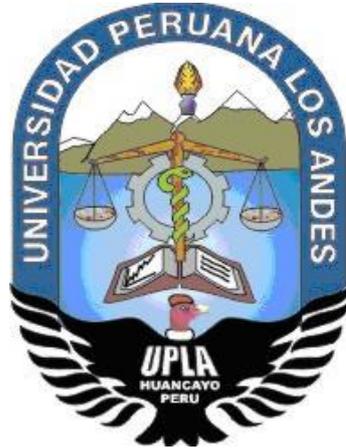


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTABILIZACION DE SUELOS COHESIVOS CON
ADITIVO ÓRGANOSILANOS A NIVEL DE
SUBRASANTE**

Línea de investigación de la Universidad:

Transporte y Vías de Comunicación

Línea de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:

Transporte y Vías de Comunicación

PRESENTADO POR:

Bach. MARTINEZ CHAVEZ, ESTHER

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2019

ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA

ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre Isabel y hermanos quienes me apoyaron;
y a mi padre Francisco que desde el cielo me sigue
guiando a seguir su ejemplo de lucha y perseverancia,
para que siguiera adelante y cumplir con mis metas.

Bach. Esther Martínez Chávez.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios, por guiarme y protegerme siempre, brindándome salud, sabiduría para realizarme como profesional.

A mis docentes de la Universidad Peruana Los Andes, quienes con su dedicación impartieron sus enseñanzas durante mi formación profesional.

A mi Asesor a la Ing. Nataly Lucia Córdova Zorrilla, quien más es mi guía, muchas gracias por su asesoramiento, por el conocimiento transmitido, su comprensión y apoyo para culminar la presente tesis.

A mi querido amigo Isaí Paucar, quien fue mi asesor, muchas gracias por su amistad y apoyo incondicional, así como por brindarme sus conocimientos para el desarrollo de la presente tesis.

Por ultimo a mi madre Isabel y a mis hermanos Roger y Jilver por su gran apoyo incondicional durante mi formación profesional.

Bach. Esther Martínez Chávez.

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

Dr. Casio A. Torres López.

PRESIDENTE

Ing. Rando Porras Olarte.

JURADO

Ing. Jeannelle Sofia Herrera Montes

JURADO

Ing. Christian Mallaupoma Reyes

JURADO

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales.

SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPITULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. Descripción del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.3.1. Practica o Social.....	15
1.3.2. Metodológica.....	16
1.4. Delimitaciones.....	16
1.4.1. Delimitación Espacial.....	16
1.4.2. Delimitación Temporal.....	17
1.4.3. Delimitation Económica.....	17
1.5. Limitaciones.....	18
1.6. Objetivos.....	18
1.6.1 Objetivo general.....	18
1.6.2 Objetivos específicos.....	18
CAPITULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes.....	19
2.1.1 Antecedente internacional.....	19
2.1.2 Antecedente Nacional.....	21
2.2. Marco conceptual.....	24
2.2.1. Aditivo organosilanos.....	24
2.2.2. Subrasante.....	30
2.2.3. Suelos Cohesivo.....	32
2.2.4. Estabilización de suelos.....	32

2.2.5.	Permeabilidad de los suelos	35
2.2.6.	Expansividad del suelo	36
2.2.7.	Ensayos de suelos.....	37
2.4.	Hipótesis	43
2.4.1.	Hipótesis general	43
2.4.2.	Hipótesis específicos.....	43
2.5.	Variables	43
2.5.1.	Definición conceptual de la variable.....	43
2.5.2.	Definición operacional de la variable	44
2.5.3.	Operacionalidad de la variable	44
CAPITULO III.....		46
METODOLOGIA.....		46
3.1.	Método de la investigación	46
3.2.	Tipo de investigación.....	46
3.3.	Nivel de investigación.....	46
3.4.	Diseño de investigación	47
3.5.	Población y muestra	47
3.5.1.	Población	47
3.5.2.	Muestra.....	47
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.6.1.	Técnicas de Recolección de Datos	49
3.7.	Procesamiento de la información	53
3.8.	Técnicas y análisis de datos	53
3.8.1.	Organization de datos obtenidos de los ensayos que fueron realizados en laboratorio	54
CAPÍTULO IV.....		59
RESULTADOS.....		59
4.1.	Presentación de Resultados	59
4.1.1.	Estadísticos Descriptivos de CBR.	59
4.4.2.	Estadísticos Descriptivos de Expansividad.....	61
4.4.3.	Estadísticos Descriptivos de Permeabilidad	62
CAPÍTULO V.....		65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES		68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		69

