones en la que los suelos no son lo suficientemente aptos para la conformación de la estructura vial, principalmente a que la subrasante presenta condiciones de inestabilidad por lo que para evitar cualquier tipo de condiciones adversas es indispensable mejorar estos suelos que van a servir de base para la conformación de la infraestructura vial. (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

El TerraSil al ser un material basado en nanotecnología cuenta con ventajas respecto a otros aditivos, ya que esta tecnología modifica los materiales convencionales con la finalidad de brindar mejores resultados además de que ayuda al ambiente, se vuelven más ecológicos y eficientes disminuyendo el consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>. (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

El TerraSil convierte al suelo de manera que crea en su estructura enlaces de gran fortaleza, lo cual si comparamos a un suelo con ausencia de TerraSil las partículas se desprenden fácilmente, por ello una vez se incorpore el aditivo los áridos presentan mayor adhesión y menos huecos ya que es una característica principal de un suelo común en donde las partículas de suelo ligantes son débiles. (Nandan, Prof, & Vasu, 2017)

En cuanto a su uso en suelos, existen varias aplicaciones que se han realizado dentro y fuera del país, (Fernandez, 2022) (Panchana & Baquerizo, 2019) (Espinoza, 2021) (Vinces, 2017) (Nandan, Prof, & Vasu, 2017) (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020) (Padmavathi,

Nirmala, Rao, & Padmavathi, 2019) (Cárdenas, 2019) dando resultados prometedores, principalmente se ha estabilizado y mejorado las características físico - mecánicas del suelo con cierta dosificación de TerraSil, se evalúa el comportamiento y se observa principalmente el aumento del valor de CBR, la depreciación del índice de plasticidad y la reducción de permeabilidad del suelo lo que convence a varios diseñadores que han tomado en cuenta el producto para varios proyectos de mejoramiento de subrasante y posterior pavimentación.

De acuerdo a investigaciones realizadas este aditivo ayuda a obtener una buena compactación del suelo a tratar, por lo que antes de realizar la estabilización del área de estudio es necesario elaborar una escarificación, hidratación y finalmente la compactación para llevar a obtener un suelo óptimo para el tránsito vehicular.

Vázquez Fernández y Elvit (2022) diagnosticaron que, de acuerdo al suelo existente en la calle, utilizando el aditivo TerraSil se consigue estabilizar y optimizar las propiedades físico - mecánicas del suelo con una proporción de  $0.75 \text{ lt/m}^3$ . Por otro lado, el CBR es de 6.78%, lo que se determina que es necesario estabilizar el suelo, y el resultado es confiable y económico. (Fernandez, 2022)

De igual manera Clemente Panchana y Ramírez Baquerizo (2019) hicieron un estudio de la aplicación de estabilizantes como: TerraSil y Zycobon, obteniendo excelentes resultados a menor costo utilizando una diferencia del 5% de cemento vial, frente al 7% y 9% correspondiente al MTOP, generando una estabilidad vial. (Panchana & Baquerizo, 2019)

Por su parte Espinoza (2021) concluye que los estabilizantes con los sistemas Consolid, TerraSil + cemento y Proes + cemento llegan a disminuir la carpeta de afirmado, se incrementa la cuantía de CBR correspondiente a la sub rasante, también permite la reducción al mínimo

espesor de la carpeta lo que da a entender que los estabilizantes son una opción favorable para economizar materiales. (Espinoza, 2021)

Para Patel, Mishra De acuerdo a Rodríguez Vines (2017) en su estudio para identificar el porcentaje de aditivo utilizados para la estabilizar el suelo limo-arcilloso; los resultados se obtienen después de la comparación con el resultado del suelo natural versus el suelo tratado con TerraSil, “El material fue manipulado en situ en la cual se consideró 0.5 Lt de TerraSil, en un metro cubico de suelo en 7.87 Lt de agua. Teniendo como resultado al adicional el producto se incrementa el CBR en 14% así como el porcentaje de humedad y la capacidad de absorción que disminuye en 27.86%.”. (Vines, 2017, p. 19)

Para Pancholi (2017) en un suelo CL adicionado 0.041% de TerraSil se logra disminuir el Límite Líquido y Límite Plástico de los suelos debido a que la película de agua absorbida se reduce en gran medida en el suelo tratado lo que baja la capacidad de expansión, por otra parte, el valor de CBR aumenta porque presenta mejores valores de densidad al reducir los espacios vacíos, el estudio revela también que el cambio de espesor debido a las propiedades del suelo tratado reduce un 25% en un suelo de tipo CL. Finalmente desde el punto de vista económico usando 0.041% de TerraSil es atractivo ya que apoya al desarrollo sostenible en la construcción y mantenimiento vial. (Nandan, Prof, & Vasu, 2017)

Conforme a Meeravali, Nerella y Rangaswamyb (2020) que investigaron el uso del aditivo TerraSil en suelos expansivos los mismos que recalcan los arcillosos blandos que tienen la capacidad de aumentar o disminuir el volumen en presencia de cambios en el contenido de humedad. Luego de las pruebas realizadas los resultados del experimento indican que la adición de este nanoquímico a la arcilla blanda reduce la compresibilidad y aumenta la permeabilidad, la resistencia a la compresión limitada (UCS). (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

De igual forma para Padmavathi, Nirmala, Rao y Padmavathi (2019) la incorporación de TerraSil forma fuertes enlaces con las partículas del suelo, impartiendo resistencia e impermeabilidad, sin embargo, la adición de TerraSil y cemento presenta mejores resultados para el tratamiento de suelos. (Padmavathi, Nirmala, Rao, & Padmavathi, 2019)

Finalmente, Molina Cárdenas (2019) estudió la optimización de una cantera con el aditivo TerraSil en la superficie de rodadura a nivel de  $1.50 \text{ lt/m}^3$ , que permite reducir el índice de plasticidad del 6% a las propiedades NP (No plásticas) y lograr la variación según su clasificación S.U.C.S en GM (grava limosa) convirtiendo el área tratada óptima para la construcción del afirmado. (Cárdenas, 2019)

El complemento esencial en el presente tema de investigación es la aplicación del aditivo TerraSil siendo amigable con el medio ambiente; la aplicación de este material tendrá la capacidad de proporcionar un suelo capaz de repeler el agua y expulsarla en forma de evaporación. (Condori López, 2018)

Para llegar a obtener una excelente estabilización de suelos es necesario saber cuál es el porcentaje de disolución del aditivo TerraSil en agua para la compactación, esto provoca una reacción química para sellar cada partícula de suelo que conjuntamente al estar expuesta en el agua nos ayuda a disminuir el hinchamiento y la absorción del material; con esto se observa que mejora las condiciones del suelo que siempre se comporta como condiciones áridas y por lo tanto, se considera un sistema eficaz de estabilización de los materiales.

### **2.1.2 Suelo**

Suelo se define en términos de Mecánica de Suelos como:

Aquel material que se encuentra intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 34)

Mientras que desde el punto de vista de la Geología se identifica como:

Un material compuesto por una estructura de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos), que normalmente se encuentra ocupado por agua y aire. Para describir completamente las propiedades de los depósitos del suelo, es necesario enunciar las diferentes composiciones de sólido, líquido y aire, en términos de algunas propiedades físicas. (Geoxnet, 2014)

La definición de suelo es muy variable, por lo que de manera general se puede decir que consiste en la capa superficial de la corteza terrestre en donde reside un sin número de organismos y vegetación; forma parte de la estructura vital para el progreso y desarrollo de la vida debido a que la tierra ayuda de sustentar a las plantas y le suministra cada uno de los diversos nutrientes consiguiendo su crecimiento.

### **Figura 1**

*Mantenimiento Vial Cantón Guachapala Fuente: Autor, 2023*



El suelo consiste en una composición de minerales, bacterias, material orgánico, aire y agua que permite la acción de la temperatura, viento, agua, animales y plantas sobre las rocas.

Debido a fenómenos como la meteorización y el pasar de los años la roca pierde su resistencia mecánica y se transforma en suelo. El suelo tiene 3 fases: sólida, líquida y gaseosa. La primera está formada de las partículas minerales del suelo, la segunda por agua y la última por gases atmosféricos y cubre la mayor parte de la superficie terrestre. (Vinces, 2017) (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

### **2.1.3 Contenido De Agua En El Suelo (W%)**

El suelo y el agua son dos recursos decisivos, de manera directa o indirecta que afecta al momento de construir; se tiene entendido que el suelo es un material de tipo poroso y al entrar en contacto con el agua, llena los espacios vacíos. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

El contenido de agua que tiene un material de suelo es variable debido a que se encuentra ligado con la atmosfera, produciendo de esta manera variaciones entre el contenido de agua y la evapotranspiración, en cuanto al segundo punto se tiene que este genera un estado seco de suelo. (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

El contenido de agua que posee un suelo es una característica importante para explicar el comportamiento del mismo ya que, está relacionado a variables como los cambios de volumen, la cohesión, la estabilidad mecánica, entre otros. En la construcción civil esta propiedad física resulta indispensable debido a que determina gran parte de la resistencia de un suelo lo que es fundamental para cualquier estudio y diseño. (Vinces, 2017)

El contenido de humedad se calcula en función del peso del agua y peso del suelo seco de la muestra, expresada en porcentaje:

#### **Ecuación 1:**

*Contenido de Humedad en Una Muestra de Suelo*

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

$W_w$  = Peso del agua

$W_s$  = Peso suelo seco

#### **2.1.4 Límites De Atterberg (Norma ASTM D4318)**

Estos límites fueron desarrollados por Albert Atterberg, quién era agrónomo; A la edad de 54 años decidió estudiar las propiedades físicas de los suelos a partir de la granulometría, de esta manera le permitía clasificar los suelos para cultivo agrícola. Conforme transcurría el tiempo y al tener un año de estudio estableció un límite de tamaño en las arenas siendo este 0.002 mm en suelos finos que se mantiene hasta nuestros días. (Montalar, 2010)

Luego de tres años de estudio, decide estudiar el comportamiento de los suelos finos, siendo esto la plasticidad. “En 1908 realiza una publicación a través de revistas nacionales los primeros logros obtenidos sobre la plasticidad del suelo y su relación con los diferentes grados de humedad. En 1911 de acuerdo a sus resultados en revista internacional pronto recibió primeros elogios. De esta manera, en 1913, el Congreso de Berlín de la Sociedad Internacional de Científicos del Suelo aprobó su investigación sobre clasificación de suelos. En 1915, los EEUU mediante las oficinas de Normas recomienda su uso y método empleado, lo cual en el año de 1937 las oficinas de Química y Suelos también lo acepto, aunque cabe señalar que Arthur Casagrande modifica el método para lograr obtener estos resultados de límites en el año de 1932. (Montalar, 2010)

A estos límites se los conoce como: (Montalar, 2010)

- Límites de Atterberg
- Límites de plasticidad
- Límites de consistencia

Este concepto sale de que el suelo de grano fino puede tener solo cuatro estados siendo el estado sólido cuando se encuentra completamente seco, al agregar agua pasa a su estado semisólido, plástico llegando a su estado líquido. (Montalar, 2010)

Se puede concluir que cada uno de los contenidos de humedad que tenga el suelo a lo largo de su transición son denominados Límites de Atterberg.

### **2.1.5 Límite Líquido**

Se define como el contenido de agua expresado en porcentaje de un suelo en el límite definido entre los estados semilíquido y plástico. (Vinces, 2017)

Es utilizado para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, se basa en un concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir estados según su humedad en donde el suelo en estado sólido está seco y al agregar agua va pasando sucesivamente a los estados semisólido, plástico y líquido. (Vinces, 2017) (ASTM D4318, 2005)

Para determinar el Límite Líquido de un suelo hay que referirse a la norma ASTM D4318 que define el proceso como la cantidad requerida de humedad para 2 mitades de suelo que se dividen por una herramienta para ranurado y conectarse a través de golpes repetidos en la copa de un dispositivo mecánico estándar. La masa preparada para la prueba debe estar libre de residuos, pasar el tamiz #40 y debe ser batida 25 veces con una altura de 1 cm a una velocidad de 2 golpes por segundo. (Vinces, 2017) (ASTM D4318, 2005)

### **2.1.6 Limite Plástico**

Se define como el contenido de humedad en porcentaje que presenta una muestra de suelo en el cual al enrollarse en hilos de diámetro de 3.2mm empieza a fisurarse, es decir disminuye su porcentaje de humedad y cambia a estado semisólido. (Braja M. Das, 2015)

En suelos con características plásticas definidas, se debe amasar el material teniendo en cuenta el contenido de humedad de acuerdo a las condiciones que satisfaga la prueba de Límite Plástico y se procede a ejecutar dicho ensayo, posteriormente se agrega más agua a la pasta que sobra y con esta se realiza el ensayo de Límite Líquido. (Braja M. Das, 2015)

Por otro lado, si el suelo es poco plástico, primero se debe realizar la prueba de límite líquido e inmediatamente con la pasta que resta, proceder a realizar la prueba de límite plástico, es importante hacer el proceso al menos 3 veces para tener mejores resultados y disminuir los errores de medición. (Vinces, 2017) (ASTM D4318, 2005)

### ***2.1.7 Índice De Plasticidad***

Se define como el rango de cambio de humedad en que el suelo permanece en estado plástico, lo que representa numéricamente la resta entre Limite Liquido y Limite Plástico. (ASTM D4318, 2005)

Teniendo la siguiente formula:

#### **Ecuación 2:**

*Índice de Plasticidad*

$$IP = L_L - L_P$$

### ***2.1.8 Análisis Granulométrico De Los Áridos Finos Y Gruesos (Norma ASTM C136-01)***

La granulometría de un agregado consiste en separar las partículas según el tamaño a través de tamices de diferentes aberturas, de tal manera conocer las cantidades en peso que aporta el total de la muestra de suelo a analizar. En esta práctica los pesos son considerados en porcentajes que se retienen en cada malla que conforma el tamiz en relación al peso total de la muestra y son calculados de forma parcial y acumulado para posterior a ello realizar una gráfica con los valores obtenidos. (Simeon Cañas, págs. 1 - 2)

El término análisis granulométrico hace referencia al conjunto de operaciones que tienen la finalidad de determinar la distribución de tamaños de los elementos que componen la muestra, se puede representar mediante tablas, números o gráficos. (ASTM C-316-01, 2001)

### **2.1.9 Granulometría**

La granulometría permite conocer la medida de los granos de los sedimentos. El ensayo granulométrico consiste en conocer la distribución de los diferentes tamaños de partículas que componen una muestra de suelo a analizar. Esta es una práctica que consiste en la identificación y caracterización de los materiales geológicos. Trata de determinar las proporciones respectivas de granos de diferentes tamaños presentes en una masa de suelo determinada. Al mismo tiempo se puede conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total, también estima la distribución de granos en la curva granulométrica, determina los coeficientes de pendiente y curvatura, determinar el diámetro efectivo del suelo. (Universidad de Guanajuato, 2017)

El ensayo granulométrico de acuerdo a la norma ASTM C136-01 se utiliza para determinar la distribución del tamaño de los granos gruesos y finos mediante ayuda de tamices. (ASTM C-316-01, 2001)

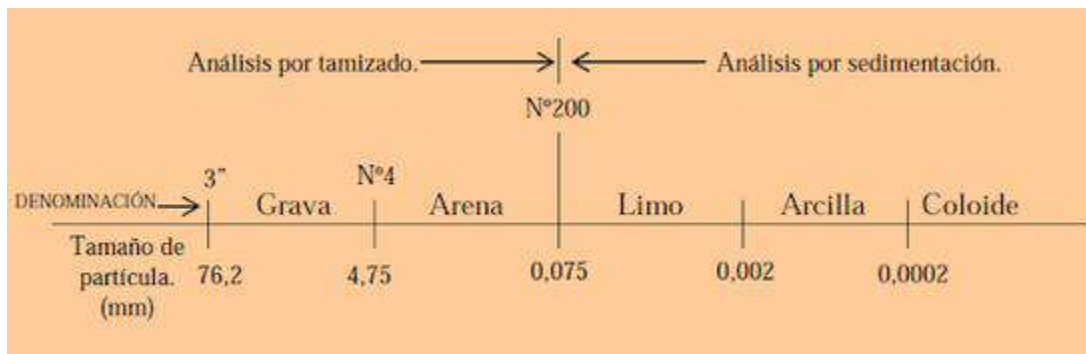
El proceso para clasificar el material consiste en seleccionar los tamices de acuerdo a las diferentes aberturas que posee y de esta manera adquirir la información solicitada para el material ensayado, si se requiere se puede utilizar tamices adicionales para más información como el módulo de finura, luego se procede al armado de un conjunto de tamices en orden descendente del tamaño del orificio de arriba hacia abajo y se coloca una muestra seca en el tamiz superior para luego ser agitados con ayuda de un dispositivo mecánico o de forma manual durante un tiempo determinado hasta que pase no más del 1% por peso de los materiales

retenidos. Finalmente se calcula los porcentajes que pasan y los retenidos. (ASTM C-316-01, 2001)

Este análisis es aplicable para partículas inferiores a 3 pulgadas y mayores de acuerdo al tamiz N°200 o a su fracción compuesta por arenas y gravas. El ensayo de granulometría por cribado se ejecuta entre las partículas gruesas que se encuentran entre gravas y arenas. (ASTM C-316-01, 2001)

## Figura 2

*Análisis Granulométrico Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*



El tamaño de partícula expresado en (mm) se precisa como: abertura de la criba con malla cuadrada a través del cual pasa el diámetro más pequeño de la partícula. Se presenta en la figura 3 una tabla donde se enseña el tamiz y la abertura en milímetros. (Librería del Ingeniero, 2018)

## Figura 3

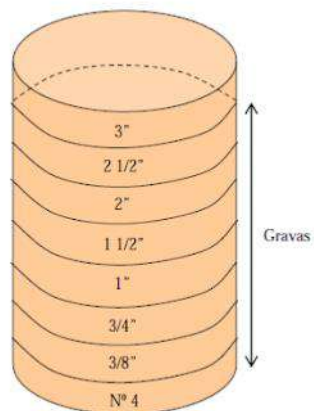
*Tabla de Tamices Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*

Tamiz	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	N° 4	N°10	N°20	N°40	N° 60	N°100	N°200
Abertura (mm)	76,2	63,5	50	38,1	25,4	19	9,5	4,75	2	0,84	0,43	0,25	0,15	0,075

El ensayo granulométrico necesita considerar el peso total de la muestra, luego seleccionar los tamices para la muestra del suelo grueso como se indica en la imagen:

**Figura 4**

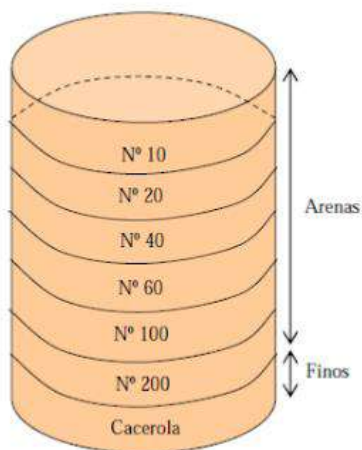
*Tamices Para Granulometría de Grueso Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*



Una vez obtenido cada uno de los valores en los tamices, se procede a realizar la granulometría de la arena, con los siguientes valores. (Librería del Ingeniero, 2018)

**Figura 5**

*Tamices Para Granulometría de Finos Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*



Se procede a determinar el contenido retenido en cada tamiz, y obtener mediante cálculos la proporción (%) retenido en cada tamiz. (Librería del Ingeniero, 2018)

### **Ecuación 3.**

*Peso Retenido en Cada Tamiz.*

$$\text{Peso Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en cada criba}}{\text{Peso total de la muestra de suelo}} * 100$$

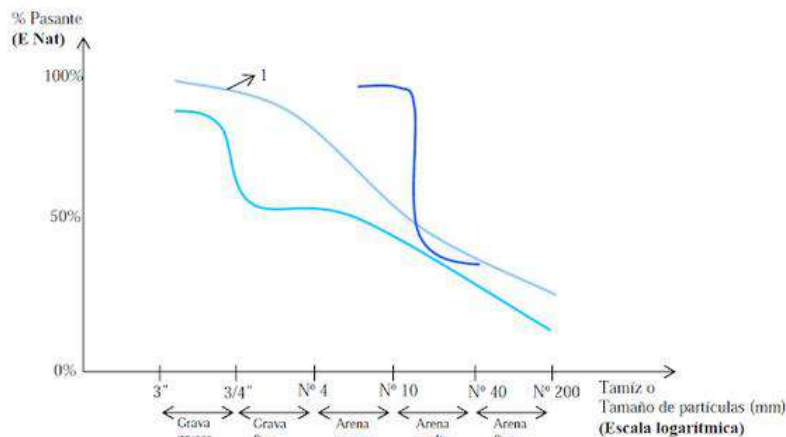
Se procede a determinar la cantidad de peso retenido en cada tamiz y acumulado; por último, se resta del 100% para obtener el porcentaje retenido acumulado.

La curva de distribución granulométrica solo puede aproximarse a la situación real. Esto se debe a varias razones, la presencia de grumos en el suelo. La precisión del análisis es más cuestionable para los suelos de grano fino que pasa por suelos gruesos, la práctica común y extendida de utilizar suelos secados al horno puede influir el análisis en otro tanto. (Librería del Ingeniero, 2018)

Con estos datos se realiza la curva granulométrica que consiste en dibujar en el eje horizontal, siendo el número de cada tamiz, mientras en el eje vertical el porcentaje retenido; en la figura 6 se indica la gráfica a obtenerse. (Librería del Ingeniero, 2018)

**Figura 6**

*Curva de Distribución Granulométrica Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*



Los suelos bien graduados contienen una porción de cada uno de los agregados que quedan en cada tamiz, como se identifica en la curva 1, mientras que los suelos mal graduados presentan ausencia de algunos tamaños de partículas como se identifica en la curva 2, y la curva 3 presenta uniformidad a lo largo de toda la curva. Esta curva granulométrica se elabora en la escala logarítmica. (Librería del Ingeniero, 2018)

### **2.1.10 Compactación De Suelos**

La compactación del material es un aumento del peso específico a través de un proceso mecánico. La importancia de la compactación del suelo es aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad. Esto se logra mediante el uso de técnicas apropiadas para aumentar el peso específico y reducir los vacíos. En general, el método de compactación se aplica a diferentes obras como terraplenes de tierra, diques, terraplenes de carreteras y vías férreas, barreras, postes, aceras, entre otros. (Braja M. Das, 2015)

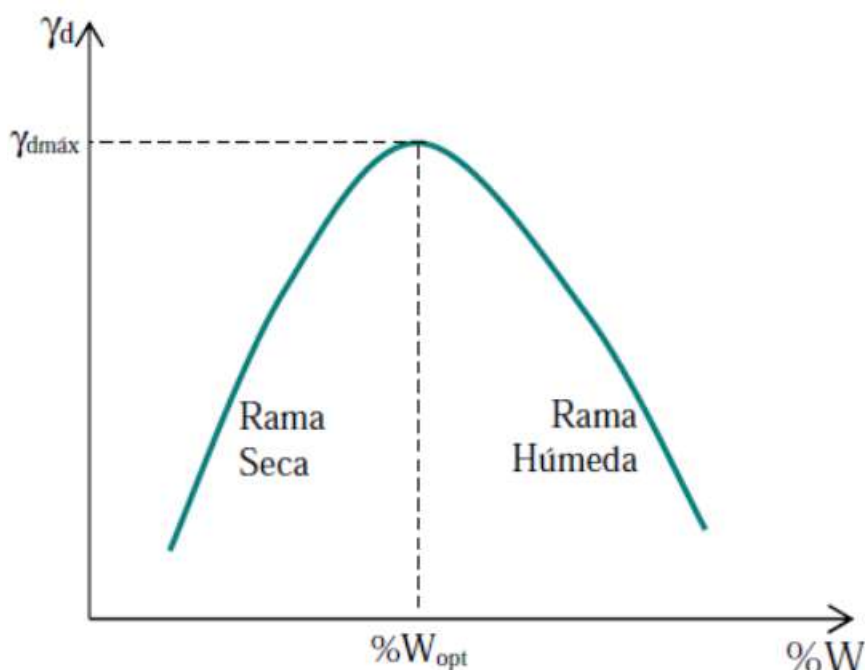
La compactación de suelos produce una reacomodación de las partículas principalmente en suelos no cohesivos creando una estructura más densa. (Vinces, 2017)

### 2.1.11 Curva De Compactación

Cada método utilizado produce curvas que muestra la analogía que existe entre la densidad o el peso seco en el momento en que se compacta el suelo en diferentes condiciones de humedad. A través de este ensayo, se consigue la adquisición de curvas de compactación precisas relacionadas con el peso seco y el contenido de humedad para varias muestras de la superficie de la tierra comprimidas a energías específicas. (Vinces, 2017)

#### Figura 7

Interpretación de Curva de Compactación Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)



La figura 7 indica el resultado de un suelo sometido a un proceso de compactación con diferente contenido de humedad, logrando obtener diferentes densidades que al ser graficadas se muestra en forma de parábola invertida consiguiendo la relación entre la densidad seca máxima y un contenido de humedad óptimo.

### **2.1.12 Humedad Óptima**

Dentro del proceso de compactación es muy importante que el suelo tenga una cantidad óptima de humedad para el grado de densificación satisfactorio mismo que es determinado a través de ensayos de compactación alcanzando el valor de densidad seca máxima. (Braje M. Das, 2015)

Una guía es construir un castillo de arena en la playa. La humedad en la arena proporciona la unión necesaria para la construcción. Por otro lado, construir el mismo castillo en el desierto no es bueno porque la arena del desierto está seca. (Condori López, 2018)

### **2.1.13 Grado De Compactación De Suelo**

El grado de compactación está definido por la relación entre la densidad seca in situ y la densidad máxima del material determinada previamente en la prueba Proctor (norma AASHTO T180). Esto se puede realizar mediante los siguientes métodos.

**Densidad seca In-situ:** mediante ensayo de cono de arena es un método aplicable para partículas menores a 1 ½ pulgadas”. (Flores Cano, 2014). Es fundamental para el desarrollo de esta prueba que la superficie tenga la compresión necesaria para impedir que se derrumbe cuando se perfora. (Arenas, 2018)

**Determinación del módulo de Young utilizando el instrumento Geogauge:** Este procedimiento investiga el potencial de resistencia de los materiales utilizados en subrasantes, y subbases mediante la adición de materiales específicos para su uso en carreteras y rellenos. (Arenas, 2018)

### **2.1.14 Proctor Modificado (Norma ASTM D1557).**

La prueba incluye métodos de compactación utilizados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso seco de los suelos es decir la curva de compactación,

lo cual para esto se utiliza un molde de 4 o 6 pulgadas (101.6 o 152.4 mm) de diámetro con un apisonador de 10 lbf (44.5 N) que cae a una altura de 18 pulgadas (457 mm), mismo que produce una energía de compactación de 56000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>). (ASTM D1557, 2007)

El proceso de prueba consiste en colocar 5 capas en el molde, cada una es compactada en 25 o 56 golpes con un pisón de 44.5 N desde una altura de caída de 457 mm, exponiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 2700 kN-m/m<sup>3</sup>. Esto ayuda a determinar el peso unitario seco resultante, por lo que el proceso se repite con diferente contenido de agua en el suelo, estos datos son procesados y se representan con una curva de compactación en donde se concluye los resultados óptimos del contenido de humedad y la densidad seca máxima. (ASTM D1557, 2007)

Los resultados conseguidos a partir de la prueba resultan indispensables hacia conseguir las propiedades de ingeniería requeridas: resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad y así garantizar un comportamiento satisfactorio del material. (ASTM D1557, 2007)

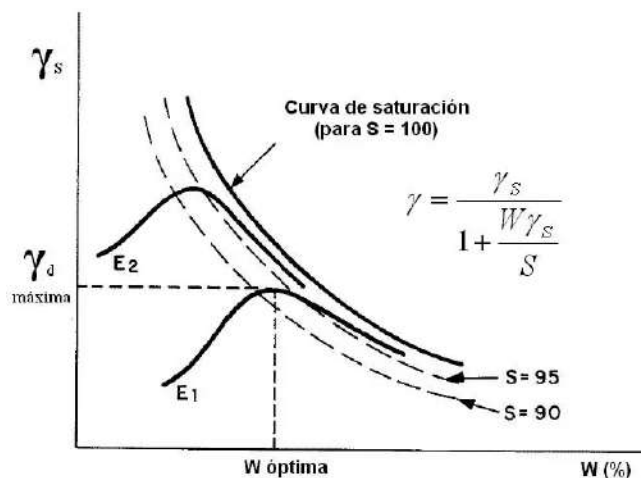
### ***2.1.15 Interpretación Del Ensayo Proctor***

Los informes de prueba de Proctor deben incluir la densidad seca máxima y la humedad óptima, es muy importante obtener una curva de densidad seca - humedad que muestre los valores para todos los puntos probados. (Vinces, 2017)

La forma y propiedades del martillo, el número de capas, datos específicos del golpe por capa de compactación son valores que se deben adicionar en el informe. La curva de densidad-humedad seca permite establecer los escenarios óptimos de compactación como se muestra en la figura 8. (Vinces, 2017)

## Figura 8

Curva de Saturación Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)

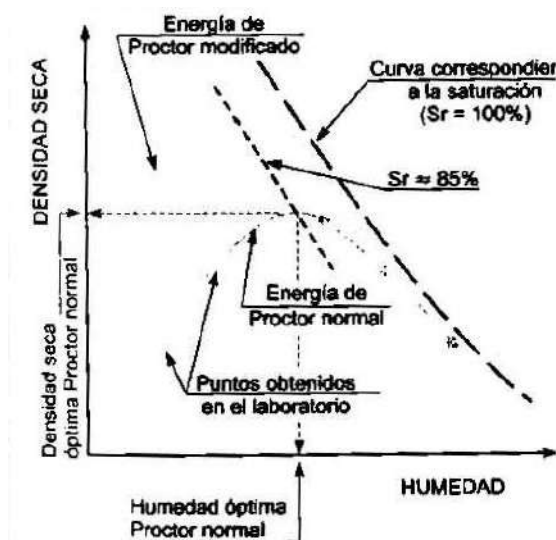


Un buen nivel corresponde a un 85-90% de saturación. La línea en tercera posición representa el 100 % de saturación y generalmente es paralela a la línea de mayor humedad obtenida en el ensayo. El incremento de la energía de compresión produce curvas similares, pero aumenta la densidad máxima y disminuye la humedad óptima como se ve en los gráficos anteriores (E1 y E2). (Vinces, 2017)

Sin embargo, la densidad máxima para un nivel de humedad dado, jamás es mayor que de los suelos saturados. Es decir, la curva de saturación ( $S = 100$ ) no puede ser superada por la curva de compresión, indistintamente de la energía de los trabajadores. (Vinces, 2017)

**Figura 9**

*Densidad Optima Fuente: (Librería del Ingeniero, 2018)*



### 2.1.16 Ensayo De California Bearing Ratio (CBR) (Norma ASTM D1883)

El ensayo CBR es utilizado para valorar la firmeza permisible de la subrasante, sub-base y material de base, conteniendo materiales reciclados para el uso en pavimentos de caminos, el valor obtenido de CBR forma una parte del diseño de pavimentos flexible. (ASTM D1883, 2009)

En resumen, el ensayo de soporte de california (CBR) es un ensayo de carga que se aplica al suelo, para ello en laboratorio se ocupa un pistón circular para penetrar el material compactado en un molde de manera constante. El CBR se enuncia como la porción de la carga en el pistón requerido para penetrar 0.1 pulgadas (2.5 mm) y 0.2 pulgadas (5 mm) del suelo de prueba a la carga de unidad requerido para la penetración del material. Dicho de otra manera, el ensayo consiste en compactar un suelo en los moldes normalizados, bañar en agua y emplear una carga sobre el suelo mediante un pistón normalizado. (ASTM D1883, 2009)

Este ensayo nos ayuda a determinar las siguientes características: (ASTM D1883, 2009)

1. Determina el índice CBR (relación de carga de California) utilizando una muestra comprimida de laboratorio, se utiliza para medir la capacidad de carga de las aceras, las calzadas y las subbases de las aceras.
2. La prueba generalmente se ejecuta en escenarios de humedad y densidad vigiladas.
3. El CBR además se puede establecer en laboratorio con muestras no perturbadas o directamente en el campo de la capa que se está evaluando.
4. La prueba de CBR consiste en perforar una muestra con un émbolo y calcular la tensión requerida para conseguir una profundidad de penetración específica.
5. El índice CBR se deriva de la relación entre la presión aplicada en la prueba y la presión aplicada a la muestra de referencia a una profundidad de penetración específica.

Este proceso se lo realiza de la siguiente manera: (ASTM D1883, 2009)

1. Las muestras a ensayar se seleccionan de acuerdo con los criterios especificados en la norma.
2. Se utiliza una prueba Proctor de reseña para establecer el contenido de humedad óptimo para preparar muestras CBR.
3. Las muestras para la determinación del índice CBR se comprimen a una humedad óptima, se homogeneizan y se pesan.
4. Si el espécimen está sumergido, se toman dos muestras para medir la humedad de compresión. Uno antes de la compresión y otro después de la compresión. Se calculan dos promedios.
5. Si la muestra de humedad no se sumerge, se toma del centro de la muestra después de la compresión y la penetración.

6. Colocar la muestra compactada boca abajo sobre un plato perforado con vástago. Esto sirve como referencia para medir la hinchazón del suelo.
7. Sobrecarga con la misma presión que soporta el suelo firme. La sobrecarga es de más de 50 kg.
8. El objeto de prueba está sumergido. El fondo y la parte superior deben estar en contacto con el agua.
9. La primera medición calcula la expansión de la muestra durante el tiempo de inmersión.
10. Permanecen bajo el agua durante 96 horas. Los suelos granulares pueden tener menos.
11. Sacar la muestra, verter el agua estancada en el molde y dejar escurrir durante 15 minutos en posición normal.
12. Después de 15 minutos, se retiran la capa superior y la placa perforada. Luego se lleva a la balanza a obtener el peso respectivo de la muestra.
13. Se coloca un tubo de ensayo que contiene una sobrecarga en el penetrador.
14. Se aplica una carga de 50 N para asentar el pistón.
15. El comparador se pone a cero, se aplica una carga tal que el émbolo penetra a una velocidad constante de 1,2 mm por minuto.
16. Los valores de carga se registran para el tamaño de sangría especificado en el estándar.
17. Después de completar la infiltración, tome una muestra de suelo del área cercana a la infiltración para determinar la humedad. También se pueden tomar muestras de toda la altura del espécimen para determinar la lectura de humedad promedio.

### ***2.1.17 Permeabilidad***

La permeabilidad es una propiedad dentro de ingeniería que significa aquella facilidad que tiene de lograr moverse un fluido a través de un medio poroso, en la cual dentro de geotecnia hace referencia al fluido el agua y el medio poroso, la masa de suelo. (Bowles, 1982)

Cualquier material con vacíos es poroso, por lo tanto, si estos vacíos se encuentran interconectados poseen permeabilidad en efecto, el suelo, las rocas, entre otros son materiales que presentan poros en su estructura siendo permeables. (Bowles, 1982)

Dentro del proceso de estabilización de materiales al hablar de porosidad no es difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelo por métodos tales como compactación, inyección, entre otros. Al hablar acerca de materiales arcillosos el uso de defloculantes, uno de ellos el polifosfato ayuda a disminuir la permeabilidad significativamente, así como el uso de floculantes entre ellos el hidróxido de cal o yeso aumenta de forma adecuadamente el valor de la permeabilidad. (Montejo, 2002)

Al hablar de suelos, en términos generales la permeabilidad está planteada en dos problemas básicos, como se encuentra relacionado con las disipaciones de las presiones de poro, y como se encuentra relacionado con el flujo de agua a través del suelo. Al tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres. (Montejo, 2002)

Por último, si se compacta suelo arcilloso con porcentaje de humedad muy baja tendiendo a nula, la permeabilidad en ese suelo es alta ya que los grumos no se disgregan y resisten el esfuerzo de compactación permitiendo la formación de una alta cantidad de vacíos intersticiales, mientras si el porcentaje de humedad en la compactación es alta, genera menor permeabilidad en

el suelo debido a que los grumos tienden a deformarse por lo que se eliminan los grandes espacios vacíos. (Montejo Piratova, 2002)

#### **2.1.17.1 Ensayo De Permeámetro De Carga Variable (Norma ASTM D5084)**

Esta prueba utiliza un dispositivo que ofrece mayor precisión en suelos menos permeables como arcilla y limo. Este método mide la conductividad hidráulica, también conocida como conductividad hidráulica (K). Se define como la velocidad de flujo creada por el gradiente hidráulico unitario. El valor “K” se utiliza como una medida de la resistencia del suelo al flujo, teniendo en cuenta factores como la densidad del suelo, la porosidad, la distribución del tamaño de las partículas del suelo y la viscosidad del agua en el suelo. y saturación del suelo. (ASTM D5084, 2002)

El ensayo de permeámetro de carga variable se utiliza para establecer el factor de infiltración del material de suelo relativamente impermeables, como mezclas de arena, limo y arcilla. Estos suelos tienen coeficientes de infiltración de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm/ser. (ASTM D5084, 2002)

El equipo utilizado es un infiltrador de cabeza variable con un cilindro que almacena agua y aire al que se le aplica presión. El agua pasa a través de una manguera para llegar a la muestra consta de un conducto de acrílico que contiene material que actúa como filtro, otro tubo de acrílico que contiene la muestra y el tiempo que tarda en penetrar el líquido. (ASTM D5084, 2002)

El método brinda un medio para determinar la conductividad hidráulica a un nivel controlado de esfuerzo efectivo, en donde si la relación de vacíos cambia también se altera la conductividad hidráulica, para determinar esta relación el ensayo se realiza con diferentes esfuerzos efectivos. (ASTM D5084, 2002)

### 2.1.17.2 Clases De Permeabilidad Del Suelo

La permeabilidad de cualquier tipo de suelo normalmente se mide en función del flujo de agua a través del suelo durante un ciclo de tiempo. Regularmente se mide en (cm/h), (mm/h) o (cm/d), o teniendo en cuenta la velocidad de transmisión en metros por segundo. Se expresa como el coeficiente de transmisión en (m/s) o (cm/s). (FAO, 2016)

#### Figura 10

*Coefficientes de Permeabilidad Fuente: (FAO, 2016)*



### 2.1.17.3 Medición De La Permeabilidad

Para medir la permeabilidad, las muestras no perturbadas se llevan a un laboratorio analítico, se extrae la muestra de suelo circular y se exponen a situaciones específicas, de modo que la saturación de agua y la carga constante de agua. Como resultado se obtiene el coeficiente de transmisión. (FAO, 2016)

**Tabla 1**

*Clases de Permeabilidad de los Suelos para Agricultura y su Conservación.*

*Fuente: (FAO, 2016)*

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad	
	cm/hora	cm/día
<b>Muy lenta</b>	Menor de 0.13	Menor de 3
<b>Lenta</b>	0.13 - 0.30	03-dic
<b>Moderadamente Lenta</b>	0.5 - 2.0	dic-48
<b>Moderada</b>	2.0 - 6.3	48 -151
<b>Moderadamente Rápida</b>	6.3 - 12.7	151 - 305
<b>Rápida</b>	12.7 - 25	305 - 600
<b>Muy rápida</b>	Mayor de 25	Mayor a 600

**Tabla 2**

*Clases de Permeabilidad de los Suelos Para Obras de Ingeniería Civil Fuente: (FAO, 2016)*

Clases de permeabilidad de los suelos	Coeficientes de permeabilidad (K en m/s)	
	Límite inferior	Límite superior
<b>Permeable</b>	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-1}$
<b>Semipermeable</b>	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-5}$
<b>Impermeable</b>	$1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-7}$

### **2.1.18 Expansividad De Suelos**

Es una característica física de los suelos o materiales que provoca el hinchamiento del terreno cuando la cantidad de agua aumenta y por otro lado se retraen cuando disminuye. En vías causa aumentos y bajadas lo que afecta su estructura de pavimento. (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

El mecanismo de hinchamiento, por otro lado, ocurre principalmente a través de la absorción de agua por parte de la arcilla activada, generalmente montmorillonita. La repulsión elástica de las partículas del suelo, la repulsión de las partículas de arcilla y la expansión del aire en los poros son otros mecanismos conocidos. (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

La evaluación del hinchamiento se realiza mediante la humectación del suelo de forma que la expansión sea de forma vertical según probeta, Esto impide deformaciones en sentido horizontal debido al confinamiento lateral de la probeta determinando la tensión máxima de expansión mediante el uso de un anillo dinamométrico que genera una medición cuando la expansión de la muestra genera una reacción. (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020, p. 8)

La expansividad del suelo depende de sus propiedades, los diversos cambios en el contenido de agua de los suelos arcillosos pueden conducir a grandes cambios volumétricos. La contracción por secado generalmente es causada tanto por un aumento en el volumen debido a un mayor en el contenido de humedad como por una disminución en la misma (Karumanchi, Nerella, & Rangaswamy, 2020)

## **2.2 Metodología**

Para efectuar los objetivos del presente trabajo se inicia con la indagación del lugar de la zona de estudio que se localiza en el cantón Guachapala perteneciente a la cuenca del río Paute para la debida obtención del material.

Se establece el lugar de explotación del material haciendo uso de maquinaria pesada retroexcavadora en la cual se realiza la toma de muestras del material seleccionado, evitando segregaciones del mismo para luego trasladar al laboratorio y realizar los respectivos ensayos.

En laboratorio realizar un cuarteo del material para realizar la mezcla asegurando que la distribución de sus partículas sea uniforme y de esta manera separar en porcentajes de material principalmente 50% para realizar los respectivos ensayos del material en condiciones que se obtuvieron del sitio de explotación y el otro porcentaje realizar los respectivos ensayos mediante la adición del aditivo TerraSil.

Realizar el ensayo de granulometría de acuerdo a la normativa ASTM C 136- 01, en la cual consiste en la separación de agregados según sus tamaños respectivos mediante la implementación de mallas de diferente abertura, y de esta manera se identificará las diferentes cantidades en peso de cada tamaño que conforma el peso total de la muestra mediante la interpretación de gráficos, cálculos respectivos se tendrá la distribución granulométrica que posee el material.

Desarrollar ensayo de Límites de Atterberg de acuerdo con la normativa ASTM D4318 en la cual se obtendrá el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, mismos parámetros que serán usados para obtener la clasificación de suelo de acuerdo al Sistema AASHTO.

Realizar la prueba de compactación (Proctor modificado) del material en condiciones obtenidas de la fuente de material, mediante aplicaciones en probetas y resultados se obtendrá la gráfica de porcentaje de humedad vs densidad se encontrará el porcentaje de humedad óptimo con el propósito de alcanzar la densidad máxima.

Realizar ensayo de California Bearing Ratio (CBR), del material en condiciones obtenidas de la fuente de material de acuerdo a normativa ASTM D1883 para establecer la firmeza a la penetración bajo situaciones de humedad y densidad vigiladas, y así obtener la curva esfuerzo deformación y determinar la capacidad de soporte CBR.

Realizar ensayo de California Bearing Ratio (CBR), del material con la adición del aditivo TerraSil en dosificaciones adecuadas de acuerdo a normativa ASTM D1883 para establecer la firmeza a la penetración bajo circunstancias de humedad y densidad fiscalizadas, y así obtener la curva esfuerzo deformación y determinar la capacidad de soporte CBR.

La prueba de permeabilidad, determina la disposición de la firmeza al flujo brindada por el suelo en condiciones naturales, así como el material modificado químicamente.

Finalmente se elabora un análisis comparativo de los datos obtenidos del ensayo de material en condiciones naturales vs ensayo de material mediante la adición de aditivo químico TerraSil determinando las propiedades que se ha logrado ganar mediante la implementación de este producto.

Una vez identificado el porcentaje de resistencia ganado realizar un respectivo estudio de costo – beneficio que se obtiene mediante la implementación del aditivo TerraSil, en comparación con el material obtenido en condiciones naturales mismo que será una propuesta para la conformación de la plataforma de vías no pavimentadas. Esto se obtiene según el método expuesto en el libro de ingeniería de pavimentos para carreteras del autor Alfonso Montejo basado en costos asociados a la operación de un pavimento durante un período de análisis económico

### 3 Capítulo III

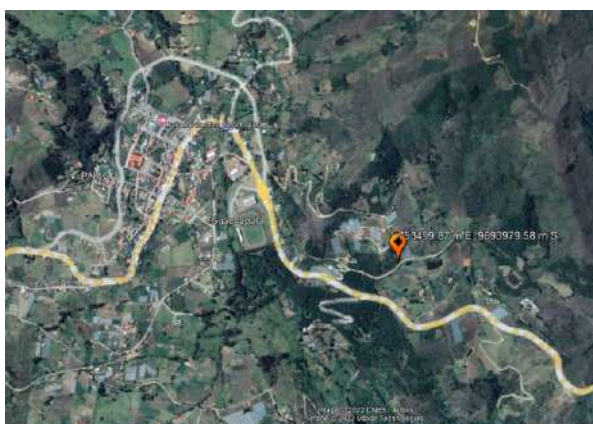
#### 3.1 Ensayos De La Laboratorio Con Aditivo Y Sin Aditivo

##### 3.1.1 Definición de la zona de estudio

Esta investigación de tipo aplicada, tiene la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas mediante un proceso de estabilización de la fuente de material establecida en la zona de estudio mismo que se encuentra ubicada en el cantón Guachapala perteneciente a la cuenca del río Paute en las coordenadas X: 753499.87 Y: 9693979.58.

#### Figura 11

*Ubicación de la Zona de Estudio Fuente: Autor-Google Earth*



#### Figura 12

*Ubicación de la Zona de Estudio Fuente: Autor,2023*

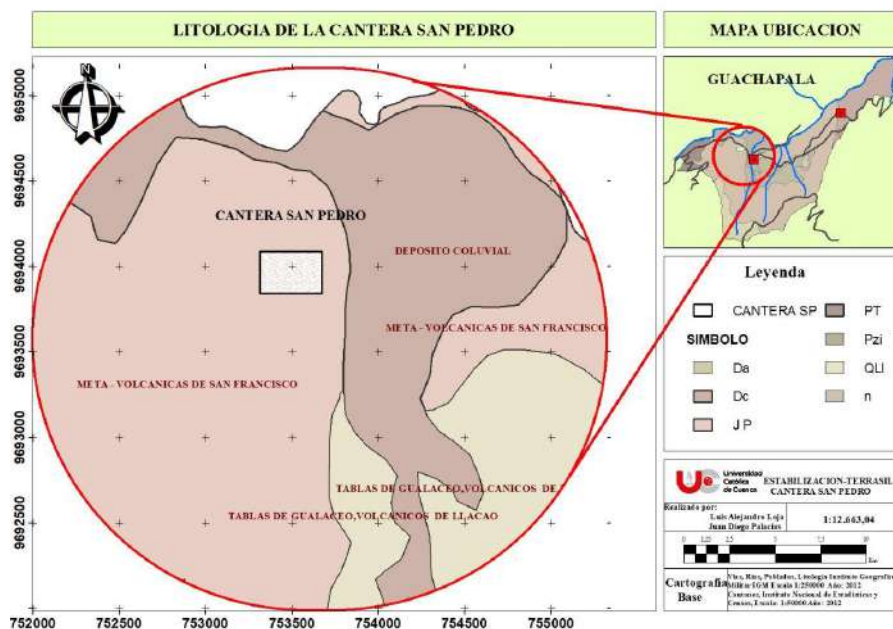


### 3.1.2 Caracterización de la zona de acuerdo a litología

A continuación, se puede observar el mapa de la litología del área de estudio, en donde se muestra que la litología predominante en la zona de la cantera San Pedro hace referencia a la clasificación meta – volcánicas de San Francisco mismos que pertenecen a formación geológica unidad Paute, esta presenta un estrato prácticamente impermeable y de porosidad intergranular y fisuración de rocas sin importancia hidrogeológica. (Ministerio de Agricultura, 2005)

#### Figura 13

Litología de la zona Fuente: Autor, 2023



### 3.1.3 Geología de la zona de estudio

El cantón Guachapala está constituido de las siguientes formaciones geológicas según indica SIGTIERRAS y el proyecto PRECUPA: (PRECUPA, 1998)

#### 3.1.3.1 Unidad El Pan (E-P)

Constituido principalmente de esquistos verdes, cuarcitas esquistos grafiticos y meta-andesitas. Se conocen como intrusivos de granodiorita, en los esquistos. (PRECUPA, 1998)

### **3.1.3.2 Formación Tarqui (MPL-T)**

Representa una cubierta volcánica que esta sobre rocas sedimentarias, comprenden de tobas ácidas caolinizadas, algunas muy meteorizadas y otras blandas y rojas, estas cubren las áreas más antiguas de la zona. También se encuentra abundantes cristales euhedrales bipiramidales de cuarzo en pequeños bolsillos residuales en la superficie. (PRECUPA, 1998)

### **3.1.3.3 Unidad Alao - Paute (J - Aa)**

Aflora como substrato de las laderas y márgenes de los ríos Gualaceo y Paute, está constituido generalmente de filitas, micaesquitos, pizarras y cuarcitas intensamente plegadas, todas estas se produjeron debido al metamorfismo de rocas volcánicas y volcanodetritos como andesitas, tobas, conglomerados y aglomerados volcánicos. (PRECUPA, 1998)

Esta unidad, según los datos actuales tendría una edad de Jurásico medio a Cretácico inferior.