ANEXO.....	72
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	72
ANEXO 2: TABLAS DE DATOS OPTENIDOS EN LABORATORIO.....	72
ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO.....	72
ANEXO 5: PANEL FOTOGRAFICO.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 2: Valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos, k en cm/s.	36
Tabla 3: Grado de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos.	37
Tabla 4: Tipo y tamaño de material.	38
Tabla 5: Valores típicos de consistencia del suelo.....	39
Tabla 6: Variable dependiente.....	44
Tabla 7: Variable independiente.....	45
Tabla 8: Ensayos Realizados	49
Tabla 9: Cantidad de ensayos realizados por calicata.	50
Tabla 10: Cantidad de material requerido.	50
Tabla 11: Dosificación del aditivo organosilanos por tratamiento.....	53
Tabla 12: Resultados de CBR a 0.1" de penetración y a un MDS 95%.	55
Tabla 13: Porcentaje de Expansividad.....	56
Tabla 14: Permeabilidad de un suelo cohesivo en laboratorio.....	57
Tabla 15: Análisis de varianza para CBR.	59
Tabla 16: Medias de Mínimos Cuadrados para CBR.	60
Tabla 17: Pruebas de Medias, Tukey.....	60
Tabla 18: Análisis de varianza para Expansividad (%).....	61
Tabla 19: Medias de Mínimos Cuadrados para Expansividad.	61
Tabla 20: Prueba de Medias, Tukey.....	61
Tabla 21: ANOVA para Permeabilidad (cm/s).....	62
Tabla 22: Error Estándar de Permeabilidad.....	62
Tabla 23: Prueba de Medias, Tukey.....	62
Tabla 24: Datos obtenidos de los ensayos de CBR.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del lugar donde se llevó a cabo el trabajo de investigación.	17
Figura 2: Suelo Tratado y no tratado con aditivo organosilanos.....	24
Figura 3: Permeabilidad de los Suelos.....	26
Figura 4: Absorción por capilaridad con y sin aditivo Organosilanos.	27
Figura 5: Sección transversal - pavimento flexible.	30
Figura 6: Relación de tratamiento vs porcentaje de CBR.....	63
Figura 7: Relación de Tratamiento vs porcentaje de expansividad.	64
Figura 8: Relación de tratamiento vs permeabilidad.	64

RESUMEN

Esta investigación respondió al problema general: ¿De qué manera el aditivo órganosilanos influye en un suelo cohesivo estabilizado a nivel de la subrasante?, el objetivo general fue Determinar la influencia del aditivo órganosilanos en un suelo cohesivo estabilizado a nivel de la subrasante y la hipótesis general que se contrastó fue: El aditivo órganosilanos influye significativamente en el suelo cohesivo estabilizado a nivel de la subrasante.

El método general de la investigación es científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación es explicativo y el diseño de investigación fue experimental. El tipo de muestreo es no probabilístico o dirigido y comprende al Jr. Humboldt – Azapampa y la población fue el distrito de Chilca, provincia de Huancayo región Junín.

Como conclusión general se obtuvo. El aditivo organosilanos influye significativamente en la estabilización de suelos cohesivos, que presenta una subrasante inadecuada o mala a una subrasante buena, muy buena y excelente dependerá de la dosificación del aditivo, también disminuyendo la permeabilidad y la expansividad. Por lo tanto, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias

Palabras Claves: Suelo Cohesivo, Estabilización, Subrasante, Aditivo Organosilanos.

ABSTRACT

This research responded to the general problem: How does the additive organilanes influence a stabilized cohesive soil at the level of the subgrade? The general objective was to determine the influence of the additive organ silanes on a cohesive soil stabilized at the level of the subgrade and the hypothesis In general, the additive was: The organilane additive significantly influences the stabilized cohesive soil at the subgrade level.

The general method of research is scientific, the type of research was applied, the level of research is explanatory and the research design was experimental. The type of sampling is not probabilistic or directed and includes Jr. Humboldt - Azapampa and the population was the district of Chilca, province of Huancayo region Junín.