### **3.1.3.4 Depósitos Coluviales (Q - C)**

Estos hacen referencia al material de tipo bloque y gravas producto de la erosión de taludes, que se depositan en el pie de estos por la acción de la gravedad, presentan una litología homogénea englobados en una matriz de tipo arenosa. (PRECUPA, 1998)

### **3.1.3.5 Depósitos Aluviales (Q - A)**

Corresponden a depósitos de cantos, gravas y arenas que provienen de materiales preexistentes depositados en ríos y quebradas, es decir que se forman por el arrastre de las corrientes de agua. (PRECUPA, 1998)

### **3.1.3.6 Volcánicos de Llacao (V - Ll)**

Contiene una litología predominante de aglomerado con fragmentos que pueden llegar a 1m de diámetro dentro de una matriz de vidrio blando devitrificado.

### 3.1.4 *Litología de la mina San Pedro*

Una vez conocidas las formaciones geológicas del Cantón Guachapala se puede indicar que la mina San Pedro mayoritariamente se encuentra dentro de la unidad Alao – Paute y a la litología correspondiente a Meta – volcánicas de San Francisco la misma que se describe a continuación: (Ministerio de Agricultura, 2005)

### 3.1.5 *Meta – volcánicas de San Francisco (J – P)*

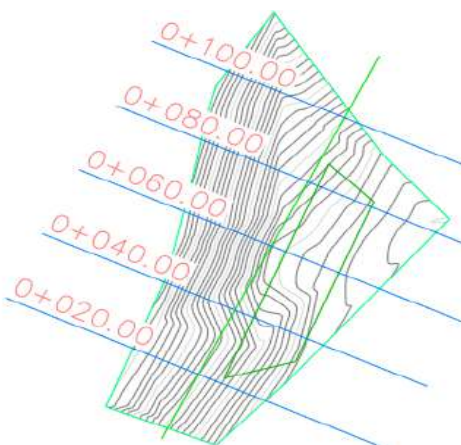
Se extienden desde el río Paute al este del descanso hasta el río San Francisco que se forma a unos 8 kilómetros al SE de Gualaceo, están constituidos de forma general por filitas, esquitos de mica y aglomerados. (Ministerio de Agricultura, 2005)

### 3.1.6 *Capacidad de explotación de la zona de estudio*

De acuerdo a estudios realizados en la cantera establecida se determina la capacidad de material a explotar en metros cúbicos que serán destinados para proyectos de mantenimiento vial de acuerdo a las planificaciones establecidas por la entidad encargada de realizar la extracción de material. (Guachapala G. A., 2022).

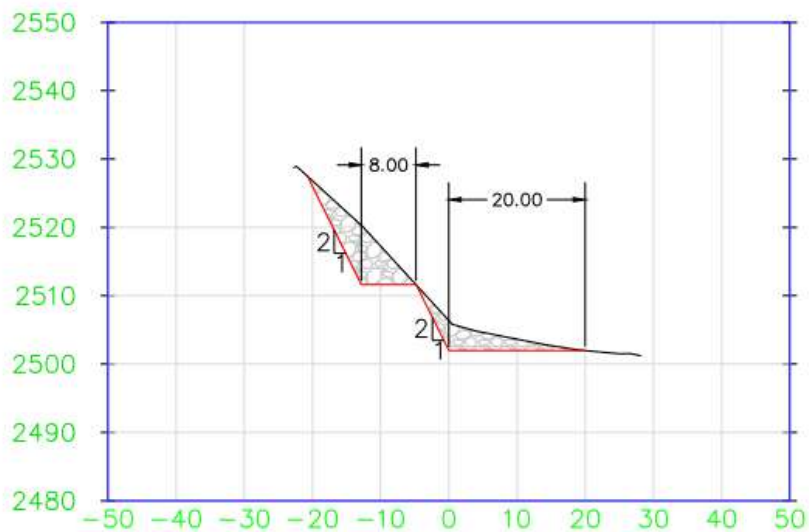
## Figura 14

*Delimitación de Cantera San Pedro Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala.*

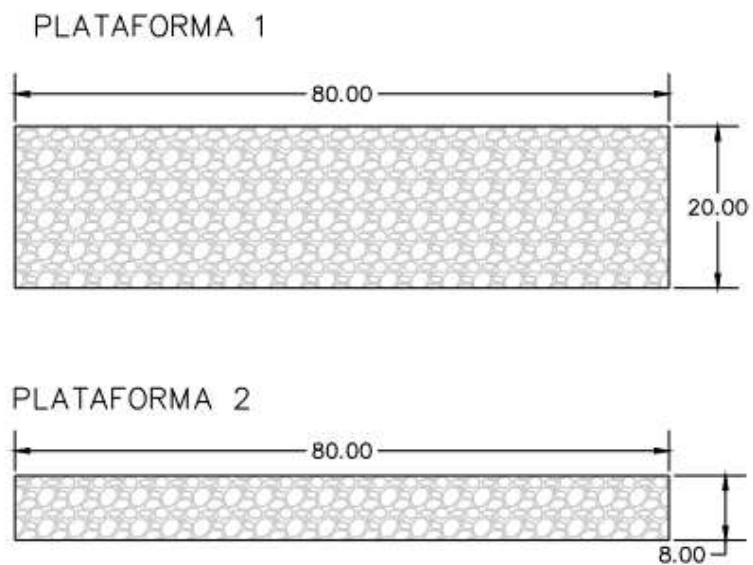


**Figura 15**

*Diseño de Talud Cantera San Pedro Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala*

**Figura 16**

*Plataformas de Diseño Fuente: OOPP GAD Cantonal Guachapala*



Se realizo trabajo de toma de muestras de material en la zona de estudio para luego realizar el traslado a laboratorio para realizar los ensayos respectivos en condiciones naturales.

**Figura 17**

*Material de Extracción de Sitio Fuente: Autor, 2023*



Una vez material puesto en laboratorio se procedió a realizar un cuarteo respectivo con la finalidad de cumplir la correcta distribución de las partículas finas y gruesas y continuar con los ensayos correspondientes.

**Figura 18**

*Material Cuarteado Fuente. Autor, 2023.*



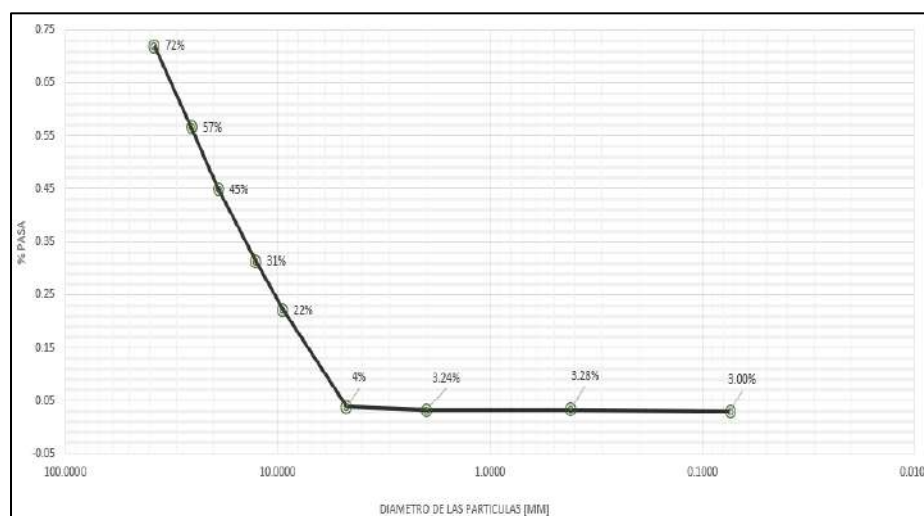
## 3.2 Ensayos de laboratorio del material en condiciones naturales

### 3.2.1 Ensayo para determinar la granulometría de los áridos

De acuerdo al ensayo de granulometría que presenta en suelo en condiciones naturales se logra determinar de acuerdo a la curva granulométrica graficada según el material que pasa por los tamices establecidos, las partículas que componen el suelo es el 96.16% de grava, 3.31% de fino y 0.53% de arena presentes en el suelo, teniendo una importante observación, la cantera ubicada en el cantón Guachapala posee un material consolidado.

#### Figura 19

*Curva Granulométrica Fuente: Autor, 2023*

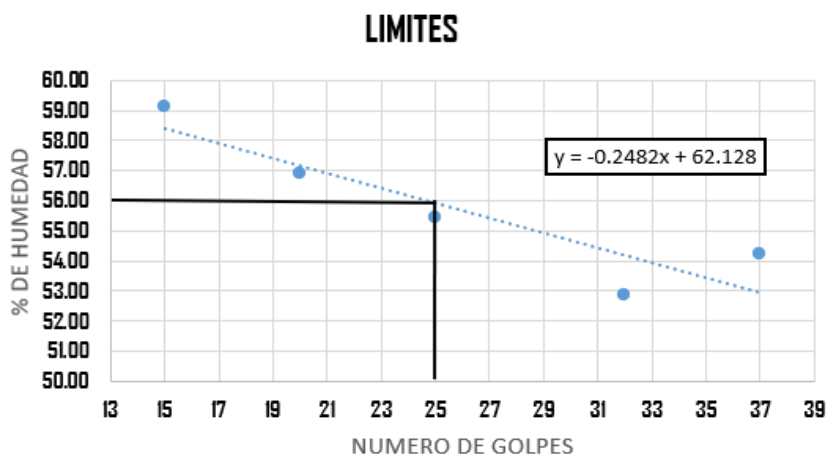


### 3.2.2 Índice de Plasticidad

De acuerdo a la elaboración del ensayo respectivo para determinar las características físicas del suelo, se obtiene como resultado el Límite Líquido del 55.92% en 25 golpes de acuerdo al cumplimiento con la normativa ASTM D 4318, de la misma manera el Límite plástico presenta un valor de 30.86%, posterior a ello se obtiene el Índice de plasticidad del 25.06%

**Figura 20**

*Limites de Atterberg Fuente: Autor, 2023*

**Tabla 3**

*Resultado de Limites de Atterberg Fuente: Autor, 2023*

<b>Resultados del ensayo</b>	
<b>Límite Líquido</b>	55.92 %
<b>Limite Plástico</b>	30.86 %
<b>Índice de Plasticidad</b>	25.06 %

### 3.2.3 Contenido de Humedad

El contenido de humedad promedio obtenido en laboratorio de la muestra se suelo en condiciones naturales es de 7.41%

**Tabla 4**

*Contenido de Humedad Fuente: Autor, 2023*

<b>Cálculo De Humedad</b>		
<b>Tarro</b>	<b>LP1</b>	<b>LP2</b>
<b>PMH+T</b>	792.00	720.00
<b>PMS+T</b>	773.00	702.00
<b>T</b>	517.00	459.00
<b>%W</b>	7.42	7.41
	<b>%W Promedio</b>	7.41

### 3.2.4 Clasificación de Suelos

A continuación, se dará a conocer el resultado de la clasificación del material extraído de la fuente de material conocida como San Pedro.

#### 3.2.4.1 Clasificación de suelos mediante AASHTO

A través de este método que permite clasificar el suelo, se obtiene el resultado del material extraído de la fuente seleccionada perteneciente al cantón Guachapala, según la carta que muestra los parámetros establecidos de clasificación, corresponde a un suelo A-2-7, mismo que referencia a un tipo de material que está compuesto de gravas, arenas limosas y arcillosas siendo un terreno de fundación regular a deficiente.

**Tabla 5**

*Clasificación se Suelo Método AASHTO Fuente: Autor, 2023*

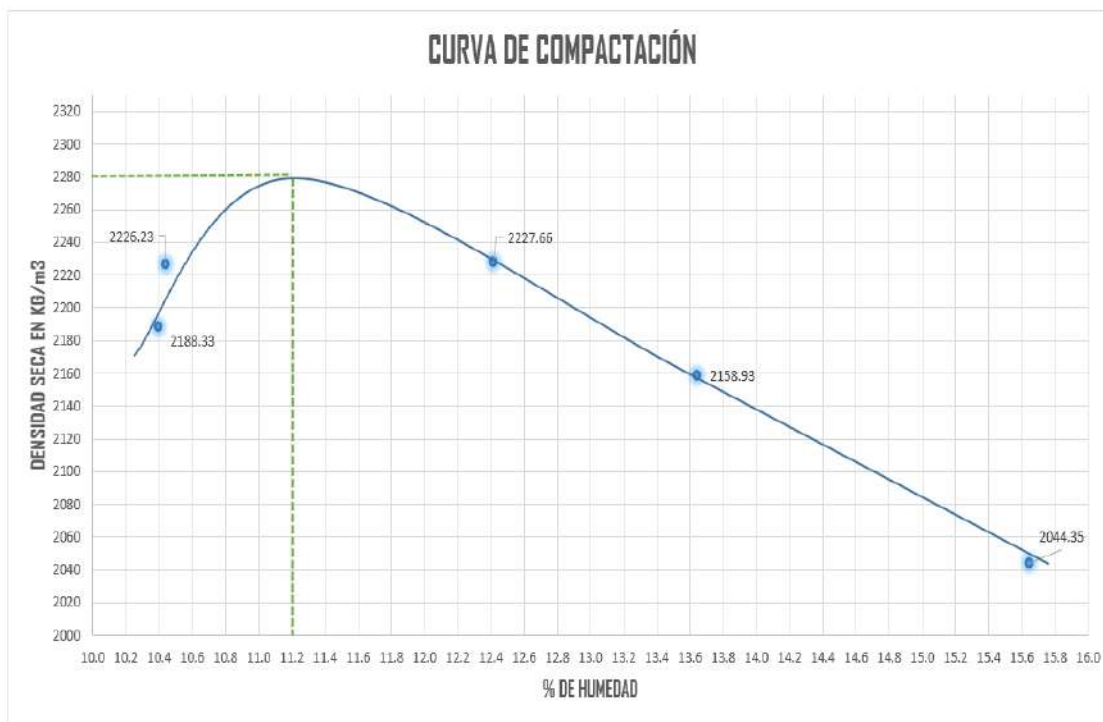
<b>Clasificación de Suelo AASHTO</b>		
<b>Porcentaje que pasa N200</b>	3.00%	- 35%
<b>IG</b>	-10.75	4 máx.
<b>IP</b>	25.06	min 11
<b>LL</b>	55.92	41 min
<b>A - 2 - 7</b>	<b>Grava, Arena Limosa y arcillosa</b>	
	<b>Terreno regular a Deficiente</b>	

### 3.2.5 Proctor Modificado

Al realizar el ensayo de proctor modificado, este tiene por finalidad determinar la densidad seca máxima de una muestra de suelo con un contenido de humedad óptimo, obteniendo un valor de 2280 kg/m<sup>3</sup> de MDS, y un 11.2% de OCH, teniendo en cuenta que las características físicas de la muestra de material en condiciones naturales perteneciente a la cantera del cantón Guachapala posee un contenido de humedad natural de 7.41%.

**Figura 21**

*Curva de Compactación Fuente: Autor, 2023*

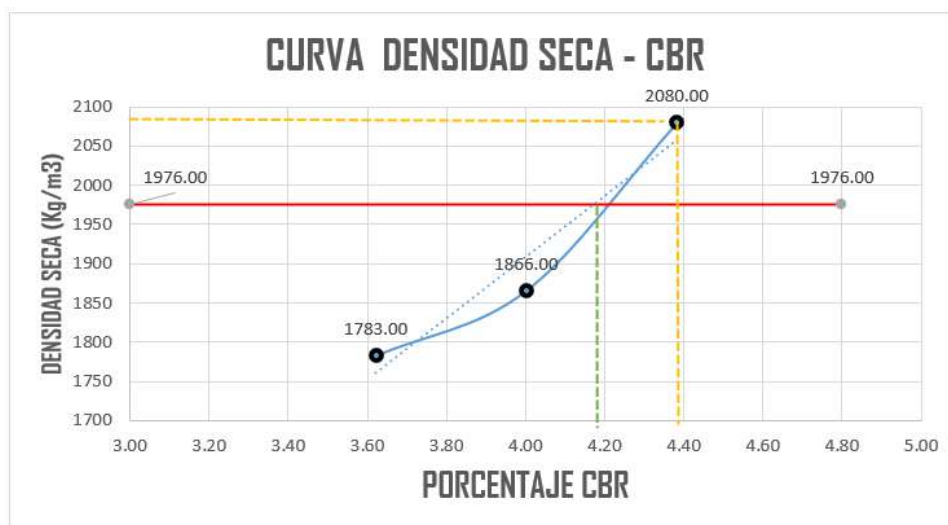


### 3.2.6 Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo de CRB se realiza al material que se ha compactado mediante el ensayo de Proctor modificado mismo que se obtuvo el resultado de densidad seca máxima de  $2280 \text{ kg/m}^3$  y una humedad óptima del 11.2%, se realizan tres ensayos utilizando la misma cantidad de agua en cada muestra, pero con diferentes energías de compactación, cada molde es compactado en 5 capas con martillo de compactación de 10lb, pero la energía de compactación es aplicada en 56, 25 y 12 golpes en cada molde. Esta variación sirve para evaluar la capacidad de soporte del suelo respecto al grado de compactación y así determinar el CBR al 95% siendo de 4.2% y CBR al 100% de 4.40%.

### Figura 22

Porcentaje de CBR con Material en Condiciones Naturales Fuente: Autor, 2023



Cabe señalar que el material al momento de realizar los respectivos ensayos de proctor modificado y CBR las partículas gruesas inferiores a 3/4" al aplicar energía de compactación con martillo de 10 lb tendían a romperse.

### Figura 23

Ruptura de Partículas Gruesas al Recibir Energía de Compactación. Fuente. Autor 2023.



### **3.2.7 *Ensayo de Permeabilidad***

A través del ensayo de clasificación de suelos por el método AASHTO, se definió el tipo de suelo que pertenece el material a estudiar resultando ser grava, arena limosa y arcillosa, mismo al realizar el ensayo de permeabilidad mediante uso de permeámetro de carga variable aplicado al suelo fino se determina que al entrar en contacto con el agua, este material solamente llega a la saturación completa de la muestra. Este ensayo tuvo una duración a partir del 22 de diciembre del 2022 hasta el 6 de febrero del 2023 mismo que no se obtuvo paso de agua en el tiempo establecido por lo cual el resultado se estima un suelo aparentemente impermeable.

### **3.2.8 *Ensayo de Abrasión***

El ensayo de abrasión mide el desgaste de los agregados producto de la combinación de varias acciones como el impacto, la fricción y la abrasión que producen unas esferas dentro de un aparato denominado máquina de los Ángeles. Este ensayo es importante realizar debido a que indica la calidad de los agregados pétreos lo cual es necesario conocer para el material de estudio procedente de la cantera San Pedro.

Mediante el método expuesto y Norma ASTM C-535 opción 2 se determinó el porcentaje de desgaste del material, siendo la muestra a analizar un suelo que predomina el material grueso se usa los pesos retenidos en los tamices de 1" y 1 ½".

**Figura 24**

*Material Grueso Para Ensayo de Abrasión. Fuente: Autor, 2023*

**Figura 25**

*Granulometría Representativa de los Agregados Para Selección de Método a Usar Fuente: ASTM C-535.*

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	1	2	3
3"	2 ½"					2500±50		
2 ½"	2"					2500±50		
2"	1 ½"					5000±50	5000±50	
1 ½"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	¾"	1250±25						5000±50
¾"	½"	1250±10	2500±10					
½"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	¼"			2500±10				
¼"	N°4			2500±10				
N°4	N°8				5000±10			
TOTAL PESO (g)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±75	10000±50
N° DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

Al realizar el ensayo de abrasión de acuerdo a normativa establecida se determinó el porcentaje de desgaste obteniendo un valor de 17.94% lo que indica que existe poco desgaste en estos agregados de tamaño mayor a 3/4". En la siguiente figura se muestra el material luego del haber realizado el ensayo.

### Figura 26

*Material Luego de Ensayo de Abrasión. Fuente: Autor, 2023*



El proceso para realizar el cálculo de porcentaje de desgaste se determinó mediante la implementación de la ecuación que se muestra a continuación:

### Ecuación 4

*Cálculo de Porcentaje de Desgaste Ensayo de Abrasión*

$$\% \text{ desgaste} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

Donde:

**Pi.** Es el peso Inicial de la muestra antes de aplicar ensayo

**Pf.** Es el peso final luego de realizar el ensayo.

$$P_i = 10008 \text{ gr}$$

$$P_f = 8213 \text{ gr}$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{(10008 - 8213)}{10008} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 17,94 \%$$

### 3.3 Ensayos mediante implementación de aditivo TerraSil

Para determinar el incremento de las propiedades físicas y mecánicas de un material mediante la incorporación de aditivo TerraSil en la cantera seleccionada, se establece implementar las dosificaciones establecidas en la ficha técnica expuesta por el proveedor de acuerdo al CBR obtenido en condiciones naturales siendo las dosificaciones las que se muestran a continuación:

**Tabla 6**

*Dosificaciones de Aditivo Recomendadas Fuente: Autor, 2023*

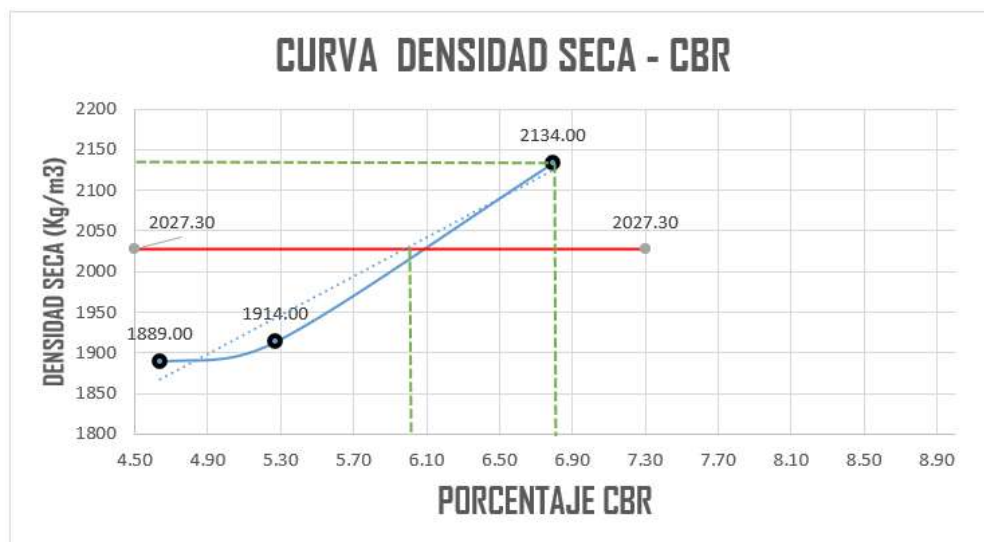
<b>Recomendaciones De Dosificación De Aditivo TerraSil De Acuerdo A Proveedor</b>			
<b>CBR Material</b>	Dosificación 1	Dosificación 2	Dosificación 3
<b>4.2</b>	0.5%	1%	1% TerraSil + 1% Cemento

#### 3.3.1 *Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 0.5 kg/m3 de TerraSil.*

Con la dosificación propuesta por el proveedor se observa un aumento de CBR al 100% de 6.60% y CBR al 95% de 6.00%, logrando incrementar un 140.47% de resistencia en comparación con el material en condiciones naturales.