As a general conclusion it was obtained. The organosilane additive significantly influences the stabilization of cohesive soils, which presents an inadequate or bad subgrade to a good, very good and excellent subgrade, depending on the dosage of the additive, also decreasing the permeability and expansiveness. Therefore, all are "SIGNIFICANT" to the comparison of means

Keywords: Cohesive Soil, Stabilization, Subgrade, Organosilane Additive.

INTRODUCCIÓN

La tesis titulada “Estabilización de suelos cohesivos con aditivo organosilanos a nivel de subrasante”, tiene como objetivo general determinar la influencia del aditivo organosilanos en un suelo cohesivo estabilizado a nivel de la subrasante, para lo cual se determinó que el aditivo organosilanos influye significativamente en la estabilización de suelos cohesivos. La capacidad de soporte es directamente proporcional a la dosificación del aditivo organosilanos mientras que la expansividad y permeabilidad es inversamente proporcional a la dosificación del aditivo organosilanos en el suelo cohesivo estabilizado a nivel de la subrasante. Para esto se ha considerado los siguientes capítulos.

Capítulo I: Trata sobre el problema de investigación, planteamiento del problema; la formulación y sistematización del problema, justificación, limitaciones y los objetivos.

Capítulo II: Muestra el marco teórico, antecedentes internacionales y nacionales, marco conceptual, definición de términos, hipótesis, variables independiente y dependiente.

Capítulo III: Se da a conocer la metodología utilizada en la tesis, en la cual se explica el método, tipo, nivel y diseño de investigación también la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procesamiento de la información y culminando con las técnicas y análisis de datos.

Capítulo IV: Trata sobre los resultados obtenidos en base a los objetivos.

Capítulo V: Explica la discusión de los resultados obtenidos.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. MARTINEZ CHAVEZ, Esther.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Los suelos cohesivos pueden provocar problemas más comunes que se originan en carreteras, edificaciones y en otras obras civiles. Estos tipos de suelos presentan características como: alto índice de plasticidad, baja capacidad de soporte, y suelos con altos niveles de permeabilidad.

En nuestro medio existen que una serie de fenómenos de inestabilidad de suelos, muchas de estas obras se encuentran en terrenos de fundación de baja capacidad de soporte, el cual necesita ser mejorado ó cambiado por otro material que cumpla los parámetros exigidos por el MTC.

En el Jr. Humboldt – Azapampa – Chilca, presenta un suelo cohesivo con baja capacidad de soporte, que es un problema a nivel de subrasante, ya que en el proceso de expansión se debe a la absorción de agua produciendo un aumento de volumen y relajación de los esfuerzos, con un posible colapso.

En vista del conjunto de problemáticas antes mencionada, y percibir que existen insuficientes estudios de estabilización con aditivo organosilanos en la zona, es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio. Al investigar se obtendrán una serie de características de la estabilización de suelos de la zona. Y si en un futuro se desea emplear la estabilización de suelos con organosilanos, existirá una

investigación que indique ciertos parámetros de cómo será el comportamiento y resistencia de un suelo cohesivo en nuestra ciudad de Huancayo.

Con la estabilización del aditivo organosilanos se busca mejorar las propiedades mecánicas del suelo, evitando grandes movimientos de tierras, por ende, se estaría solucionando algunos problemas geotécnicos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el aditivo organosilanos sobre la estabilización en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye el aditivo organosilanos en la capacidad de soporte en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?
- b) ¿En qué medida favorece el aditivo organosilanos en la expansividad en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?
- c) ¿Qué efectos produce el aditivo organosilanos en la permeabilidad en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?

1.3. Justificación

1.3.1. Practica o Social

Con el trabajo de investigación se pretende solucionar los problemas que causan los suelos cohesivos, debido a la información que va a dar a conocer esta tesis “ESTABILIZACION DE SUELOS COHESIVOS CON ADITIVO ÓRGANOSILANOS A NIVEL DE SUBRASANTE”. Actualmente en la construcción de caminos es primordial minimizar y compensar al

máximo posible el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas, ambientales y técnicas, por ello se debe realizar estudios de suelos y optar por el mejor estabilizador para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo cohesivo.