**Figura 27**

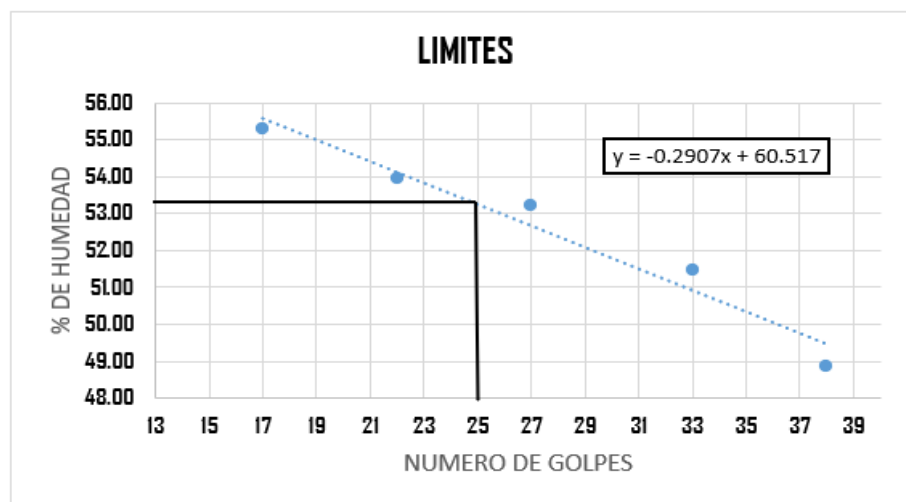
*Porcentaje de CBR de Material con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*



Al realizar el ensayo de límites de Atterberg, el Límite Líquido tiende a bajar en 2.67% partiendo de los resultados expuestos y obtenidos del material en condiciones naturales, de igual manera el Limite Plástico tiende a subir 3.09%, teniendo como resultado el Índice de plasticidad una disminución de 5.77%.

**Figura 28**

*Limites de Atterberg con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*



**Tabla 7**

*Resultados Obtenidos con Adición 0.5 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*

Resultados del ensayo		
<b>Límite Líquido</b>	53.25	%
<b>Límite Plástico</b>	33.95	%
<b>Índice de Plasticidad</b>	19.30	%

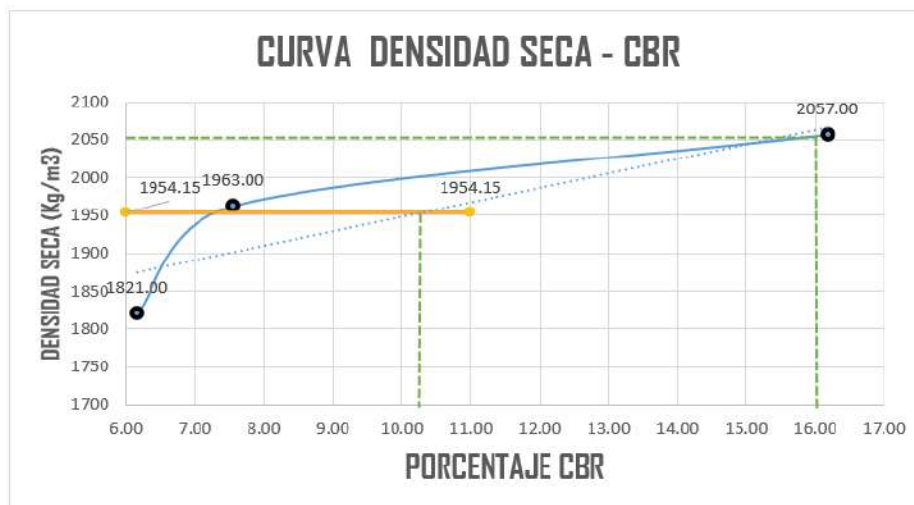
Con esta dosificación se estima que la permeabilidad disminuye, esto se observa de forma visual ya que al aplicar el ensayo de permeámetro de carga variable aplicado a suelo fino la muestra se mantiene en seco, a comparación en condiciones naturales llega a la saturación. Por ende, con esta dosificación de TerraSil permite la generación de nanomembrana que trata de impedir el paso de agua, manteniendo la muestra en seco.

### 3.3.2 Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 1 kg/m<sup>3</sup> de TerraSil.

A través de esta dosificación se tiene un aumento de CBR al 100% de 16% y CBR al 95% de 10.25%, logrando incrementar un 244.05% de resistencia a comparación del suelo natural.

**Figura 29**

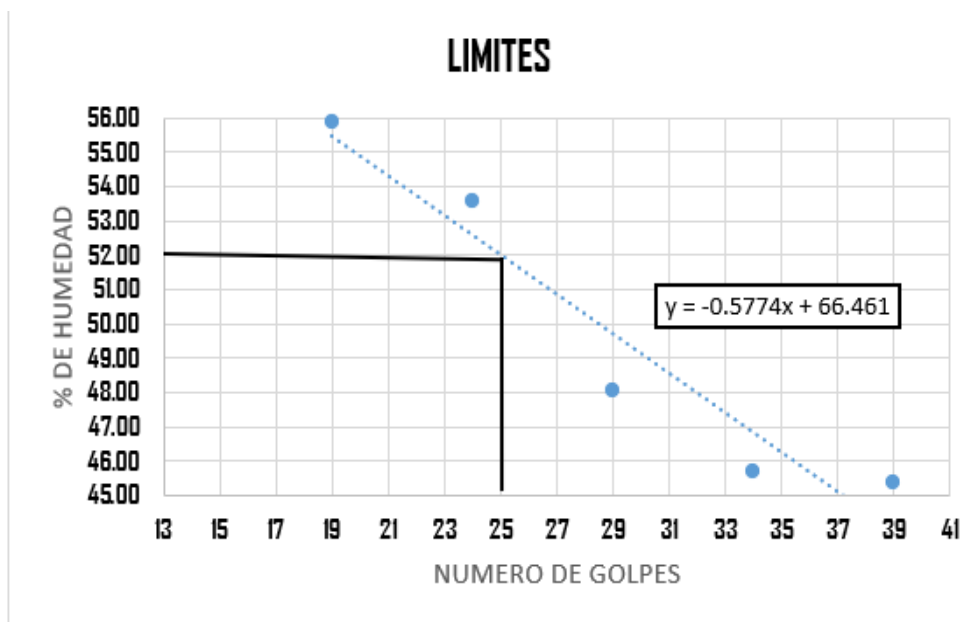
*Porcentaje de CBR de Material con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*



Los resultados obtenidos de ensayo de Límites de Atterberg se tiene que el Límite Líquido reduce un 3.90% teniendo como referencia el material en condición natural, así como el Límite Plástico aumenta 3.90%, por ello el Índice de Plasticidad reduce 4.90%

**Figura 30**

*Límites de Atterberg con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*



**Tabla 8**

*Resultados Obtenidos con Adición 1 kg Aditivo Fuente: Autor, 2023*

Resultados del ensayo		
Límite Líquido	52.03	%
Límite Plástico	35.76	%
Índice de Plasticidad	16.27	%

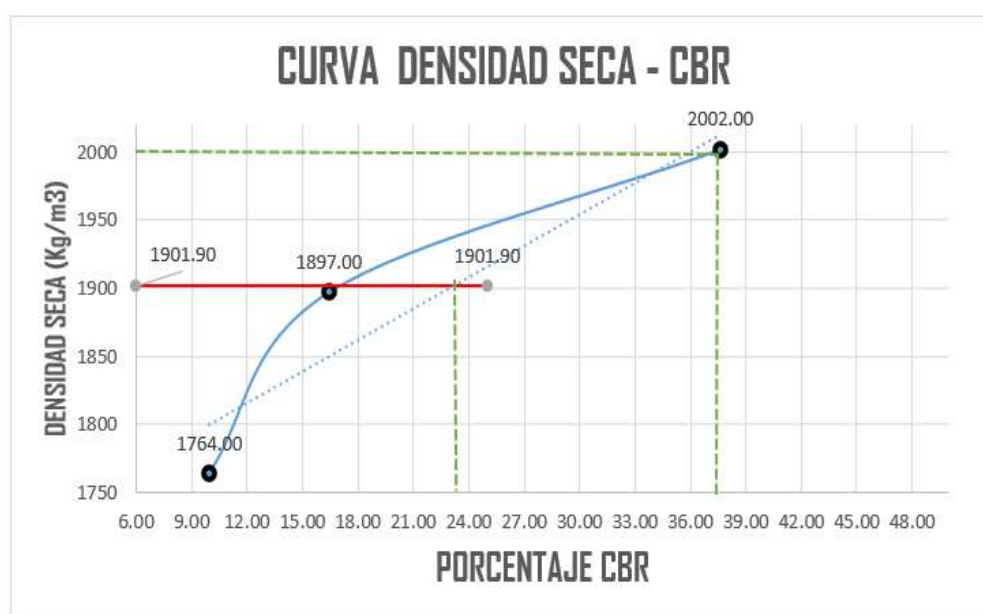
A través del ensayo de permeabilidad mediante permeámetro de carga variable de determina que las muestras se mantienen en seco aparentemente impermeables debido a la generación de la nanomembrana que impide el paso de agua.

### 3.3.3 Análisis de Estabilización de Material con Dosificación de 1 kg/m<sup>3</sup> de TerraSil + 1% Cemento

Mediante esta dosificación el resultado tiene un aumento de CBR al 100% de 37% y CBR al 95% de 23%, logrando incrementar un 547.62% de resistencia en comparación con el material en condiciones naturales.

#### Figura 31

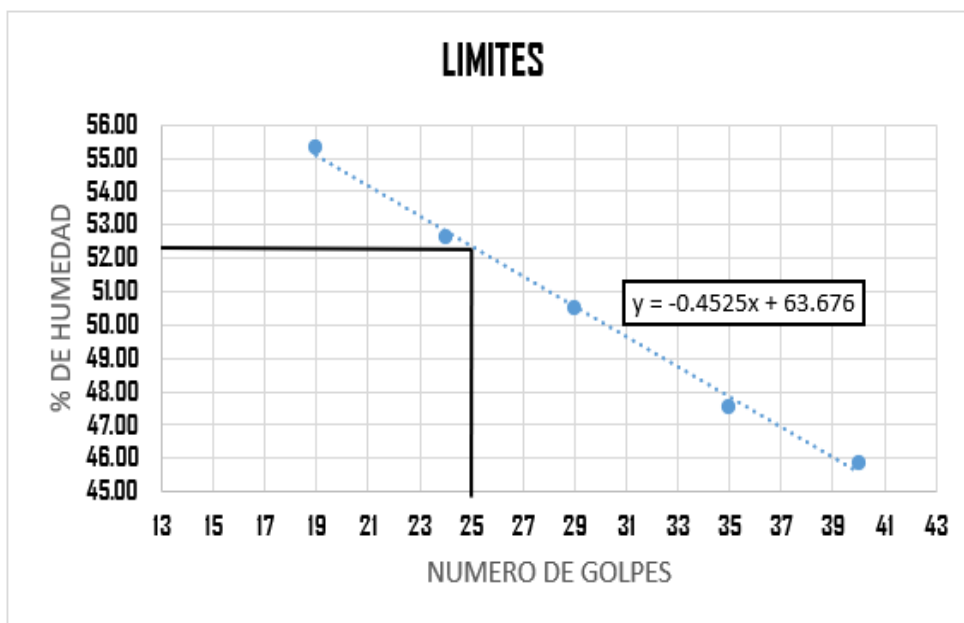
Porcentaje de CBR de Material con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023



El ensayo de Límites de Atterberg a través de esta combinación se tiene que el Límite Líquido tiende a bajar en 3.56% partiendo de los resultados expuestos y obtenidos del material en condiciones naturales, de igual manera el Límite Plástico tiende a subir 6.79%, teniendo como resultado el Índice de plasticidad una disminución de 10.35%.

**Figura 32**

*Limites de Atterberg con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023*

**Tabla 9**

*Resultados Obtenidos con Adición 1 kg Aditivo + 1% Cemento Fuente: Autor, 2023*

Resultados del ensayo		
<b>Límite Líquido</b>	52.36	%
<b>Límite Plástico</b>	37.65	%
<b>Índice de Plasticidad</b>	14.71	%

De igual manera la Permeabilidad se confirma de forma visual en la muestra aplicada al ensayo en permeámetro de carga variable, teniendo como resultado que la muestra se mantiene en seco impidiendo el paso de agua aparentemente debido a la generación de la nanomembrana que produce el aditivo TerraSil, se debe tomar en cuenta las consideraciones a tomar como el tiempo que tarda hacer efecto el producto y así obtener los mejores resultados posibles.

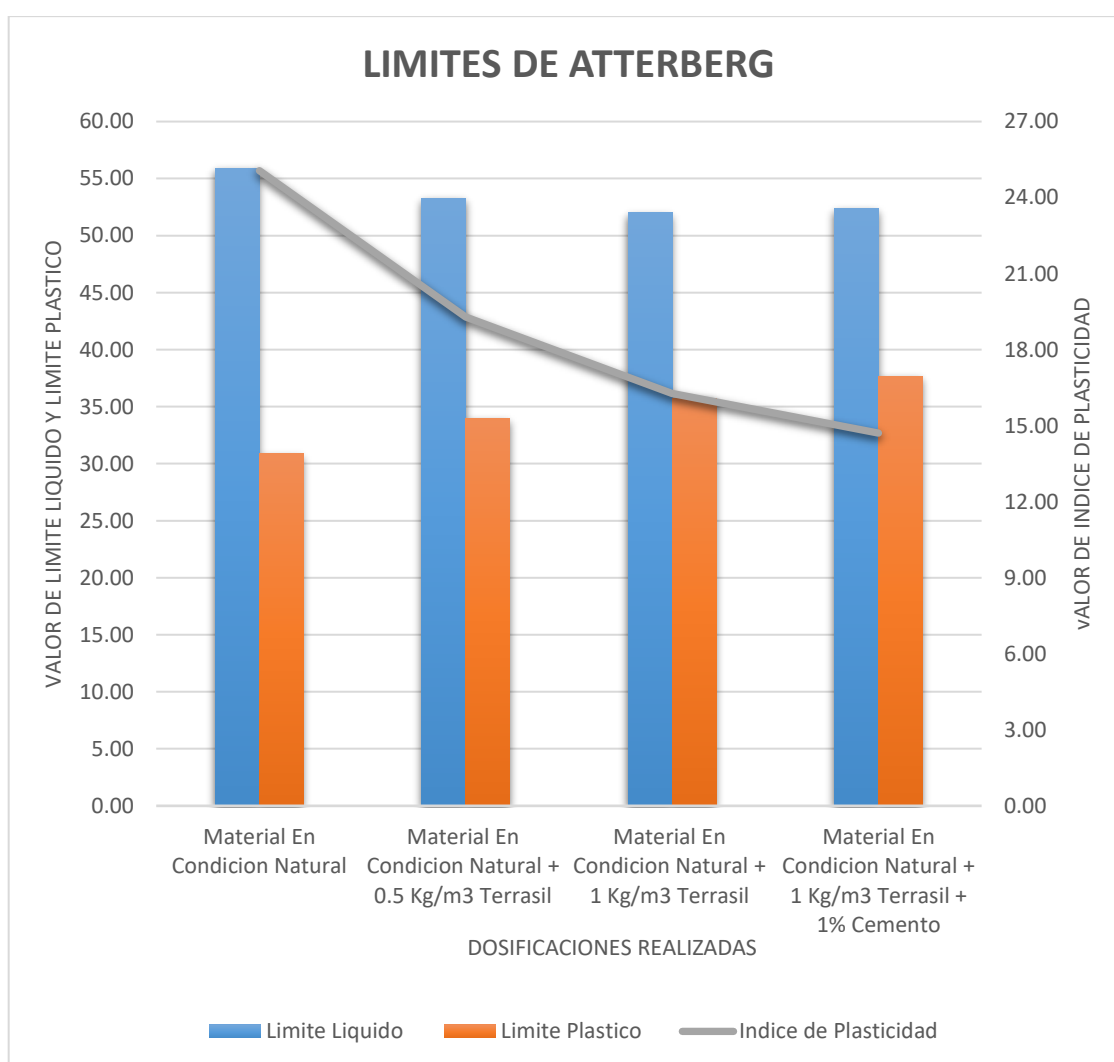
### 3.4 Análisis Comparativo de Resultados Obtenidos.

Posteriormente se realiza un análisis comparativo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio tanto con el material en condiciones naturales como el material estabilizado con sus respectivas dosificaciones.

#### 3.4.1 Gráfico comparativo de los límites de Atterberg

##### Ilustración 1

*Gráfico Comparativo Límites de Atterberg Fuente: Autor, 2023*



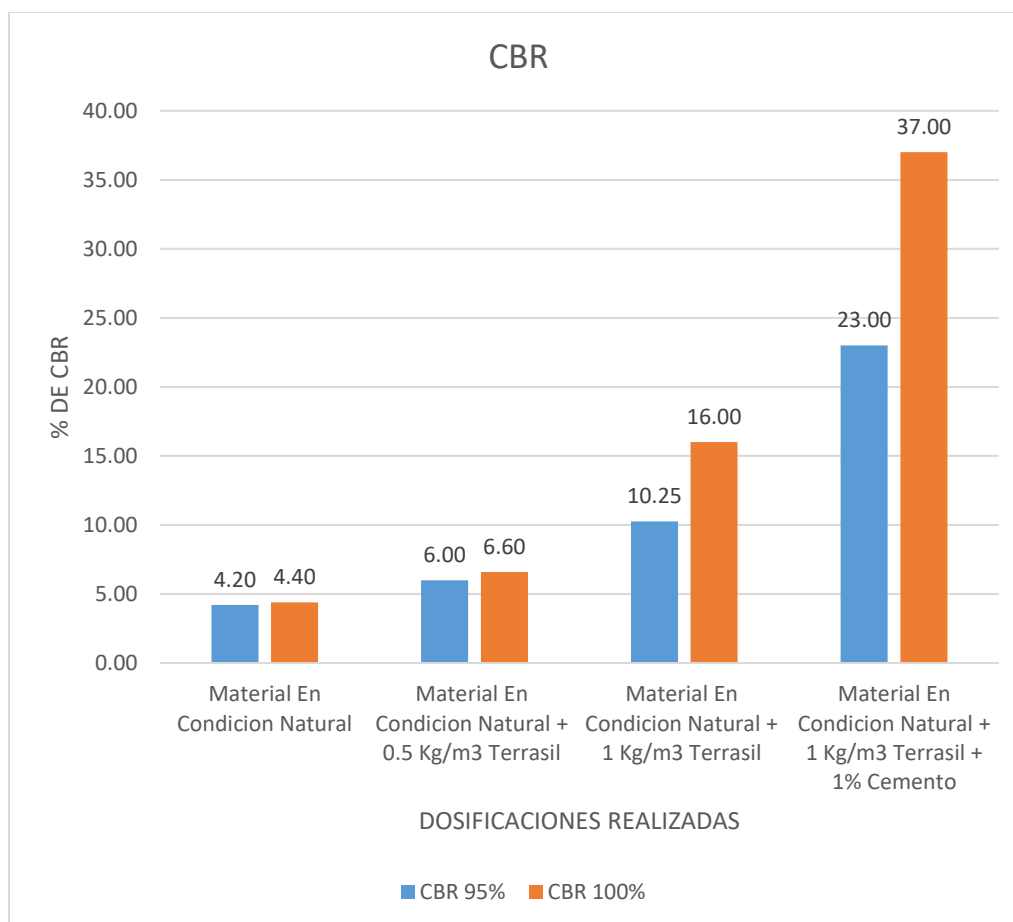
En los resultados obtenidos mediante la estabilización con el aditivo TerraSil y el cemento Portland, se observa una disminución decreciente del índice de plasticidad al incorporar

el producto con respecto a las condiciones naturales, esto se debe al cambio en los valores del Limite Líquido y plástico, en donde el límite líquido va disminuyendo conforme a las dosificaciones mostradas, sin embargo, tanto en condiciones naturales como con el producto no existe mucha variación, en cuanto al Limite Plástico sucede lo contrario el valor se eleva de forma creciente de acuerdo a las dosificaciones planteadas lo que provoca esta reducción del IP en 1.3 ; 1.5 y 1.7 veces respectivamente en relación al material en condiciones naturales como se puede observar en el gráfico.

### 3.4.2 Gráfico comparativo de los valores de CBR

#### Ilustración 2

Gráfico Comparativo CBR Fuente: Autor, 2023

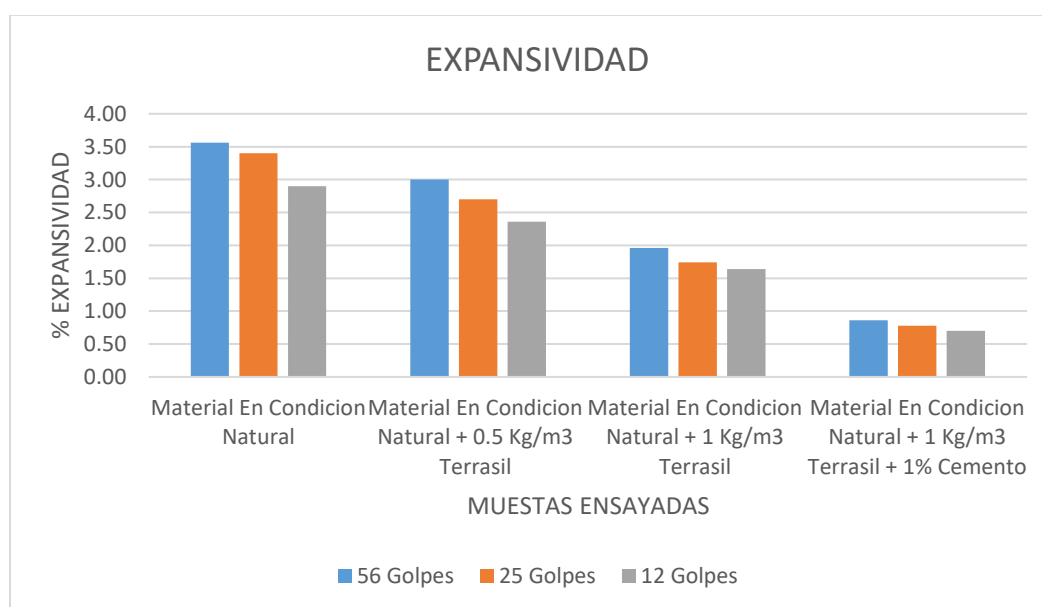


La adición del aditivo TerraSil y el cemento Portland en sus diferentes dosificaciones realizadas, da como resultado un aumento creciente del valor de CBR al 95% en 1.4; 2.7 y 5.4 veces respectivamente y al 100% en 1.5; 3.6 y 8.4 veces en relación al material en condiciones naturales. Por otro lado, se observa que tanto el material en condiciones naturales como el material con la primera dosificación de 0.5 Kg/m<sup>3</sup> de TerraSil no existe mucha variación en los valores de CBR al 95% y 100%, lo que no sucede con las otras dosificaciones realizadas, en donde, ocurre un cambio notorio en este valor en los diferentes porcentajes mostrados. Finalmente, se puede observar que con los datos obtenidos se forma una línea de tendencia creciente en los dos casos, en la cual mantiene un comportamiento uniforme en las primeras dosificaciones y después para las siguientes los valores se disparan indicando un cambio drástico entre la dosificación de 0.5 Kg/m<sup>3</sup> y 1Kg/m<sup>3</sup> de TerraSil lo que marca otro comportamiento como se visualiza en el gráfico.