1.3.2. Metodológica

Esta investigación propone una alternativa de estabilización de suelos cohesivos de acuerdo al avance de la tecnología, los resultados obtenidos son fuente para otras investigaciones similares.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación Espacial

La presente investigación se desarrolló en el distrito de Chilca, debido que se presenta suelos más inestables, el cual permitirá tener información suficiente para desarrollar el presente estudio.

Departamento : Junín

Provincia : Huancayo

Distrito : Chilca

Jr. : Humboldt

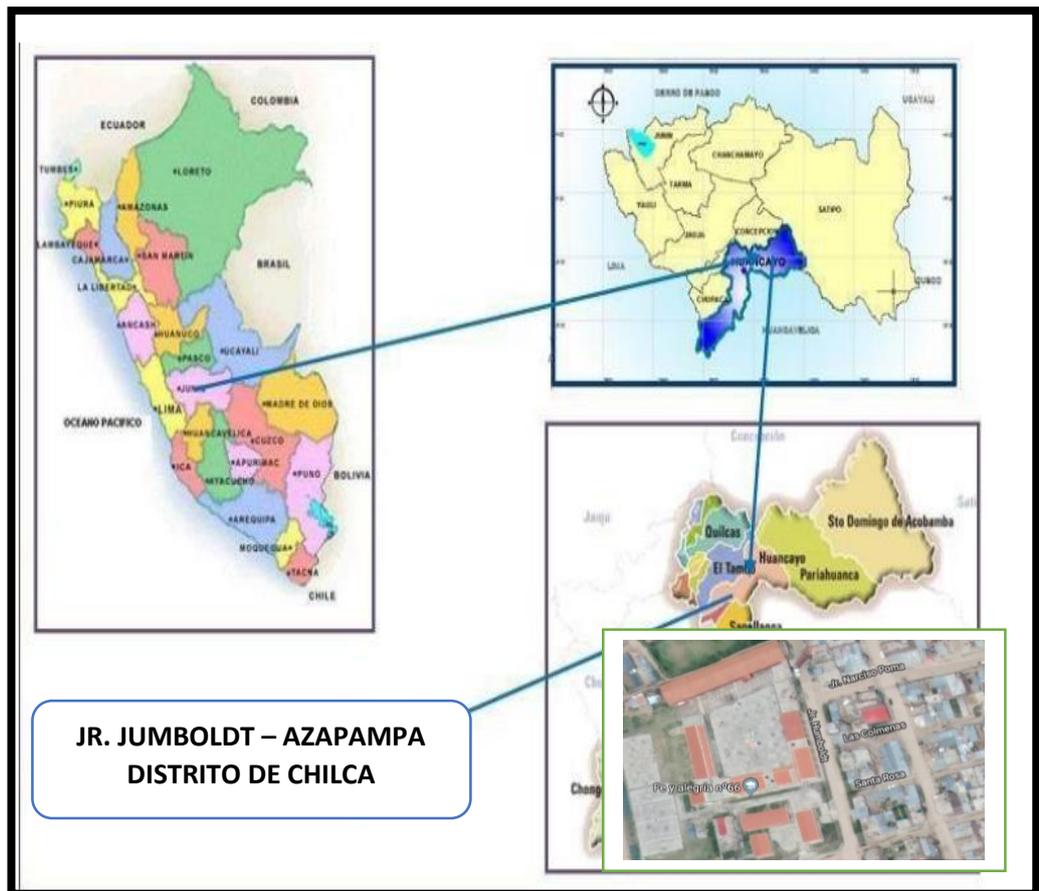


Figura 1: Ubicación del lugar donde se llevó a cabo el trabajo de investigación.

1.4.2. Delimitación Temporal

La investigación se realizó en el año 2018 entre los meses de febrero hasta mayo en una época de lluvia que es más favorable para obtener la muestra.

1.4.3. Delimitation Económica

El trabajo de investigación fue financiado en un 8% por la **Empresa ZIDEX**, la empresa auspició con el aditivo organosilanos y el 92% por la tesista. Por la falta de recursos económicos, solo se realizaron 8 repeticiones por cada tratamiento, que es el número mínimo calculado para su respectiva evaluación.