### 3.4.3 Gráfico comparativo de los valores de Expansividad

#### Ilustración 3

*Grafico Comparativo de Porcentaje de Expansividad Fuente: Autor, 2023*



En la ilustración 3 se puede apreciar el porcentaje de expansión al material en condiciones naturales y también aplicando diferentes adiciones de producto estabilizador, esto se realizó una vez que las muestras fueron sumergidas en agua durante un tiempo de cuatro días, en la cual en cada ensayo se utilizó tres moldes de diferente energía de compactación de 56, 25 y 12 golpes apreciando que el material en condiciones naturales presenta; para molde de 56 golpes una expansión de 3.56%, para molde de 25 golpes una expansión de 3.40% y para molde de 12 golpes una expansión de 2.9%. Para el ensayo de adición de 0.5 Kg de aditivo teniendo un resultado de molde de 56 golpes una expansión de 3.00%, para molde de 25 golpes una expansión de 2.70% y para molde de 12 golpes una expansión de 2.36%. Para el ensayo de adición de 1 Kg de aditivo teniendo un resultado el molde de 56 golpes una expansión de 1.96%, para molde de 25 golpes una expansión de 1.74% y para molde de 12 golpes una expansión de 1.64%. Para el ensayo de adición de 1 Kg de aditivo más 1% cemento se tiene un resultado el molde de 56 golpes una expansión de 0.86%, para molde de 25 golpes una expansión de 0.78% y para molde de 12 golpes una expansión de 0.70%. Por lo tanto, se puede establecer que en cada ensayo realizado tanto para el material de cantera a nivel de afirmado en condiciones naturales y con adición de aditivo en diferentes dosificaciones tiene una mayor expansión a 56 golpes y una menor expansión a 12 golpes.

## 4 Capítulo IV

### 4.1 Estudio Costo Beneficio

En el presente capítulo se determinará la factibilidad de estabilización de material de lastre, mismo que es utilizado para el mantenimiento periódico en las vías rurales, con la implementación de este producto se pretende que posea mayor duración a comparación de trabajos de lastrado realizados en condiciones naturales, para esto se debe tener en cuenta que el costo se eleva debido a la implementación del aditivo de marca TerraSil más adición de cemento.

La estabilización es el proceso que se puede dar a suelos o capas de firmes mediante aplicación de ligantes. Este caso consiste en la incorporación de aditivo conformado por organosilanos denominado TerraSil con el cual se trata de mejorar las características mecánicas y que obtengan la propiedad de resistir esfuerzos que son impuestos a través de las cargas de tránsito, así como la resistencia ante agentes atmosféricos. (Ministerio De Obras Publicas, 2002).

A través de la implementación de este aditivo se logra obtener ciertas ventajas:

- Ahorro de Material.
- Incremento en durabilidad.
- Menor uso de equipos de transporte de material.

A continuación, se dará a conocer un análisis comparativo mediante tablas de presupuestos el respectivo costo-beneficio que se puede llegar a obtener al implementar este producto. Este ensayo parte de Análisis de Precios Unitarios, mismos que son facilitados por el Gobierno Provincial del Azuay y son utilizados para el lastrado de vías rurales debido a que esta entidad pública posee las funciones y competencias de realizar procesos de mantenimiento periódico de lastrado en vías rurales de todos los cantones y parroquias pertenecientes a la provincia.

El proceso de mantenimiento periódico de lastrado de vías no parte de un diseño en específico para determinar estructura de la capa de rodadura, esto se realiza mediante una planificación respectiva que son ejecutadas por entidades públicas a través del (Plan Operativo Anual-POA), en la cual se mantienen ciertos valores de espesor de material con la finalidad de brindar mantenimiento periódico que cubran el 100% de lastrado de vías rurales, ya que el principal objetivo es conseguir un óptimo nivel de conservación de la vía y garantizar la circulación de vehículos. (Quevedo Pesantez, Avila Calle, & Calle Castro, 2021). Para realizar este análisis el espesor de material a realizar estabilización es de 15 cm.

#### **Tabla 10**

*Espesor de Capa a Estabilizar Fuente: Autor, 2023.*

<b>Espesor De La Capa A Estabilizar</b>	
<b>Material</b>	Lastre Cantera San Pedro
<b>Espesor Capa</b>	15cm

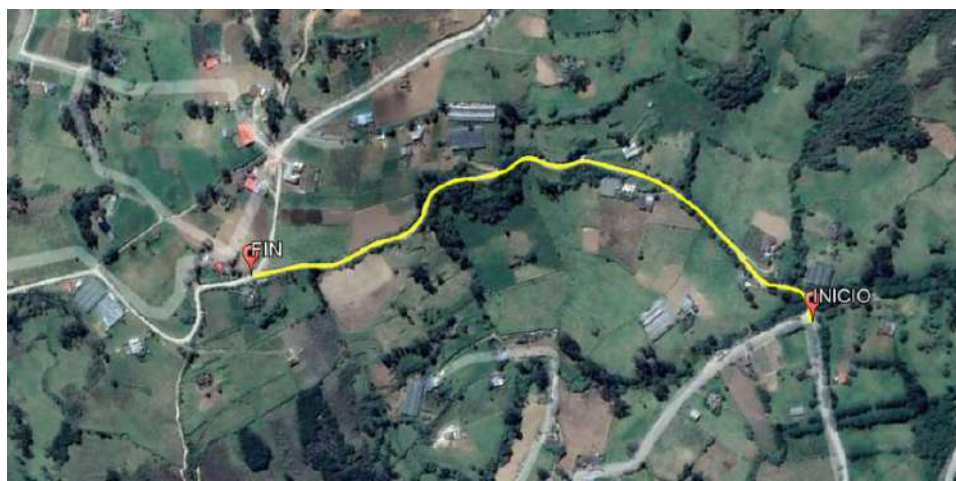
Para la estabilización de este material la dosificación deberá contener 1 kg/m<sup>3</sup> de aditivo orgánico denominado TerraSil más el 1% de cemento por cada metro cubico de material de extracción de mina de acuerdo a los ensayos de California Bearing Ratio que entrego el mayor CBR según las alternativas de dosificaciones recomendadas por el proveedor del producto BREM Cía. Ltda.

#### **4.1.1 Cálculo de Costos.**

Para realizar el análisis de costos que corresponde al mantenimiento periódico se consideró los siguientes datos correspondiente a vía que se toma de ejemplo.

**Figura 33**

*Vía a Estabilizar Fuente: Google Earth, 2023*



Los datos generales de la vía que se realizan mantenimiento periódico se presentan a continuación:

**Tabla 11**

*Datos de la Vía Sin Estabilizar Fuente: Autor, 2023.*

<b>Datos De Vía</b>	
<b>Vía que conduce comunidad de Agllan hacia comunidad de Guazac perteneciente al Cantón Guachapala.</b>	
<b>Longitud de la vía (m)</b>	1000
<b>Ancho de la vía (m)</b>	6
<b>Espesor de Capa de Material (m)</b>	0.15
<b>Distancia de Mina (km)</b>	4.34
<b>Área de Vía m<sup>2</sup></b>	6000
<b>Volumen de material m<sup>3</sup></b>	900
<b>Volumen con esponjamiento m<sup>3</sup></b>	1170

En la siguiente tabla se puede observar el presupuesto para lastrado de vías rurales, mismo que consta como base de datos para proyecto de mantenimiento vial en la Provincia del Azuay.

**Tabla 12**

*Tabla de Presupuesto sin Estabilización Fuente: Autor, 2023.*

<b>Presupuesto Para Lastrado De Vías Rurales</b>				
<b>Referencia De Base De Datos Para Proyectos De Mantenimiento Vial Azuay</b>				
<b>Oferente:</b>	Comunidad Agllan-Guazac			
<b>Ubicación:</b>	Cantón Guachapala			
<b>Fecha</b>	06-mar-23			
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unit.</b>	<b>Total</b>
<b>Explotación, minado y cargado de material en mina</b>	m3	1 170.00	2.18	2 545.17
<b>Limpieza y reconformación de cunetas a máquina</b>	ml	2 000.00	0.26	520.00
<b>Retiro de material vegetal de la vía</b>	m2	6 000.00	0.24	1 440.00
<b>Lastrado (tendido y compactado)</b>	m3	1 170.00	6.41	7 497.36
<b>Transporte de material hasta 5 km</b>	m3	1 170.00	1.32	1 541.94
<b>Total</b>				<b>13 544.47</b>

Para llevar a cabo el costo asociado a la operación de un lastrado de vías a partir de un periodo de análisis económico se debe considerar el costo de la infraestructura, mismo que se divide en: (Montejo Piratova, 2002)

**Costo de construcción (Co):** Consiste en la elaboración de un presupuesto incluido el costo de diseño, la construcción y la interventoría. Este es aplicado en el último año de construcción.

**Costo de conservación rutinaria:** es el valor económico de mantenimiento rutinario a realizar a un pavimento en cada año de acuerdo a un análisis económico

**Costo de rehabilitación:** Es aplicado en el año (n+1) es decir, en el año que se encuentra cercano al año final del periodo de diseño.

**Valor residual:** es el valor es determinado mediante un estimado de la estructura que presenta en su condición final. Este aplica en el último año del periodo de análisis económico.

Para todos se recomienda utilizar como Valor Residual el 10% del valor de construcción de la estructura. (Montejo Piratova, 2002)

De acuerdo al Instituto Nacional de Vías, mediante recomendaciones y directrices de gobierno recomienda utilizar la tasa de crecimiento (**a**) del 12%. (Montejo Piratova, 2002)

**Tabla 13**

*Datos Iniciales Para Análisis de Costos Fuente: Autor, 2023.*

<b>Alternativa 1 Método Empírico Para Lastrado De Vías Rurales</b>	
<b>Datos Iniciales</b>	
<b>Costo inicial de construcción</b>	13544.47
<b>Costo de conservación rutinaria</b>	2257.41 mes
<b>Costo de rehabilitación al año</b>	0
<b>Costo de rehabilitación al año</b>	0
<b>Valor residual de la estructura</b>	10% del costo inicial

**Tabla 14**

*Costo Global Actualizado Fuente: Autor, 2023.*

<b>Cálculo CG<sub>A</sub></b>		
<b>CG<sub>A</sub></b>	<b>Costo global actualizado</b>	<b>166 166.93</b>
<b>Co</b>	Costo inicial de construcción	13544.47
<b>MR</b>	Costo de conservación rutinaria	2257.41
<b>a</b>	Tasa de crecimiento	12%
<b>RH</b>	Costo de rehabilitación	
<b>VR</b>	Valor residual de la estructura	1354.447
<b>n</b>	Periodo de Diseño	1
<b>m</b>	Periodo de análisis económico	10

Como se puede observar en las tablas expuestas anteriormente se necesita un Costo Global Actualizado de \$166166.93 para realizar mantenimiento vial en un kilómetro de vía en periodo de análisis de 10 años, teniendo un costo anual de \$16616.69 tomando en cuenta los parámetros expuestos de acuerdo al autor Ing. Alfonso Montejo Piratova.

#### 4.2 Costo de mantenimiento vial mediante implementación de aditivo + cemento.

Características para el proceso de estabilización de vía:

**Tabla 15**

*Datos de Vía a Estabilizar Fuente: Autor, 2023*

<b>Datos De Vía Estabilizada</b>	
<b>Vía que conduce comunidad de Agllan hacia comunidad de Guazac perteneciente al Cantón Guachapala.</b>	
<b>Longitud de la vía (m)</b>	1000
<b>Ancho de la vía (m)</b>	6
<b>Espesor de Laste (m)</b>	0.15
<b>Distancia de Mina (km)</b>	4.34
<b>Área de Vía m<sup>2</sup></b>	6000
<b>Volumen de material Lastre (m<sup>3</sup>)</b>	900
<b>Volumen con esponjamiento (m<sup>3</sup>)</b>	1170
<b>Cantidad de Cemento (kg)</b>	16848
<b>Cantidad de Cemento (sacos)</b>	337
<b>Volumen de aditivo TerraSil (kg)</b>	1170

**Tabla 16**

*Presupuesto Para Vía con Estabilización Fuente: Autor, 2023.*

<b>Presupuesto Para Lastrado De Vías Rurales</b>				
<b>Referencia De Base De Datos Para Proyectos De Mantenimiento Vial Azuay</b>				
<b>Oferente:</b>	Comunidad Agllan-Guazac			
<b>Ubicación:</b>	Cantón Guachapala			
<b>Fecha</b>	06-mar-23			
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unit.</b>	<b>Total</b>
<b>Explotación, minado y cargado de material en mina</b>	m <sup>3</sup>	1 170.00	2.18	2 545.17
<b>Limpieza y re conformación de cunetas a máquina</b>	ml	2 000.00	0.26	520.00
<b>Retiro de material vegetal de la vía</b>	m <sup>2</sup>	6 000.00	0.24	1 440.00
<b>Lastrado (mezclado, tendido y compactado) (Con aditivo y Cemento)</b>	m <sup>3</sup>	1 170.00	36.89	43 157.56
<b>Transporte de material hasta 5 km</b>	m <sup>3</sup>	1 170.00	1.32	1 541.94
<b>Total</b>				<b>49 204.67</b>

El presupuesto establecido mediante Análisis de Precios Unitarios asciende a un valor de \$49204.67, por kilómetro de longitud de vía, teniendo en cuenta que en este presupuesto consiste la incorporación del 1% de cemento por cada metro cubico de material que será mezclado con el lastre establecido, de igual forma se incorporará 1 kg por cada metro cubico de aditivo denominado TerraSil.

De acuerdo a investigaciones establecidas por diferentes autores dan a conocer que una estabilización suelo cemento dura un periodo de 5 años. También los datos proporcionados por el proveedor de producto TerraSil, BREM Cía. Ltda. exponen resultados de análisis de durabilidad de la estabilización de suelo aditivo orgánico + cemento es de 3 años mediante funcionamiento como de capa de rodadura, mientras que a ser implementado como material de mejoramiento y trabajo como parte de una carpeta asfáltica este tendrá una duración de 6 años.

### **Tabla 17**

*Datos Iniciales Para Análisis de Costos con Estabilización Fuente: Autor, 2023.*

Alternativa 2 Método Empírico Para Lastrado De Vías Rurales	
Datos Iniciales	
<b>Costo inicial de construcción</b>	49204.67
<b>Costo de conservación rutinaria</b>	200 mes
<b>Costo de rehabilitación al año 4</b>	41763.47
<b>Costo de rehabilitación al año 7</b>	41763.47
<b>Valor residual de la estructura</b>	10% del costo inicial

**Tabla 18**

*Costo Global Actualizado con Estabilización Fuente: Autor, 2023.*

Cálculo $CG_A$		
<b><math>CG_A</math></b>	<b>Costo global actualizado</b>	<b>119 189.70</b>
<b>Co</b>	Costo inicial de construcción	49204.67
<b>MR</b>	Costo de conservación rutinaria	200
<b>a</b>	Tasa decrecimiento	12%
<b>RH</b>	Costo de rehabilitación	83526.94
<b>VR</b>	Valor residual de la estructura	4920.47
<b>n</b>	Periodo de Diseño	3
<b>m</b>	Periodo de análisis económico	10

El costo de mantenimiento vial a través de la implementación de aditivo orgánico TerraSil + Cemento en cantera de material a nivel de afirmado perteneciente al cantón Guachapala se determinó que por cada kilómetro de estabilización tendrá un costo \$119189.70 para un periodo de 10 años, lo que anualmente se tiene un costo de \$11918.97 dando a conocer que existe un beneficio a largo plazo la implementación de aditivo TerraSil de acuerdo a la dosificación establecida que obtuvo el mejor resultado.

### 4.3 Conclusiones

En conclusión, el material de la cantera San Pedro perteneciente al Cantón Guachapala de acuerdo a los resultados obtenidos presenta un suelo regular a deficiente en sus características físico-mecánicas, siendo un material relativamente bajo para suelos empleados en pavimentos, ya que una de las principales características que posee el material son partículas planas y alargadas mismo que al ser compactado mediante martillo de 10 libras al aplicar el ensayo, estas tienden a romperse.

De acuerdo a la litología el material clasificación meta – volcánicas de San Francisco siendo un estrato prácticamente impermeable, y al realizar el ensayo de permeabilidad del material en condiciones naturales por un tiempo de 47 días llegando únicamente a la saturación, pero implementar dosificaciones de aditivo de  $1 \text{ kg/m}^3$  de aditivo más 1% de cemento se obtuvo el mejor resultado manteniéndose el material en seco aparentemente por formación de la nanomembrana que trata de impedir el paso del agua.

Respecto al Índice de Plasticidad se tiene cambios considerables mediante las dosificaciones de 0.5 kg de aditivo se logra reducir el 5.76%, con 1% kg de aditivo reduce el 8.79%, y con 1% kg de aditivo más 1% de cemento se obtuvo el 10.36% a comparación del material en condiciones naturales que presento un IP de 25.06%.

El ensayo de CBR al 95% mediante la dosificación de  $1 \text{ kg/m}^3$  de aditivo más 1% de cemento proporciono el mejor resultado del 23%, con 0.5 kg de aditivo tuvo un CBR de 6.00% y con 1 kg de aditivo el CBR fue de 10.25% a comparación al material en condiciones naturales el CBR fue de 4.2%

La expansión se obtuvo considerable al dosificar con  $1 \text{ kg/m}^3$  de aditivo más 1% de cemento siendo el mejor resultado respecto al material en condiciones naturales pasando de un

valor de 3.56% a 0.86%, 3.40% a 0.78% y de 2.90% a 0.70% para las muestras de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, resultando disminuir la expansividad.

En cuanto al estudio de costo – beneficio se determinó que el costo inicial de construcción para el lastrado de 1 km de vía con el material de la cantera San Pedro es de 13544.47 dólares y el costo global actualizado para 2 lastrados anuales, 3 años de periodo de diseño y 10 años de periodo de análisis económico con una tasa de decrecimiento del 12% asciende a un valor de 166166.19 dólares lo que significa 16616.61 dólares al año.

Con el mismo criterio anterior se determinó el costo del lastrado estabilizado mediante el aditivo TerraSil con la dosificación seleccionada de 1Kg/m<sup>3</sup> de aditivo + 1% de cemento, en donde se obtiene un monto de 49204.67 dólares por 3 años y el costo en los 10 años muestra un incremento a 119189.70 dólares, lo que anualmente representa un valor de 11918.97 dólares.

Al comparar este tipo de estabilización con respecto a una con cemento o a un tratamiento superficial bituminoso, el aditivo TerraSil provoca la reducción del paso del agua mientras que una estabilización con cemento busca aumentar principalmente el valor de CBR pero las propiedades de permeabilidad no mejoran, en cuanto al tratamiento superficial bituminoso el costo es mucho más a pesar de que la vida útil es mayor y se busca brindar una solución adaptada a la realidad económica del país.

#### 4.4 Recomendaciones

Se recomienda que al momento de realizar los ensayos de laboratorio respectivos se separe el material catalogado como consolidado debido a que si se ocupa en el proceso de tamizaje consta como material grueso y al momento de compactar la muestra con el martillo de 10 libras se disgrega comportándose como un material fino lo que causa datos erróneos.

Se recomienda colocar algún tipo de sello asfáltico con el objetivo de conservar una vida útil prolongada por mayor tiempo al establecido, evitando que el material estabilizado no se desprenda debido a la fricción de los neumáticos con la calzada, sin embargo, hay que considerar que el precio subiría y se debería realizar otro análisis que determine la viabilidad del proyecto.

Se recomienda comprobar con otras investigaciones la durabilidad que menciona el proveedor del aditivo TerraSil realizando un diseño de pavimentos que contemple parámetros como el coeficiente estructural del material y el TPDA de la vía analizada.

Se recomienda no disminuir el espesor de la capa del material debido a que este no presenta una granulometría definida y el proceso de lastrado usa el material tal y como se encuentra en la cantera lo que dificulta conocer el tamaño máximo del agregado y no se puede garantizar que los agregados conformen un espesor de capa adecuado.

Se recomienda que una vez analizado las mejoras que se puede obtener mediante la implementación de aditivo TerraSil en el incremento del CBR de materiales arcillosos, realizar ensayos referentes al aumento de capacidad portante de un suelo en la mejora de la cohesión y del ángulo de fricción interno a través de ensayos de corte directo en condición consolidado drenado para fines de construcción de edificaciones.

## Referencias

- Arenas, L. M. (2018). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de Empleo de Mezclas Asfálticas Modificadas con Nanotecnología Para el Mejoramiento de la Estructura de Pavimento Flexible en la Construcción de los Terceros Carriles de la Vía Bucaramanga-Cuestaboba.
- ASTM C-316-01. (2001). Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos. *American Society for Testing and Materials*, 13.
- ASTM D1557. (2007). Compactación de suelos utilizando energía modificada (Proctor modificado). *American Society for Testing and Materials (ASTM) D1557*, 13.
- ASTM D1883. (2009). Métodos de Ensayos de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. *American Society for Testing and Materials (ASTM) D1883*, 6.
- ASTM D4318. (2005). Métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos. *American Society For Testing and Materials (ASTM) 4318*, 32.
- ASTM D5084. (2002). Ensayo de permeámetro de carga variable. *American Society for Testing and Materials (ASTM) D5084*, 9.
- Bowles, J. E. (1982). *Propiedades Geofísicas de los Suelos*.
- Braja M. Das. (2015). *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: Ceage Learning.
- Cárdenas, J. L. (2019). *Universidad César Vallejo*. Obtenido de Optimización del afirmado de la cantera La Campana incorporando TerraSil con propósito de pavimentación en los Jardines de Shangrila – Puente Piedra, Lima 2019.

- Condori López, C. (2018). *Realizar la comparación entre material de subrasante natural e incluyendo Terrasil, para evaluar su comportamiento relacionado con la densidad y humedad.* Obtenido de [https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=11513](https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=11513)
- ecologia, I. d. (s.f.). *INECOL.* Obtenido de INECOL: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1175-el-contenido-de-agua-en-el-suelo-su-importancia>
- Espinoza, M. S. (2021). *Universidad Privada Del Norte.* Obtenido de Caracterización del uso de estabilizantes químicos para mejorar la capacidad portante del pavimento a nivel de afirmado y propuesta de aplicación, Cajamarca 2021.
- FAO. (2016). *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* Obtenido de [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)
- Fernandez, K. E. (2022). *Universidad César Vallejo.* Obtenido de Aplicación de terrasil en la estabilización del suelo de subbase en la ampliación de la Av. Ramiro Prialé, Ate Vitarte.
- Geoxnet. (6 de Octubre de 2014). *Mecanica de Suelos* . Obtenido de <https://post.geoxnet.com/mecanica-de-suelos/>
- Guachapala, G. A. (2022). *Estudio de Explotacion de Cantera San Pedro.* Guachapala.
- Guachapala, G. M. (2014 - 2027). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial* . Cantón Guachapala.
- Isidro, C. u. (s.f.). *Ciudad universitaria virtual de San Isidro.* Obtenido de <https://www.cuvsu.com/2016/04/ensayo-proctor-de-un-suelo-practica.html>

- Juárez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Tomo 1: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Karumanchi, M., Nerella, R., & Rangaswamy, K. (2020). Stabilization of soft-clay using nanomaterial: Terrasil. *Materials Today: Proceedings*, 8.
- Librería del Ingeniero. (2018). *Librería del ingeniero*. Obtenido de <https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/analisis-granulometrico-por-tamizado.html>
- Ministerio de Agricultura, G. A. (2005). *Hidrogeología del Cantón Guachapala*.
- Ministerio De Obras Publicas. (2002). *Especificaciones Generales Para La Construcción de Camino y Puentes*. Quito, Ecuador. Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- Montalar, E. (17 de Enero de 2010). *Enrique Montalar en Geotecnia*. Obtenido de <https://enriquemontalar.com/limites-de-atterberg/>
- Montejo Piratova, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos Para Carreteras*. Bogotá.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá.
- Nandan, P., Prof, M., & Vasu, P. (2017). Scientifically surveying the usage of terrasil chemical for soil stabilization. *International journal of research in advent technology*, Vol 3, No. 6, June 2015, 8.
- Padmavathi, Nirmala, P., Rao, & Padmavathi. (2019). Stabilization of soil using Terrasil, Zycobond and Cement as admixtures. *Springer Nature Switzerland Ag 2019*, 8.
- Panchana, L. N., & Baquerizo, J. O. (2019). *Universidad estatal Península de Santa Elena*. Obtenido de Análisis comparativo de la estabilización del material de la cantera "La negrita" utilizando cemento, Terrasil, Zycobond.