1.5. Limitaciones

La muestra fue obtenida del Jr. Humboldt Azapampa - chilca - Huancayo. Donde fue muy dificultoso realizar las calicatas, debido al tránsito vehicular, peatonal y por último la molestia de los dueños de los terrenos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la influencia del aditivo organosilanos en la estabilización un suelo cohesivo a nivel de subrasante.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar la influencia del aditivo organosilanos en la capacidad de soporte de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.
- b) Determinar en qué medida favorece el aditivo organosilanos en la expansividad de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.
- c) Determinar los efectos del aditivo organosilanos en la permeabilidad de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedente internacional

(Rodriguez, 2016), *En el proyecto se realizó “Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y de la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (Terrasil) de la vía ecológica de Cantón Quevedo, provincia De los Ríos- Ecuador”*. Se determina que, con el producto utilizado para el mejoramiento, la capacidad de soporte del suelo aumenta el 14% después de 7 días realizado el ensayo, la humedad disminuye en un 27.86% luego de 7 días realizado el ensayo, se concluye que trabajar con material pétreo para mejorar la vía es más costoso que con el producto ya que se elimina el rubro transporte del material. Se implementó este producto ya que mejora el grado de compactación y disminuye la humedad del suelo haciéndole impermeable. Se realizó calicatas cada 500 metros a lo largo de la vía teniendo una longitud de 3.822m, de las muestras obtenidas se realiza los siguientes ensayos como: los límites de Atterberg, la humedad óptima, la densidad máxima, el ensayo de compactación (Próctor Modificado), y el CBR. En el suelo ensayado se adiciono el 2%, 4%, 6%, y 8% en el ensayo del Próctor modificado con el producto biodegradable TerraSil, se concluye que el suelo mejorado con TerraSil es mejor que el suelo natural.

De acuerdo a los ensayos realizados con el aditivo organosilanos los cuales muestran una leve disminución en la humedad y esponjamiento lo cual resulta positivo para el mejoramiento del suelo, también aumentó su densidad, capacidad portante del suelo (CBR) y su compactación. Después de obtener los resultados de cada una de las calicatas ensayadas en su estado normal y con aditivo Terrasil, se procedió a graficar los resultados que muestran un incremento del 2% en su compactación y un 3,98% en su humedad el mismo día de haber realizado los ensayos, luego después de haber transcurrido una semana se obtuvo un incremento del 14% en su compactación y en su humedad un 27,86% mejorando así las características del suelo. Realizado los ensayos de campo y de laboratorio, y después de haber transcurrido 7 días de curado, el suelo se vuelve hidrófobo también llamado suelo impermeable. Se comprobó que el mejoramiento de suelo con el aditivo Terrasil, aumenta el 14% de su capacidad portante, después de haber transcurrido 7 días de ser realizado el ensayo. El porcentaje de humedad y la capacidad de absorción del suelo disminuye en un 27.86% a los 7 días de curado, también dependerá de las condiciones climatológicas del lugar. Con la colocación del aditivo Terrasil en la subrasante se elimina la compra del material pétreo y el transporte del mismo. La estabilización de la subrasante con el aditivo TerraSil es ventajosa ya que impermeabiliza el suelo y mejora su resistencia como en arcillas, limos y arenas.

(Ruano, 2012); En su investigación *“Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de Arenas Volcánicas y Cal viva - Guatemala”*. Estabilizó los suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados.

Las mezclas propuestas van del 10%, 25% y 50% de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6% a 91,5%, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar.

Se determinó que al utilizar cualquiera de las dos arenas tanto la sílice como la azul, ambas consiguen un CBR similar, sin embargo, su mayor valor de densidad específica y la composición mineralógica de la arena azul, logra que alcance valores un poco más altos que la arena sílice.

2.1.2 Antecedente Nacional

(Villanueva, 2017); En su investigación *“Propuesta de Estabilización de carreteras de bajo volumen de tránsito en la Sierra, sobre los 2000 m.s.n.m, utilizando Poliacrilamida anionica, Organosilanos y un Sulfonatado”*. En la presente tesis se evalúa la propuesta de estabilización de suelos en carreteras de bajo volumen de tránsito, específicamente para materiales de afirmado, generalmente los materiales de canteras no cumplen con los requisitos de calidad exigidos por las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG 2013). Por lo que se ha evaluado la estabilización con 03 productos químicos; un polímero, organosilanos y un sulfonatado. Concluyéndose que para el material de la subrasante (GC – GM), muestra un mejor comportamiento al incrementar el valor de CBR con el estabilizador Organosilanos.