- Perez, L. (2014). *Tutorial de Sistemas de Informacion Geografica QUANTUM GIS*.
- PRECUPA. (1998). *Prevencion de Desastres Naturales en la Cuenca del Rio Paute, Geologia Cuenca*.
- QGIS. (s.f.). *Sistemas de Informacion Geografica QGIS*.
- Quevedo Pesantez, F. D., Avila Calle, M. B., & Calle Castro, C. J. (23 de Enero de 2021). Analisis de costos entre estabilizacion suelo cemento y el mantenimiento periodico de vias rurales en la Provincia del Cañar. 18. doi: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1678>
- Rodriguez Vincés, D. I. (2016). *Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizandod productos quimicos biodegradables (TERRASIL), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, Provincia de los Rios*. Cantón Quevedo.
- Simeon Cañas, J. (s.f.). *Analisis de Tamaño de Particulas por Tamizado en Agregado Fino y Grueso y Determinacion de Material mas Fino que el Tamiz No. 200 (75 µm) en Agregado Mineral por Lavado*. Universidad Centro America.
- Universidad de Guanajuato. (2017). *Propiedades Básicas de los Suelos*. Obtenido de [http://www.plataformadigitaldi.ugto.mx/ova/curva\\_granulometrica.html](http://www.plataformadigitaldi.ugto.mx/ova/curva_granulometrica.html)
- Vanegas Taborda, D. L. (2020). *Evaluación ambiental del efecto del uso de aditivos químicos en la estabilización de suelos viales*. Medellín, Colombia.
- Vincés, D. I. (2017). *Universidad Técnica De Ambato*. Obtenido de Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (terrasil), de la vía ecológica del cantón quevedo, provincia de Los Ríos.

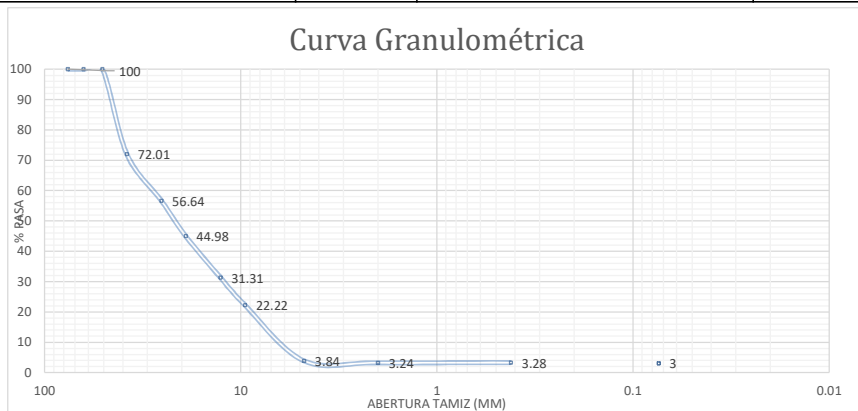
## **Anexos**

## ANEXO 1. Análisis Granulométrico por Tamizado

 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco José Darquea Córdova
<b>FECHA:</b>	4 de Enero del 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RET. ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2	0	0	-	-		
2 1/2"	63.5	0	0	-	-		
2"	50.8	0	0	-	-		
1 1/2"	38.1	3393	3393	27.99	72.01		
1"	25.4	1863	5256	43.36	56.64		
3/4"	19.1	1414.5	6670.5	55.02	44.98		
1/2"	12.7	1656.5	8327	68.69	31.31		
3/8"	9.52	1102	9429	77.78	22.22		
Nº4	4.76	2228.5	11657.5	96.16	3.84		
<b>PASA No4 (Fondo)</b>		3320					
10	2	88	88	96.76	3.24		
40	0.42	83.5	171.5	96.72	3.28		
200	0.074	32	203.5	97	3		
<b>FONDO</b>		5					
<b>TOTAL</b>		15186					

<b>Peso antes del ensayo (gramos) =</b>	15200	<b>Peso húmedo antes del lavado (gramos) =</b>	500
<b>Peso después del ensayo (gramos) =</b>	15186	<b>Peso seco antes del lavado (gramos) =</b>	465.5
<b>% Humedad=</b>	7.44	<b>Peso seco después del lavado (gramos) =</b>	208.5




Ing. Marcos González

LABORATORISTA

## ANEXO 2: Límites de Atterberg de Material en Condiciones Naturales

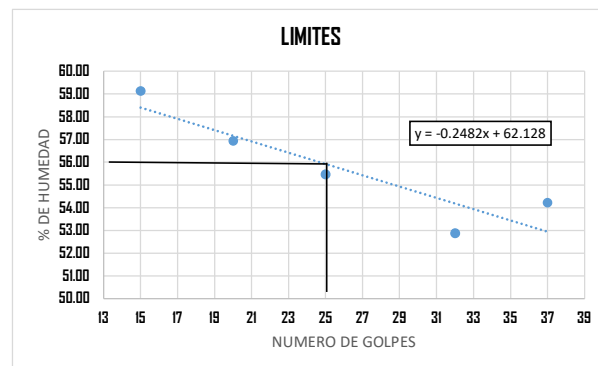
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>LIMITES DE ATTERBERG MATERIAL EN CONDICIONES NATURALES</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco José Darquea Córdova
<b>FECHA:</b>	5 de Enero del 2023

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	2	20	50	10	7
N. DE GOLPES	37	32	25	20	15
M.HUEDAD+TARRO	32.05	31.05	32.09	33.31	36.96
M.SECA+TARRO	28.26	27.92	28.18	29.04	32.46
PESO DEL AGUA	3.79	3.13	3.91	4.27	4.5
PESO DEL TARRO	21.27	22	21.13	21.54	24.85
PESO MUESTRA SECA	6.99	5.92	7.05	7.5	7.61
% DE HUMEDAD	54.22	52.87	55.46	56.93	59.13

LIMITE LIQUIDO 55.923

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	209	V5	78	203
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	14.14	15.23	6.82	6.88
M.SECA+TARRO	13.49	14.54	6.17	6.28
PESO DEL AGUA	0.65	0.69	0.65	0.6
PESO DEL TARRO	11.41	12.31	4.09	4.28
PESO MUESTRA SECA	2.08	2.23	2.08	2
% DE HUMEDAD	31.25	30.94	31.25	30.00


LIMITE PLASTICO 30.86




Ing. Marcos Gonzalez

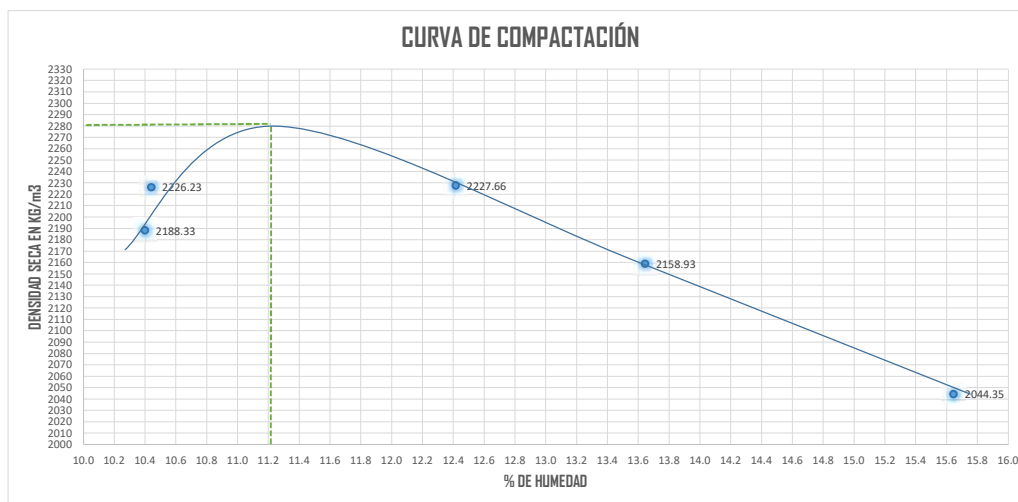
LABORATORISTA

## ANEXO 3: Ensayo de Proctor Modificado

 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>PROCTOR MODIFICADO</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco Jose Darquea Cordova
<b>FECHA:</b>	4 de Enero del 2023

ENSAYO DE COMPACTACIÓN					
DATOS DE LA CURVA					
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	9	15	21	24	27
AGUA AUMENTADA EN CC	282	390	495	545	600
PESO MOLDE CILÍNDRICO + SUELO HÚMEDO	1068	1159	1256	1148	10958
PESO MOLDE CILÍNDRICO SIN COLLARIN	5927	5927	5927	5927	5927
PESO SUELO HÚMEDO	5141	5232	5329	5221	5031
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	2128	2128	2128	2128	2128
DENSIDAD HÚMEDA EN KG/M3	2415.88	2458.65	2504.23	2453.48	2364.19

CONTENIDO DE HUMEDAD										
NÚMERO DEL TARRO	B	A	22	T 08	S 2	J D	T 2	T 04	L 3	E 3 J
PESO DEL TARRO MAS SUELO HÚMEDO	114.62	132.89	126.35	113.53	127.23	155.41	112.73	103.46	128.28	154.61
PESO DEL TARRO MAS SUELO SECO	108.97	125.12	118.21	106.86	117.92	146.87	105.06	93.82	117.72	141.39
PESO DEL AGUA	5.65	7.77	8.14	6.67	9.31	8.54	7.67	9.64	10.56	13.22
PESO DEL TARRO	52.66	52.93	43.27	40.28	53.04	65.39	43.06	29.19	53.05	53.03
PESO DEL SUELO SECO	56.31	72.19	74.94	66.58	64.88	81.48	62	64.63	64.67	88.36
CONTENIDO DE AGUA EN %	10.03	10.76	10.86	10.02	14.35	10.48	12.37	14.92	16.33	14.96
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA EN %	10.40		10.44		12.42		13.64		15.65	
DENSIDAD SECA EN KG/M3	2188.33		2226.23		2227.66		2158.93		2044.35	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (KG/m3)	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
2280	11.2



Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

## ANEXO 4: Ensayo CBR Material en Condiciones Naturales

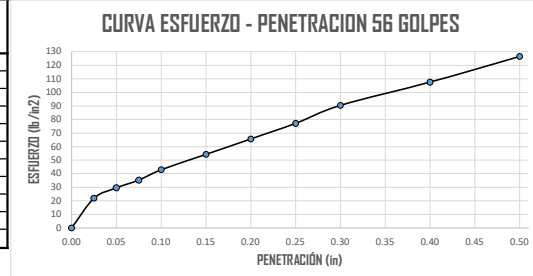
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
<b>CBR - MATERIAL EN CONDICIONES NATURALES</b>		
Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del		
Canton Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos		
PROYECTO:	Cantera San Pedro	
MUESTRA:	Ing. Francisco Jose Darquea Cordova	
SOLICITADO POR :	10 de Enero del 2023	
FECHA:		

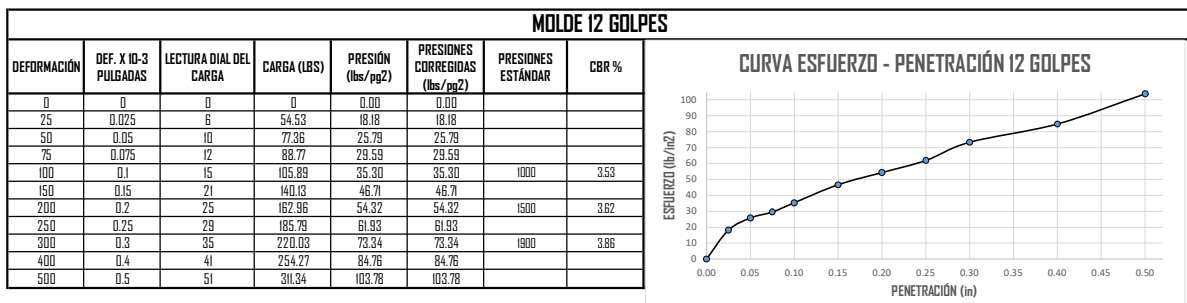
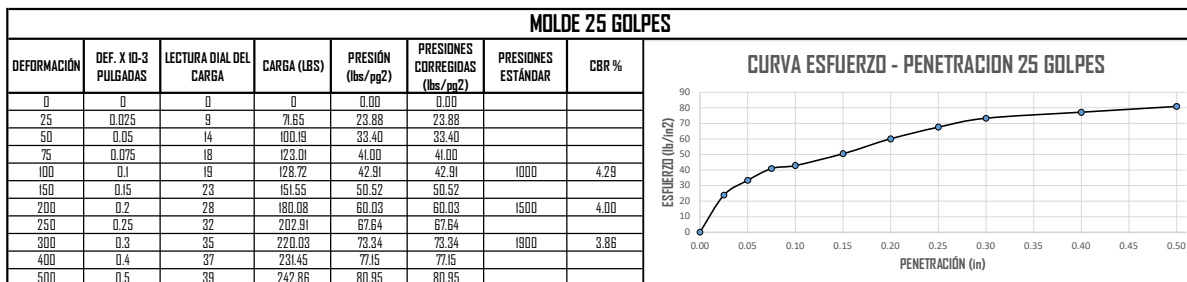
ENSAYO CBR						
MOLDE Nº	LP1		LP2		LP3	
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	12176.5	12587.5	11376.5	11841.5	10458	10947
PESO DEL MOLDE	6909	6909	85668.5	6668.5	6035.5	6035.5
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	5267.5	5678.5	4708	5173	4422.5	4911.5
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2310	2392.24	2308.15	2388.54	2279.12	2376.99
DENSIDAD HÚMEDA	2280.30	2373.72	2039.73	2165.76	1940.44	2066.27
DENSIDAD SECA	2080.00	2086.26	1866.00	1831.18	1783.00	1695.77
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO						
TARRO Nº	T 4	I N	T 23	B	59	14
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	93.92	120.61	97.15	83.65	85.92	81.26
PESO MUESTRA SECA + TARRO	89.37	114.88	93.64	80.05	82.74	78.06
PESO DEL AGUA	4.55	5.73	3.51	3.6	3.18	3.2
PESO DEL TARRO	43.98	52.88	52.96	43.93	44.36	43.82
PESO MUESTRA SECA	45.39	62	40.68	36.12	38.38	34.24
CONTENIDO DE HUMEDAD	10.02	9.24	8.63	9.97	8.29	9.35
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	9.63		9.30		8.82	
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOJO						
TARRO Nº	B	S 1	A	J 3 D	S 2	T 08
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	126	107.8	103.5	135.6	96.7	108.1
PESO MUESTRA SECA + TARRO	117.51	99.63	95.73	124.69	88.27	96.88
PESO DEL AGUA	8.49	8.17	7.77	10.91	8.43	11.22
PESO DEL TARRO	52.6	43.2	52.9	65.4	53	40.2
PESO MUESTRA SECA	64.91	56.43	42.83	59.29	35.27	56.68
CONTENIDO DE HUMEDAD	13.08	14.48	18.14	18.40	23.90	19.80
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	13.78		18.27		21.65	
% DE ABSORCIÓN	4.15		8.97		13.03	

DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
09/01/2023	12:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	5	0	0
10/01/2023	14:22	1	55	5.055	0.055	1.10	60	5.06	0.06	1.2	55	5.055	0.055	1.1
11/01/2023	14:45	2	110	5.11	0.11	2.20	117	5.117	0.117	2.34	102	5.102	0.102	2.04
12/01/2023	15:00	3	145	5.145	0.145	2.90	139	5.139	0.139	2.78	132	5.132	0.132	2.64
13/01/2023	13:30	4	178	5.178	0.178	3.56	170	5.17	0.17	3.4	145	5.145	0.145	2.9

### DATOS DE PENETRACIÓN

MOLDE 56 GOLPES							
DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	8	65.95	21.98	21.98		
50	0.05	12	88.77	29.59	29.59		
75	0.075	15	105.89	35.30	35.30		
100	0.1	19	128.72	42.91	42.91	1000	4.29
150	0.15	25	162.96	54.32	54.32	1500	4.38
200	0.2	31	197.2	65.73	65.73	1900	4.76
250	0.25	37	231.45	77.15	77.15		
300	0.3	44	271.39	90.46	90.46		
400	0.4	53	322.76	107.59	107.59		
500	0.5	63	378.82	126.61	126.61		





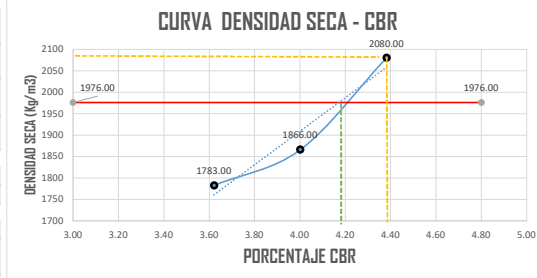
### CBR DE DISEÑO

	CBR %	DENSIDADES SECAS
MOLDE 56 GOLPES	4.38	2080.00
MOLDE 25 GOLPES	4.00	1866.00
MOLDE 12 GOLPES	3.62	1783.00

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	2080.00	1976.00

CBR PARA EL 95%
4.20

3	1976.00
4.8	1976.00



*Marcos González*

Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

## ANEXO 5: Ensayo CBR Incorporación 0.5 kg/m<sup>3</sup> TerraSil

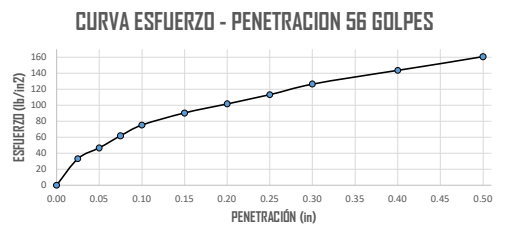
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>CBR - INCORPORACION 0.5 kg/m<sup>3</sup> TerraSil</b>
Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos	
PROYECTO: MUESTRA: SOLICITADO POR : FECHA:	Cantera San Pedro Ing. Francisco José Darquea Córdova 19 de Enero del 2023

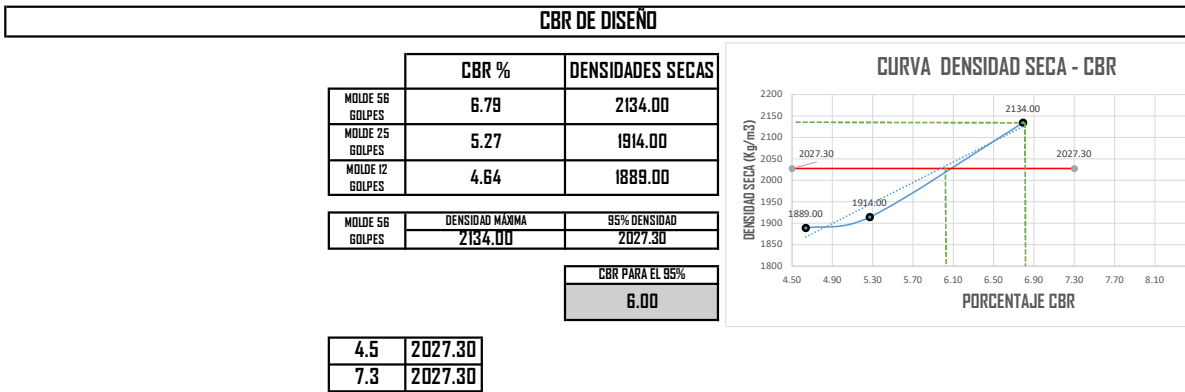
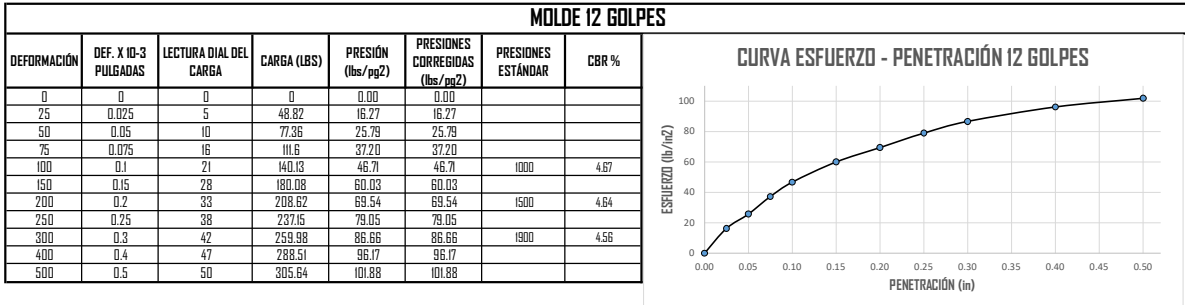
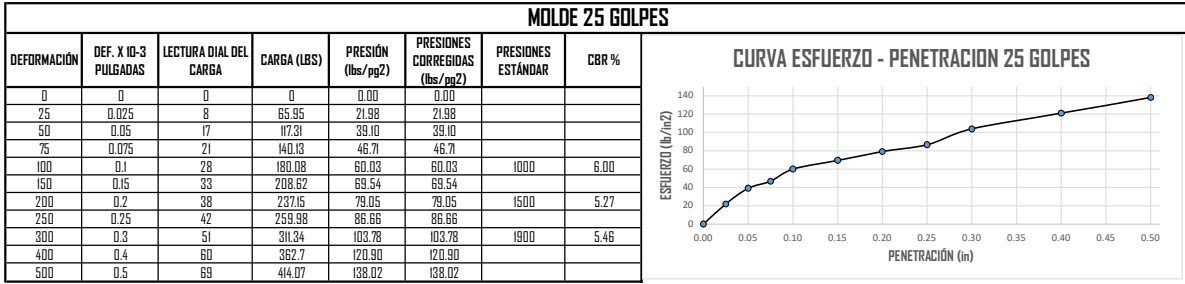
ENSAYO CBR						
MOLDE Nº	LP1		LP2		LP3	
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	1215.5	12587.5	11455.5	11858.5	10588	11003.5
PESO DEL MOLDE	6909	6909	6668.5	6668.5	6035.5	6035.5
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	5206.5	5678.5	4787	5190	4552.5	4968
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2310	2379.30	2308.15	2372.37	2279.12	2384.516
DENSIDAD HÚMEDA	2253.90	2386.63	2073.96	2187.69	1997.48	2101.06
DENSIDAD SECA	2134.00	2079.71	1914.00	1736.81	1889.00	1837.44
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO						
TARRO Nº	J 0 3	A	T 0 5	M	L 3	T 2
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	149.06	161.19	96.44	127.17	179.34	162.6
PESO MUESTRA SECA + TARRO	143.97	156.27	91.06	120.5	172.74	155.82
PESO DEL AGUA	5.09	4.92	5.38	6.67	6.6	6.78
PESO DEL TARRO	65.4	52.9	25.03	43	53.04	43.05
PESO MUESTRA SECA	78.57	103.37	66.03	77.5	119.7	112.77
CONTENIDO DE HUMEDAD	6.48	4.76	8.15	8.61	5.51	6.01
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	5.62		8.38		5.76	
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOJO						
TARRO Nº	8	B	T N	S 9	T 23 C 2	0 7
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	101.27	90.95	116.35	94.13	120.97	106.93
PESO MUESTRA SECA + TARRO	94.65	85.17	107.53	86.56	112.5	98.5
PESO DEL AGUA	6.62	5.78	8.82	7.57	8.47	8.43
PESO DEL TARRO	52.6	43.2	52.9	65.4	53	40.2
PESO MUESTRA SECA	42.05	41.97	54.63	21.16	59.5	58.3
CONTENIDO DE HUMEDAD	15.74	13.77	16.14	35.78	14.24	14.46
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	14.76		25.96		14.35	
% DE ABSORCIÓN	9.14		17.58		8.58	

DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
09/01/2023	12:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	5	0	0
10/01/2023	14:22	1	40	5.04	0.04	0.80	33	5.033	0.033	0.66	25	5.025	0.025	0.5
11/01/2023	14:45	2	85	5.085	0.085	1.70	69	5.069	0.069	1.38	62	5.062	0.062	1.24
12/01/2023	15:00	3	126	5.126	0.126	2.52	98	5.098	0.098	1.96	96	5.096	0.096	1.92
13/01/2023	13:30	4	150	5.15	0.15	3.00	135	5.135	0.135	2.7	118	5.118	0.118	2.38

### DATOS DE PENETRACIÓN


MOLDE 56 GOLPES							
DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	14	100.19	33.40	33.40		
50	0.05	21	140.13	46.71	46.71		
75	0.075	29	185.79	61.93	61.93		
100	0.1	36	225.74	75.25	75.25	1000	7.52
150	0.15	44	271.39	90.46	90.46		
200	0.2	50	305.64	101.88	101.88	1500	6.79
250	0.25	56	339.88	113.29	113.29		
300	0.3	63	379.82	126.61	126.61	1800	6.66
400	0.4	72	431.19	143.73	143.73		
500	0.5	81	482.55	160.85	160.85		





Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

ANEXO 6: Límites de Atterberg Incorporación 0.5 kg/m<sup>3</sup> TerraSil

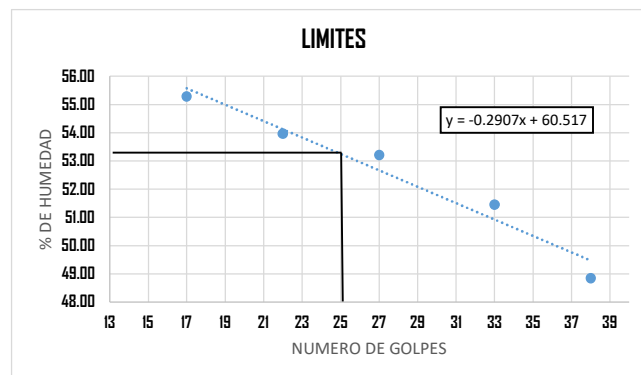
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>LIMITES DE ATTERBERG INCORPORACION-0.5 Kg/m<sup>3</sup> TerraSil</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco José Darquea Córdova
<b>FECHA:</b>	19 de Enero del 2023

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	P8	P11	P1	P4	P14
N. DE GOLPES	38	33	27	22	17
M.HUEDAD+TARRO	21.01	21	22.49	25.05	23.72
M.SECA+TARRO	17.63	17.28	18.43	20.01	18.96
PESO DEL AGUA	3.38	3.72	4.06	5.04	4.76
PESO DEL TARRO	10.71	10.05	10.8	10.67	10.35
PESO MUESTRA SECA	6.92	7.23	7.63	9.34	8.61
% DE HUMEDAD	48.84	51.45	53.21	53.96	55.28

LIMITE LIQUIDO 53.25

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	P 3	P 2	P 10	P 12
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	11.97	13.83	15	15.9
M.SECA+TARRO	11.49	12.94	14.17	15.17
PESO DEL AGUA	0.48	0.89	0.83	0.73
PESO DEL TARRO	10.05	10.44	11.76	12.92
PESO MUESTRA SECA	1.44	2.5	2.41	2.25
% DE HUMEDAD	33.33	35.60	34.44	32.44

LIMITE PLASTICO 33.95




Ing. Marcos Gonzalez

LABORATORISTA

## ANEXO 7: Ensayo CBR Incorporación 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil

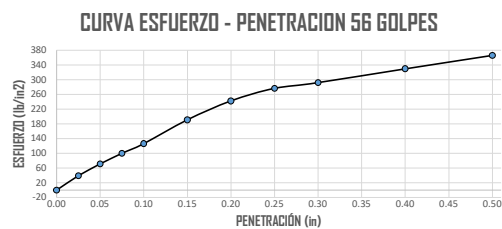
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
<b>CBR - INCORPORACION 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil</b>		
Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos		
PROYECTO:	Cantera San Pedro	
MUESTRA:	Ing. Francisco José Darquea Córdova	
SOLICITADO POR :	19 de Enero del 2023	
FECHA:		

ENSAYO CBR						
MOLDE Nº	B 25/9		K. A 58/5		250 19/35	
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	11420.5	1174	12056	12328	11778	12166
PESO DEL MOLDE	6313.5	6313.5	7215	7215	7278.5	7278.5
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	5107	5400.5	4841	5113	4499.5	4887.5
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2306.33	2351.53	2306.33	2346.46(142)	2306.33	2344.1538(2)
DENSIDAD HÚMEDA	2214.34	2296.59	2089.01	2179.03	1950.94	2084.97
DENSIDAD SECA	2057.00	2041.43	1953.00	1910.04	1821.00	1796.23
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO						
TARRO Nº	D 7	T 23 C2	1 N	58	B	O 6
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	128.6	154.34	167.81	158.4	154.81	179.28
PESO MUESTRA SECA + TARRO	121.61	148.38	159.39	151.95	146.94	171.44
PESO DEL AGUA	6.99	5.96	8.42	6.45	7.87	7.84
PESO DEL TARRO	44.08	52.97	52.88	44.37	43.93	52.7
PESO MUESTRA SECA	77.53	95.41	106.51	107.58	103.01	118.74
CONTENIDO DE HUMEDAD	9.02	6.25	7.91	6.00	7.64	6.60
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	7.63		6.95		7.12	
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOJO						
TARRO Nº	D 6	21 A L	M	L 3	A	A 6
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	115.82	104.75	122.66	106.61	145.85	99.61
PESO MUESTRA SECA + TARRO	108.61	98.12	113.93	98.76	131.87	92.55
PESO DEL AGUA	7.21	6.63	8.73	7.25	13.98	7.06
PESO DEL TARRO	52.96	43.06	43	53.04	52.9	43.68
PESO MUESTRA SECA	55.65	55.06	70.93	45.72	78.97	48.87
CONTENIDO DE HUMEDAD	12.96	12.04	12.31	15.86	17.70	14.45
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	12.50		14.08		16.07	
% DE ABSORCIÓN	4.87		7.13		8.95	

DATOS DE ESPONJAMIENTO															
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES				
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTIMETRA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTIMETRA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	LECTURA DIAL PULGADAS	ALTIMETRA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO PULGADAS	%	
09/01/2023	12:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	0	5	0	0
10/01/2023	14:22	1	35	5.035	0.035	0.70	26	5.026	0.026	0.52	21	5.021	0.021	0.42	
11/01/2023	14:45	2	55	5.055	0.055	1.10	49	5.049	0.049	0.98	36	5.036	0.036	0.72	
12/01/2023	15:00	3	73	5.073	0.073	1.46	67	5.067	0.067	1.34	55	5.055	0.055	1.1	
13/01/2023	13:30	4	98	5.098	0.098	1.96	87	5.087	0.087	1.74	82	5.082	0.082	1.64	

### DATOS DE PENETRACIÓN

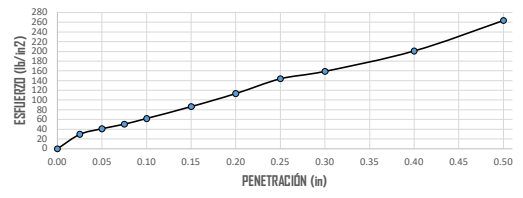
MOLDE 56 GOLPES							
DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pg <sup>2</sup> )	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	17	117.31	39.10	39.10		
50	0.05	34	214.32	71.44	71.44		
75	0.075	49	299.93	99.98	99.98		
100	0.1	63	378.82	126.61	126.61	1000	12.66
150	0.15	97	573.86	191.29	191.29		
200	0.2	124	727.95	242.65	242.65	1500	16.18
250	0.25	142	830.67	276.89	276.89		
300	0.3	150	876.33	292.11	292.11	1800	15.37
400	0.4	170	990.46	330.15	330.15		
500	0.5	189	1098.89	366.30	366.30		



**MOLDE 25 GOLPES**

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pp2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pp2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	12	88.77	29.59	29.59		
50	0.05	18	123.01	41.00	41.00		
75	0.075	23	151.55	50.52	50.52		
100	0.1	29	185.79	61.93	61.93	1000	6.19
150	0.15	42	259.98	86.66	86.66		
200	0.2	56	339.88	113.29	113.29	1500	7.55
250	0.25	72	431.19	143.73	143.73		
300	0.3	80	476.84	158.95	158.95	1900	8.37
400	0.4	102	602.39	200.80	200.80		
500	0.5	135	790.72	263.57	263.57		

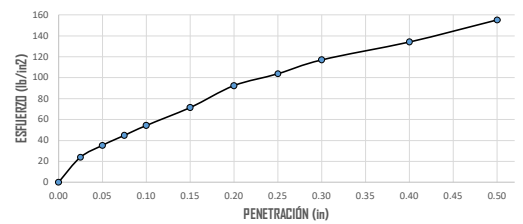
**CURVA ESFUERZO - PENETRACION 25 GOLPES**



**MOLDE 12 GOLPES**

DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/pp2)	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/pp2)	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	9	71.65	23.88	23.88		
50	0.05	15	105.89	35.30	35.30		
75	0.075	20	134.43	44.81	44.81		
100	0.1	25	162.96	54.32	54.32	1000	5.43
150	0.15	34	214.32	74.44	74.44		
200	0.2	45	277.1	92.37	92.37	1500	6.16
250	0.25	51	311.34	103.78	103.78		
300	0.3	58	351.29	117.10	117.10	1900	6.16
400	0.4	67	402.65	134.22	134.22		
500	0.5	78	465.43	155.14	155.14		

**CURVA ESFUERZO - PENETRACION 12 GOLPES**



**CBR DE DISEÑO**

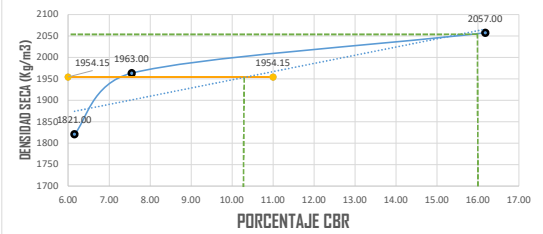
	CBR %	DENSIDADES SECAS
MOLDE 56 GOLPES	16.18	2057.00
MOLDE 25 GOLPES	7.55	1963.00
MOLDE 12 GOLPES	6.16	1821.00

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	2057.00	1954.15

CBR PARA EL 95%  
**10.25**

6	1954.15
11	1954.15

**CURVA DENSIDAD SECA - CBR**



Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

## ANEXO 8: Límites de Atterberg Incorporación 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil

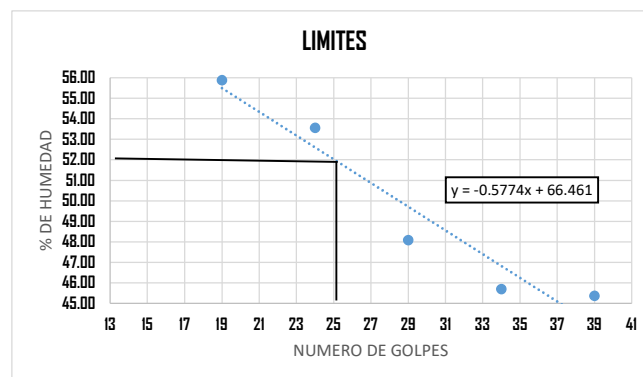
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>LIMITES DE ATTERBERG INCORPORACION 1 Kg/m<sup>3</sup> TerraSil</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco José Darquea Córdova
<b>FECHA:</b>	19 de Enero del 2023

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	12A	T 2	12:00 AM	12:00 AM	F L A
N. DE GOLPES	39.00	34.00	29.00	24.00	19.00
M.HUEDAD+TARRO	34.15	30.54	33.19	39.54	39.00
M.SECA+TARRO	30.38	27.51	29.56	34.42	32.58
PESO DEL AGUA	3.77	3.03	3.63	5.12	6.42
PESO DEL TARRO	22.07	20.88	22.01	24.86	21.09
PESO MUESTRA SECA	8.31	6.63	7.55	9.56	11.49
% DE HUMEDAD	45.37	45.70	48.08	53.56	55.87

LIMITE LIQUIDO 52.03

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	P 5	P 6	P 7	3
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	11.36	12.83	12.59	13.56
M.SECA+TARRO	11.06	12.33	12.2	13.18
PESO DEL AGUA	0.3	0.5	0.39	0.38
PESO DEL TARRO	10.23	10.96	11.06	12.13
PESO MUESTRA SECA	0.83	1.37	1.14	1.05
% DE HUMEDAD	36.14	36.50	34.21	36.19

LIMITE PLASTICO 35.76




Ing. Marcos Gonzalez

LABORATORISTA

## ANEXO 9: Ensayo CBR Incorporación 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil + 1% Cemento

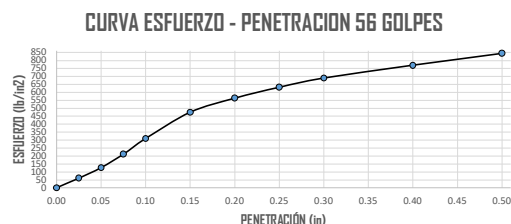
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
<b>CBR - INCORPORACION 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil + 1% Cemento</b>		
Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del		
PROYECTO:	Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos	
MUESTRA:	Cantera San Pedro	
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco José Darquea Córdova	
FECHA:	19 de Enero del 2023	

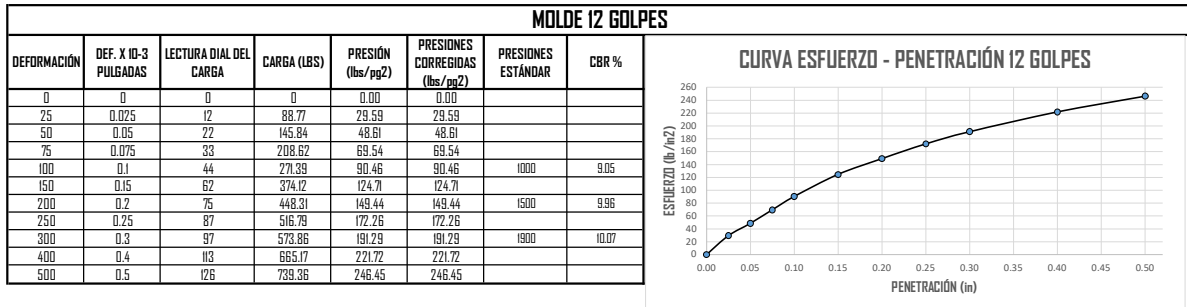
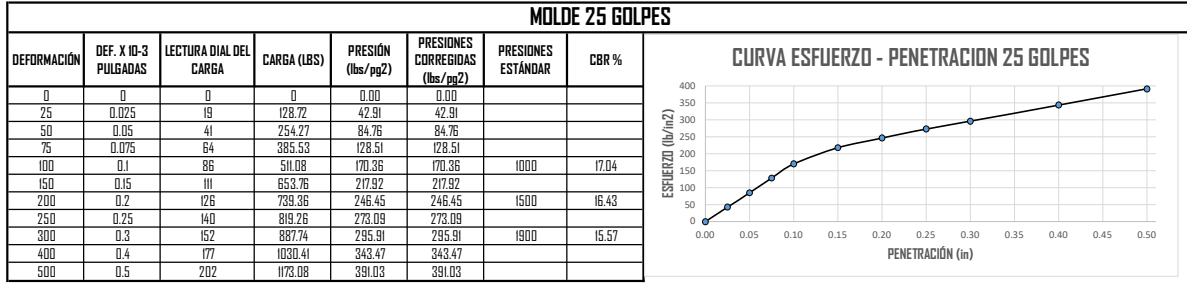
ENSAYO CBR						
MOLDE Nº	C1/25/25-2		1/C12		C2/56 DCP	
NÚMERO DE CAPAS	5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
MUESTRA COMPACTADA	ANTES DEL REMOLJO	DESPUÉS DEL REMOLJO	ANTES DEL REMOLJO	DESPUÉS DEL REMOLJO	ANTES DEL REMOLJO	DESPUÉS DEL REMOLJO
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	11473	11721	10773.5	11128	10690	11084.5
PESO DEL MOLDE	6413	6413	5968.5	5968.5	6223	6223
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	5060	5308	4805	5159.5	4467	4861.5
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2321.53	2341.50	2333.55	2339.637934	2321.53	2337.7807
DENSIDAD HÚMEDA	2179.60	2266.93	2059.09	2205.26	1924.16	2078.54
DENSIDAD SECA	2002.00	1996.49	1897.00	1889.78	1764.00	1784.95
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOLJO						
TARRO Nº	T 04	A 6	18	100	T T	12
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	119.26	174.78	118.93	117.13	135.91	127.73
PESO MUESTRA SECA + TARRO	110.58	166.11	112.01	110.04	127.3	119.28
PESO DEL AGUA	8.68	8.67	6.92	7.09	8.61	8.45
PESO DEL TARRO	29.19	43.69	29.37	29.06	29.35	29.4
PESO MUESTRA SECA	81.39	122.42	82.64	80.98	97.95	89.88
CONTENIDO DE HUMEDAD	10.66	7.08	8.37	8.76	8.79	9.40
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	8.87		8.56		9.10	
CONTENIDO DE AGUA DESPUÉS DEL REMOLJO						
TARRO Nº	J 3 D	T 08	P E 2	T 14	T 09	T 07
PESO MUESTRA HÚMEDA + TARRO	142.64	105.44	99.03	81.44	106.73	87.16
PESO MUESTRA SECA + TARRO	133.22	97.84	89.15	73.52	96.4	79.7
PESO DEL AGUA	9.42	7.6	9.88	7.92	10.33	7.45
PESO DEL TARRO	65.39	40.28	25.03	29.47	39.02	30.06
PESO MUESTRA SECA	67.83	57.56	64.12	44.05	57.38	49.65
CONTENIDO DE HUMEDAD	13.89	13.20	15.41	17.98	18.00	15.01
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO	13.55		15.69		16.50	
% DE ABSORCIÓN	4.67		8.13		7.41	

DATOS DE ESPONJAMIENTO														
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN DÍAS	MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES			
			LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL PULGADAS	ALTURA MUESTRA PULGADAS	ESPONJAMIENTO	
					PULGADAS	%			PULGADAS	%			PULGADAS	%
09/01/2023	12:30	0	0	5	0	0.00	0	5	0	0	0	5	0	0
10/01/2023	14:22	1	8	5.008	0.008	0.16	9	5.009	0.009	0.18	10	5.01	0.01	0.2
11/01/2023	14:45	2	17	5.017	0.017	0.34	22	5.022	0.022	0.44	19	5.019	0.019	0.38
12/01/2023	15:00	3	28	5.028	0.028	0.56	30	5.03	0.03	0.6	27	5.027	0.027	0.54
13/01/2023	13:30	4	43	5.043	0.043	0.86	39	5.039	0.039	0.78	35	5.035	0.035	0.7

DATOS DE PENETRACIÓN													
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MOLDE 56 GOLPES							
DEFORMACIÓN	DEF. X 10-3 PULGADAS	LECTURA DIAL DEL CARGA	CARGA (LBS)	PRESIÓN (lbs/ppg <sup>2</sup> )	PRESIONES CORREGIDAS (lbs/ppg <sup>2</sup> )	PRESIONES ESTÁNDAR	CBR %
0	0	0	0	0.00	0.00		
25	0.025	29	185.79	61.93	61.93		
50	0.05	63	379.82	126.61	126.61		
75	0.075	108	636.64	212.21	212.21		
100	0.1	159	927.69	309.23	309.23	1000	30.92
150	0.15	246	1424.19	474.73	474.73		
200	0.2	293	1692.41	564.14	564.14	1500	37.61
250	0.25	329	1897.86	632.62	632.62		
300	0.3	359	2069.07	689.69	689.69	1900	36.30
400	0.4	401	2308.76	769.59	769.59		
500	0.5	441	2537.03	845.68	845.68		





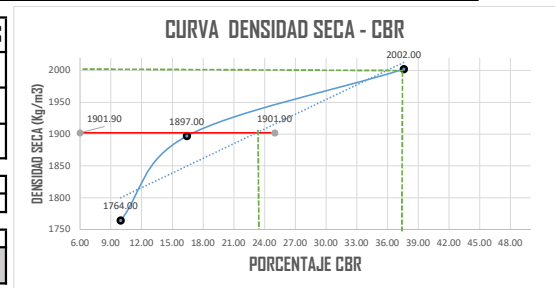
### CBR DE DISEÑO

	CBR %	DENSIDADES SECAS
MOLDE 56 GOLPES	<b>37.61</b>	<b>2002.00</b>
MOLDE 25 GOLPES	<b>16.43</b>	<b>1897.00</b>
MOLDE 12 GOLPES	<b>9.96</b>	<b>1764.00</b>

MOLDE 56 GOLPES	DENSIDAD MÁXIMA	95% DENSIDAD
	<b>2002.00</b>	<b>1901.90</b>

CBR PARA EL 95%
<b>23.00</b>

<b>6</b>	<b>1901.90</b>
<b>25</b>	<b>1901.90</b>



Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

## ANEXO 10: Límites de Atterberg Incorporación 1 kg/m<sup>3</sup> TerraSil+ 1% Cemento

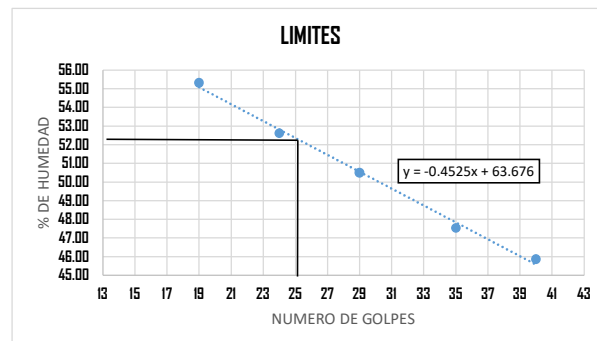
 Universidad Católica de Cuenca	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
	<b>LIMITES DE ATTERBERG INCORPORACION 1 Kg/m<sup>3</sup> TerraSil + 1% Cemento</b>
<b>PROYECTO:</b>	Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos
<b>MUESTRA:</b>	Cantera San Pedro
<b>SOLICITADO POR :</b>	Ing. Francisco José Darquea Córdova
<b>FECHA:</b>	19 de Enero del 2023

LIMITE LIQUIDO					
Tarro N	10	V3 - Z22	V6	209	202
N. DE GOLPES	40	35	29	24	19
M.HUEDAD+TARRO	30.55	24	24.15	26.83	26.16
M.SECA+TARRO	27.72	20.23	20.17	21.51	20.96
PESO DEL AGUA	2.83	3.77	3.98	5.32	5.2
PESO DEL TARRO	21.55	12.3	12.29	11.4	11.56
PESO MUESTRA SECA	6.17	7.93	7.88	10.11	9.4
% DE HUMEDAD	45.87	47.54	50.51	52.62	55.32

LIMITE LIQUIDO 52.36

LIMITE PLASTICO				
Tarro N	7	1	003	0
N. DE GOLPES	-	-	-	-
M.HUEDAD+TARRO	14.1	13.04	13.53	16
M.SECA+TARRO	13.59	12.67	13.18	15.66
PESO DEL AGUA	0.51	0.37	0.35	0.34
PESO DEL TARRO	12.21	11.68	12.16	14.85
PESO MUESTRA SECA	1.38	0.99	1.02	0.81
% DE HUMEDAD	36.96	37.37	34.31	41.98

LIMITE PLASTICO 37.65




Ing. Marcos Gonzalez  
LABORATORISTA

## ANEXO 11: Ensayo de Permeabilidad



### DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

### LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Proyecto:** Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Estabilización de Materiales Áridos de la Cantera del Cantón Guachapala Mediante Aplicación de Aditivo Formado por Organosilanos

**Descripción del Suelo:** Material fino de Cantera Can Pedro

**Fecha de ensayo:** 22/12/2022

L.L.	I.P.	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	H. Opt.
55.92	25.06	22.80	11.20%

**DATOS DEL PERMEAMETRO:** CARGA VARIABLE

Diámetro Cm.	Área cm <sup>2</sup>	Altura L. cm.	Volumen cm <sup>3</sup>
6.23	30.48	7.62	232.28

- K.-** Coeficiente de permeabilidad (cm/seg.)
- a.-** Sección transversal del tubo de carga (cm<sup>2</sup>)
- L.-** Longitud de la muestra (cm.)
- A.-** Sección de la muestra (cm<sup>2</sup>)
- t.-** tiempo del ensayo (seg.)
- h1.-** Altura del agua al comienzo del ensayo (cm.)
- h2.-** Altura del agua finalizado el ensayo (cm.)

Nº de Ensayo	Altura inicial h1 (cm.)	Altura final h2 (cm.)	Tiempo t. (dias.)	Vol H2O (cc.) drenado	Dosificación	obs.-
1	80	38.6	46	5	CN	Saturación
2	80	80	20	0	0.5 T	Muestra Seca
3	80	80	20	0	1 T	Muestra Seca
4	80	80	20	0	1T + 1C	Muestra Seca
	<b>CN</b>	Material en Condicion Natural				
	<b>0.5 T</b>	Material adición 0.5 kg/m <sup>3</sup> TerraSil				
	<b>1 T</b>	Material adición 1 kg/m <sup>3</sup> TerraSil				
	<b>1T + 1C</b>	Material adición 1 kg/m <sup>3</sup> TerraSil + 1% Cemento				

**Nota:** Material en condiciones naturales se satura y no pasa agua.  
Material con adición de aditivo se estima que se vuelve impermeable manteniendo la muestra en seco

Ing. Marcos Gonzalez

**LABORATORISTA**

## ANEXO 12: Presupuesto Para El Lastrado De Vía Convencional

<b>PRESUPUESTO PARA LASTRADO DE VIAS RURALES</b>				
<b>REFERENCIA DE BASE DE DATOS PARA PROYECTOS DE MANTENIMIENTO VIAL AZUAY</b>				
<b>Oferente:</b>	Comunidad Agllan-Guazac			
<b>Ubicación:</b>	Canton Guachapala			
<b>Fecha</b>	6-mar-23			
<b>Descripcion</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unit.</b>	<b>Total</b>
Explotacion, minado y cargado de material en mina	m3	1.170,00	2,18	2.545,17
Limpieza y reconfiguración de cunetas a máquina	ml	2.000,00	0,26	520,00
Retiro de material vegetal de la via	m2	6.000,00	0,24	1.440,00
Lastrado (tendido y compactado)(no incluye costo de material lastre)	m3	1.170,00	6,41	7.497,36
Transporte de material hasta 5 km	m3	1.170,00	1,32	1.541,94
<b>Total</b>				<b>13.544,47</b>

## ANEXO 13: Presupuesto Para El Lastrado De Vía Con Estabilización

<b>PRESUPUESTO PARA LASTRADO DE VIAS RURALES</b>				
<b>REFERENCIA DE BASE DE DATOS PARA PROYECTOS DE MANTENIMIENTO VIAL AZUAY</b>				
<b>Oferente:</b>	Comunidad Agllan-Guazac			
<b>Ubicación:</b>	Canton Guachapala			
<b>Fecha</b>	6-mar-23			
<b>Descripcion</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unit.</b>	<b>Total</b>
Explotacion, minado y cargado de material en mina	m3	1.170,00	2,18	2.545,17
Limpieza y reconfiguración de cunetas a máquina	ml	2.000,00	0,26	520,00
Retiro de material vegetal de la via	m2	6.000,00	0,24	1.440,00
Lastrado (mezclado,tendido y compactado) (Con aditivo y Cemento)	m3	1.170,00	30,53	35.716,36
Transporte de material hasta 5 km	m3	1.170,00	1,32	1.541,94
<b>Total</b>				<b>41.763,47</b>

## ANEXO 14: APU Explotación, Minado Y Cargado De Material En Mina

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 28 DE 59

RUBRO : 28

UNIDAD: M3

DETALLE: EXPLOTACION, MINADO Y CARGADO DE MATERIAL EN MINA

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,02
EXCAVADORA	1,00	47,00	47,00	0,030	1,41
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>1,43</b>
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,030	0,12
OPERADOR DE EXCAVADORA OP C1	1,00	4,55	4,55	0,030	0,14
AYUDANTE DE MAQUINARIA EO D2	1,00	4,16	4,16	0,030	0,12
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,38</b>
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,00</b>	
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>	

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,81
INDIRECTOS (%)	20,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,18
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>2,18</b>

SON: DOS DOLARES, 12/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 15: APU Limpieza Y Reconformación De Cunetas A Máquina

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 31 DE 59

RUBRO : 31

UNIDAD: ML

DETALLE : LIMPIEZA Y RECONFORMACIÓN DE CUNETAS A MÁQUINA

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,00
MOTONIVELADORA	1,00	40,00	40,00	0,002	0,08
RETROEXCAVADORA	1,00	25,00	25,00	0,002	0,05
VOLQUETA	1,00	25,00	25,00	0,002	0,05
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,18</b>

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,002	0,0081
OPERADOR DE MOTONIVELADORA OP C1	1,00	4,55	4,55	0,002	0,0091
OPERADOR DE RETROEXCAVADOF OP C1	1,00	4,55	4,55	0,002	0,0091
CHOFER DE VOLQUETA CH C1	1,00	5,95	5,95	0,002	0,0119
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,0382</b>

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,00</b>

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	<b>0,22</b>
INDIRECTOS (%)	20,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>0,26</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>0,26</b>

SON: CERO DOLARES, 26/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 16: APU Retiro De Material Vegetal De La Vía

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 34 DE 59

RUBRO : 34

UNIDAD: M2

DETALLE : RETIRO DE MATERIAL VEGETAL DE LA VIA

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,00
RETROEXCAVADORA	1,00	25,00	25,00	0,003	0,08
VOLQUETA	1,00	25,00	25,00	0,003	0,08
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,16</b>

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,003	0,01
OPERADOR DE RETROEXCAVADOF OP C1	1,00	4,55	4,55	0,003	0,01
CHOFER DE VOLQUETA CH C1	1,00	5,95	5,95	0,003	0,02
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,04</b>

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,00</b>

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,20
INDIRECTOS (%) 20,00%	0,04
UTILIDAD (%) 0,00%	0,00
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>0,24</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>0,24</b>

SON: CERO DOLARES, 24/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 17: APU Lastrado (Tendido Y Compactado) Incluye Lastre

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 37 DE 59

RUBRO : 37

UNIDAD: M3

DETALLE : LASTRADO (TENDIDO Y COMPACTADO)(NO INCLUYE COSTO DE MATERIAL LASTRE)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,02
MOTONIVELADORA	1,00	40,00	40,00	0,017	0,68
RODILLO LISO VIBRATORIO	1,00	30,00	30,00	0,017	0,51
CAMION CISTERNA	1,00	20,00	20,00	0,017	0,34
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>1,55</b>

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON EO E2	1,00	4,05	4,05	0,017	0,07
OPERADOR DE MOTONIVELADORA OP C1	1,00	4,55	4,55	0,017	0,08
OPERADOR DE RODILLO LISO VIBF OP C2	1,00	4,33	4,33	0,017	0,07
AYUDANTE DE MAQUINARIA EO D2	1,00	4,16	4,16	0,017	0,07
CHOFER DE CAMION CISTERNA CH C1	1,00	5,95	5,95	0,017	0,10
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,39</b>

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
AGUA	M3	65,00	0,01	0,65
MATERIAL LASTRE	M3	1,10	2,50	2,75
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>3,40</b>

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	<b>5,34</b>
INDIRECTOS (%)	20,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>6,41</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>6,41</b>

SON: DOS DOLARES, 28/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 18: APU Transporte De Material Hasta 5 Km

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 38 DE 59

RUBRO : 38

UNIDAD: M3

DETALLE : TRANSPORTE DE MATERIAL HASTA 5 KM

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,01
VOLQUETA	1,00	25,00	25,00	0,035	0,88
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,89</b>
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
CHOFER DE VOLQUETA CH C1	1,00	5,95	5,95	0,035	0,21
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,21</b>
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>0,00</b>
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	<b>1,10</b>
INDIRECTOS (%)	20,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>1,32</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>1,32</b>

SON: UN DOLAR, 30/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 19: APU Lastrado (Tendido Y Compactado) Incluye Lastre, TerraSil Y Cemento

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 37 DE 59

RUBRO : 37

UNIDAD: M3

DETALLE : LASTRADO (TENDIDO Y COMPACTADO)(NO INCLUYE COSTO DE MATERIAL LASTRE)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.02
MOTONIVELADORA	1.00	40.00	40.00	0.068	2.72
RODILLO LISO VIBRATORIO	1.00	30.00	30.00	0.068	2.04
CAMION CISTERNA	1.00	20.00	20.00	0.068	1.36
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>6.12</b>

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON EO E2	1.00	4.05	4.05	0.068	0.28
OPERADOR DE MOTONIVELADORA OP C1	1.00	4.55	4.55	0.068	0.31
OPERADOR DE RODILLO LISO VIBR. OP C2	1.00	4.33	4.33	0.068	0.29
AYUDANTE DE MAQUINARIA EO D2	1.00	4.16	4.16	0.068	0.28
CHOFER DE CAMION CISTERNA CH C1	1.00	5.95	5.95	0.068	0.40
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1.56</b>

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
AGUA	M3	65.00	0.01	0.65
TERRASIL	KG	1.00	17.60	17.60
CEMENTO PUESTO EN OBRA	SACO	0.29	7.10	2.06
MATERIAL LASTRE	M3	1.10	2.50	2.75
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>23.06</b>

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0.00</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	<b>30.74</b>
INDIRECTOS (%)	20.00%
UTILIDAD (%)	0.00%
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>36.89</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>36.89</b>

SON: DOS DOLARES, 28/100 CENTAVOS

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

## ANEXO 20. Tabla Salarios Mínimos 2023

CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN		ELABORADO POR EL DEPARTAMENTO TÉCNICO - RESPALDO: COMISION TÉCNICA CAMICON					CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	
Elaborado en base al ACUERDO MINISTERIAL No. MDT-2022-216		SALARIOS MÍNIMOS POR LEY 2023 (EN DOLARES)						
CATEGORÍAS OCUPACIONALES	SUELDO UNIFICADO	DÉCIMO TERCERO	DÉCIMO CUARTO	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	JORNAL REAL	COSTO HORARIO
REMUNERACIÓN BÁSICA UNIFICADA MÍNIMA	\$ 450,00							Jornada diaria 6h00 - 19h00
<b>CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS TÉCNICOS Y ARQUITECTÓNICOS</b>								
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2</u>								
Peón	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Ayudante de Albañil	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Ayudante de Carpintero	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Ayudante de Electricista	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Ayudante de Fierro	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Ayudante de Plomero	\$ 461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2</u>								
Ayudante de maquinaria	\$ 475,07	475,07	450,00	692,65	475,07	7.793,62	33,31	4,16
Albañil	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Operador de equipo liviano	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Pintor	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Pintor de exteriores	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Pintor empapelador	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Fierro	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Carpintero	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Encofrador o carpintero de ribera	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Plomero	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Electricista o instalador de revestimiento en general	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Ayudante de perforador	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Cadenero	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Mampostero	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Enlucidor	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Hojalatero	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Técnico liniero eléctrico	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Técnico en montaje de subestaciones	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Técnico electromecánico de construcción	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Obrero especializado en la elaboración de prefabricados de hormigón	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Parqueteros y colocadores de pisos	\$ 467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2</u>								
Operador de perforador (En Construcción)	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Perfilero (En Construcción)	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Técnico albañilería	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Técnico obras civiles	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Maestro de Obra	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1</u>								
Maestro eléctrico/liniero/subestaciones	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Maestro soldador especializado (En Construcción- Estr. Oc.C1)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL B3</u>								
Inspector de obra	\$ 522,36	522,36	450,00	761,59	522,36	8.524,63	36,43	4,55
Supervisor eléctrico general / Supervisor sanitario general	\$ 522,36	522,36	450,00	761,59	522,36	8.524,63	36,43	4,55
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL B1</u>								
Ingeniero eléctrico	\$ 523,70	523,70	450,00	763,56	523,70	8.545,37	36,52	4,56
Ingeniero civil (Estructural, Hidráulico y Vial)	\$ 523,70	523,70	450,00	763,56	523,70	8.545,37	36,52	4,56
Residente de Obra	\$ 523,70	523,70	450,00	763,56	523,70	8.545,37	36,52	4,56
<u>LABORATORIO</u>								
Laboratorista (En Construcción- Estr. Oc. C1)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,58	36,37	4,55
<u>TOPOGRAFÍA</u>								
Topógrafo (En Construcción- Estr.Oc.C1)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,58	36,37	4,55
<u>DIBUJANTES</u>								
Dibujante (En Construcción- Estr.Oc.C2)	\$ 494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,78	34,62	4,33

<b>OPERADORES Y MECÁNICOS DE EQUIPO PESADO Y CAMINERO DE EXCAVACIÓN, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y OTRAS SIMILARES</b>								
<b>SECCIÓN A: OPERADORES</b>								
<u>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 (GRUPO I)</u>								
Motoniveladora	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Excavadora	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Grúa puente de elevación	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Pala de castillo	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Grúa estacionaria	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Draga/Dráglina	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Tractor carriles o ruedas (bulldozer. topador. roturador. malacate. trailla)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Tractor tiende tubos (side bone)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Mototrailla	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Cargadora frontal (Payloader sobre ruedas u orugas)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Retroexcavadora	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Auto-tren cama baja (trailer)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Fresadora de pavimento asfáltico/Rotomil	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Recicladora de pavimento asfáltico/Rotomil	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Planta de emulsión asfáltica	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Máquina para sellos asfálticos	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Squidder	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Camión articulado con volteo (En Construcción)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Camión mezclador para micropavimentos	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Camión cisterna para cemento y asfalto (Adicional al traslado debe conectar los equipos para embarque y desembarque, monitorear equipo de presión)	\$ 521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55

Perforadora de brazos múltiples (jumbo)	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Máquina tuneladora (topo)	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Concretera rodante/mixer	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Máquina extendidora de adoquín	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Máquina zanjadora	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2 (GRUPO II)</b>									
Operador responsable de la planta hormigonera	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador responsable de la planta trituradora	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador responsable de la planta asfáltica	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de track drill	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de rodillo autopropulsado	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de distribuidor de asfalto	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de distribuidor de agregados	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de acabadora de pavimento de hormigón	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de acabadora de pavimento asfáltico	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de grada elevadora / canastilla elevadora	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de bomba impulsadora de hormigón, equipos móviles de planta, molino de amianto, planta dosificadora de hormigón, productos terminados (tanques moldeados, postes de alumbrado eléctrico, acabados de piezas afines)	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de tractor de ruedas (barredora, cegadora, rodillo remolcado, franjeadora)	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de caldero planta asfáltica	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de barredora autopropulsada	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de punzón neumático	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador compresor	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Camión de carga frontal (En Construcción)	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador de camión de volteo con o sin articulación/Dumper (En Construcción)	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador mini excavadora/mini cargadora con sus aditamentos	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Operador termoformado	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Técnico en carpintería	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
Técnico en mantenimiento de viviendas y edificios	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C3</b>									
Operador máquina estacionaria clasificadora de material	\$	475,07	475,07	450,00	692,66	475,07	7.793,70	33,31	4,16
Soldador en construcción	\$	475,07	475,07	450,00	692,66	475,07	7.793,70	33,31	4,16
<b>SECCIÓN B: MECÁNICOS</b>									
Mecánico de equipo pesado caminero (En Construcción- Estr. Oc C1)	\$	521,45	521,45	450,00	760,28	521,45	8.510,64	36,37	4,55
Mecánico de equipo liviano (Estr. Oc. C3)	\$	475,07	475,07	450,00	692,66	475,07	7.793,70	33,31	4,16
<b>SECCIÓN C: SIN TÍTULO</b>									
Engrasador o abastecedor responsable en construcción (En Construcción- Estr.Oc.D2)	\$	467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10

<b>CHOFERES PROFESIONALES</b>									
CHOFER: De vehículos de emergencia (Ambulancia, motobomba, carro cisterna, etc.- Estr. Oc C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Para camiones pesados y extra pesados con o sin remolque de más de 3.5 toneladas (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Tráiler (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Volquetas (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Tanqueros (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Plataformas (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Otros camiones (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Para ferrocarriles (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Para auto ferros (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Camiones para transportar mercancías o sustancias peligrosas y otros vehículos especiales (Estr. Oc. C1)	\$	691,69	691,69	450,00	1008,49	691,69	11.142,19	47,62	5,95
CHOFER: Para transporte Escolares-Personal y turismo hasta 45 pasajeros (Estr. Oc. C2)	\$	684,43	684,43	450,00	997,90	684,43	11.029,96	47,14	5,89
CHOFER: Para camiones sin acoplados (Estr. Oc. C3)	\$	668,31	668,31	450,00	974,40	668,31	10.780,78	46,07	5,76
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2</b>									
Operador de bomba lanzadora de concreto	\$	494,94	494,94	450,00	721,62	494,94	8.100,76	34,62	4,33
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2</b>									
Preparador de mezcla de materias primas	\$	467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
Tubero (En Construcción)	\$	467,71	467,71	450,00	681,92	467,71	7.679,89	32,82	4,10
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2</b>									
Resanador en general (En Construcción)	\$	461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
Tinero de pasta de amianto	\$	461,70	461,70	450,00	673,15	461,70	7.586,89	32,42	4,05
<b>OPERADORES Y MECÁNICOS DE EQUIPO PESADO EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, AGROPECUARIAS Y AGROINDUSTRIALES</b>									
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2</b>									
Excavadora Grúa (Grupo A: operadores tabla 1)	\$	467,31	467,31	450,00	681,33	467,31	7.673,62	32,79	4,10
Perforadora de pozos profundos o rodantes (Grupo A: operadores tabla 1)	\$	467,31	467,31	450,00	681,33	467,31	7.673,62	32,79	4,10

**ANEXO 21. Norma ASTM C-535 Para Ensayo de Abrasión.**

**Tabla N° 1. GRANULOMETRÍAS REPRESENTATIVAS DE LOS AGREGADOS, PARA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO A USAR.**

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	1	2	3
3"	2 ½"					2500 <sub>+50</sub>		
2 ½"	2"					2500 <sub>+50</sub>		
2"	1 ½"					5000 <sub>+50</sub>	5000 <sub>+50</sub>	
1 ½"	1"	1250 <sub>+25</sub>					5000 <sub>+50</sub>	5000 <sub>+50</sub>
1"	¾"	1250 <sub>+25</sub>						5000 <sub>+50</sub>
¾"	½"	1250 <sub>+10</sub>	2500 <sub>+10</sub>					
½"	3/8"	1250 <sub>+10</sub>	2500 <sub>+10</sub>					
3/8"	¼"			2500 <sub>+10</sub>				
¼"	N°4			2500 <sub>+10</sub>				
N°4	N°8				5000 <sub>+10</sub>			
TOTAL PESO (g)		5000 <sub>+10</sub>	5000 <sub>+10</sub>	5000 <sub>+10</sub>	5000 <sub>+10</sub>	10000 <sub>+10</sub>	10000 <sub>+75</sub>	10000 <sub>+50</sub>
N° DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

**ANEXO 21. Ensayos de Laboratorio.**



Foto 1: Cuarteo de Material.



Foto 2: Material Cuarteado.



Foto 3: Tamizado de Material.



Foto 4. Límites de Atterberg.



Foto 5: Peso de Material Para Ensayos



Foto 6: Mezcla Humedad Optima.



Foto 7: Ensayo Permeabilidad.



Foto 8: Permeámetro Carga Variable.



Foto 9: Material Grueso al Compactar



Foto 10: Limites de Atterberg con Aditivo.



Foto 11: Ensayo CBR más Aditivo.



Foto 12: Muestras de CBR más Aditivo.



Foto 13: Ensayo límite líquido



Foto 14: Ensayo Proctor modificado



Foto 15: Ensayo CBR



Foto 16: Ensayo de Granulometría



Foto 17: Aditivo TerraSil



Foto 18: Dosificación de Cemento



Foto 19: Dosificación de TerraSil



Foto 20: Aditivo incorporado al agua



Foto 21: Incorporación de cemento a la muestra



Foto 22: Muestra con el porcentaje de cemento



Foto 23: Ensayo Límite plástico



Foto 24: Ranura ensayo límite líquido



Foto 25: Proceso de lavado del material



Foto 26: Material después del lavado



Foto 27: Enrasado de muestra



Foto 28: Desmolde de material



Foto 29: Armado de permeámetro

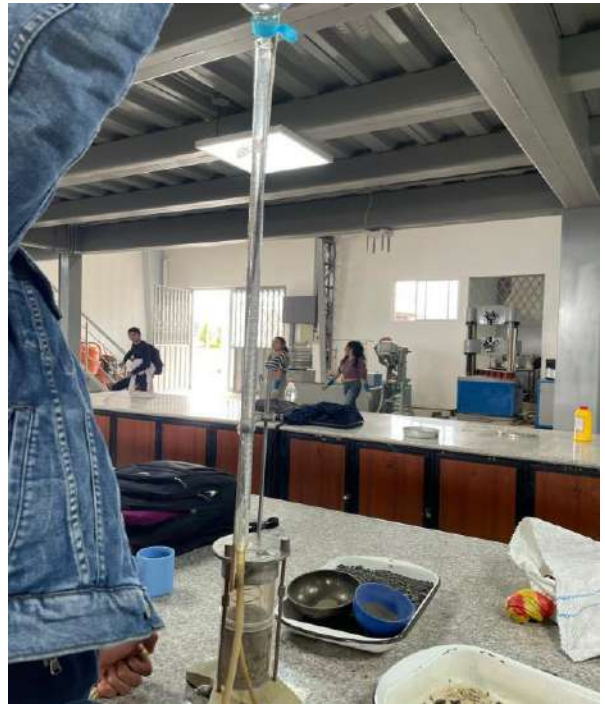


Foto 30: Adición de agua a la muestra



Foto 31: Muestra saturada después del ensayo



Foto 32: Muestra luego del ensayo



Foto 33: Máquina de los ángeles



Foto 34: Muestra para ensayo de abrasión



Foto 35: Muestra luego del ensayo



Foto 36: Desgaste obtenido del material



Foto 37: Partículas planas y alargadas



Foto 38: Partículas presentes en la muestra



Foto 39: Material clasificado



Foto 40: Peso muestra para los ensayos

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Nosotros, **Luis Alejandro Loja Viri** y **Juan Diego Palacios Padrón** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 010646909-1 y 010662911-6. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis De Factibilidad Técnica Y Económica De La Estabilización De Materiales Áridos De La Cantera Del Cantón Guachapala Mediante Aplicación De Aditivo Formado Por Organosilanos”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **08 de mayo de 2023**

F: .....  
Luis Alejandro Loja Viri  
010646909-1

F: .....  
Juan Diego Palacios Padrón  
010662911-6