De los materiales de Subrasante, Canteras 1 y 2 con los 3 estabilizadores, se obtuvo valores de CBR por encima de 40% mínimo para afirmados según lo exigido en el manual de carreteras "Especificaciones técnicas generales para construcción" (EG-2003). Sin embargo, no cumplen con lo exigido en el Documento técnico Soluciones

básicas en carreteras no pavimentadas – 2015 (carácter normativo) donde indica el valor de CBR al 100%.

(Ugaz, 2006); *“Estabilización de suelos y su Aplicación en el Mejoramiento de la Subrasante”*. Estudió el comportamiento de distintos estabilizadores químicos de suelos aplicados a diferentes muestras del territorio nacional para su aplicación en vías de transporte, así como sus cambios en las propiedades de capacidad de soporte, durabilidad, compresibilidad, permeabilidad y estabilidad volumétrica a corto y largo plazo.

Brindando nuevos productos en el mercado y su adecuada utilización en obras viales los estabilizadores fueron: RBI-81, Cal Viva, Enzimas Orgánicas (Endurazyme), Cloruro de Calcio y Aceites Sulfatados. Se concluye el incremento son significativos por parte de diferentes aditivos estabilizadores el RBI-81 el cual se obtiene incrementar un CBR en 161%, el aditivo, Quim KD 40 logra un incremento de 137% y el Con Aid un 117%.

(Ochoa, y otros, 2015); *“Implicancia del Índice de Congelación y el tipo de suelos en los procesos de Compactación en el Mejoramiento de la Carretera Ananea -Cojota-Puno”*. En la vía afirmada Ananea – Cojata, carece de material granular en las canteras y una solución aceptable es el uso recomendado de aditivos como es el Terrazyme para climas frígido que aumentan las características mecánicas del suelo para su mejor duración de las cuales la mejor compactación llevaría a cabo entre 12°C y 19°C a estas temperaturas alcanza significativas densidades secas.

(Palomino, 2016); *“Capacidad Portante (CBR) de un Suelo Arcilloso, con la incorporación del Estabilizador Maxxseal 100- Cajamarca”*. Determinó la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con incorporación de 2%, 4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100. Se llegó a la conclusión que la capacidad portante (CBR)

del suelo arcilloso estabilizado con de 2%, 4%, y 6% de Maxxseal 100, se obtuvo los siguientes valores para un CBR a 0.1" con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 9.60 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; para un CBR al 0.2", con la muestra patrón un CBR de 5.40 %, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7.30 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 10.10 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11.70%.

(De la Cruz Gutierrez, y otros, 2016); "*Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de Aditivo (Eco Road 2000) para Pavimentación en Palian-Huancayo-Junín*". Las calicatas que reaccionaron mejor al aditivo fueron C-4, C-5, C-7, C-8, C10 debido al porcentaje de finos que contiene cada uno (71.30%, 73.50%, 74.00%, 81.60%, 74.80%) en conclusión un suelo con mayor cantidad de finos reaccionaría mejor al aditivo Eco Road 2000, esto demuestra que no todos los suelos cohesivos reaccionan de la misma forma. Se demostró mediante ensayos que la dosificación patrón (1 litro por 15 m3) planteada en las especificaciones técnicas del aditivo fue superado por las dosificaciones 1lt/19m3 con un porcentaje de 57%. De los ensayos de CBR aplicando el aditivo se obtuvieron que siete calicatas llegan a tener más del 40% de CBR, cumpliendo para material de sub base, así también, se obtuvieron que tres calicatas llegan a tener un CBR de 38.55%, 36.10%, 21.70% los cuales cumplen con: >30% de CBR es una sub rasante extraordinaria y de 20% a 30% de CBR una sub rasante muy buena. La aplicación del aditivo reduce costos en comparación al no aplicarlo, reduciendo en un monto de s/.58.63 (49.01%) con lo que respecta en pavimento flexible, y en el pavimento rígido se reducen en un monto de s/.105.59 (57.27%) en conclusión es rentable el uso del aditivo Eco Road 2000 (a costos de Huancayo).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Aditivo organosilanos

Es un reactivo modificador de suelos, soluble en agua, estable al calor y a la radiación ultravioleta. Posee grupos silanol, que reaccionan con los silicatos presentes en el suelo, transformando sus superficies y confiriéndoles propiedades hidrófobas permanentes.

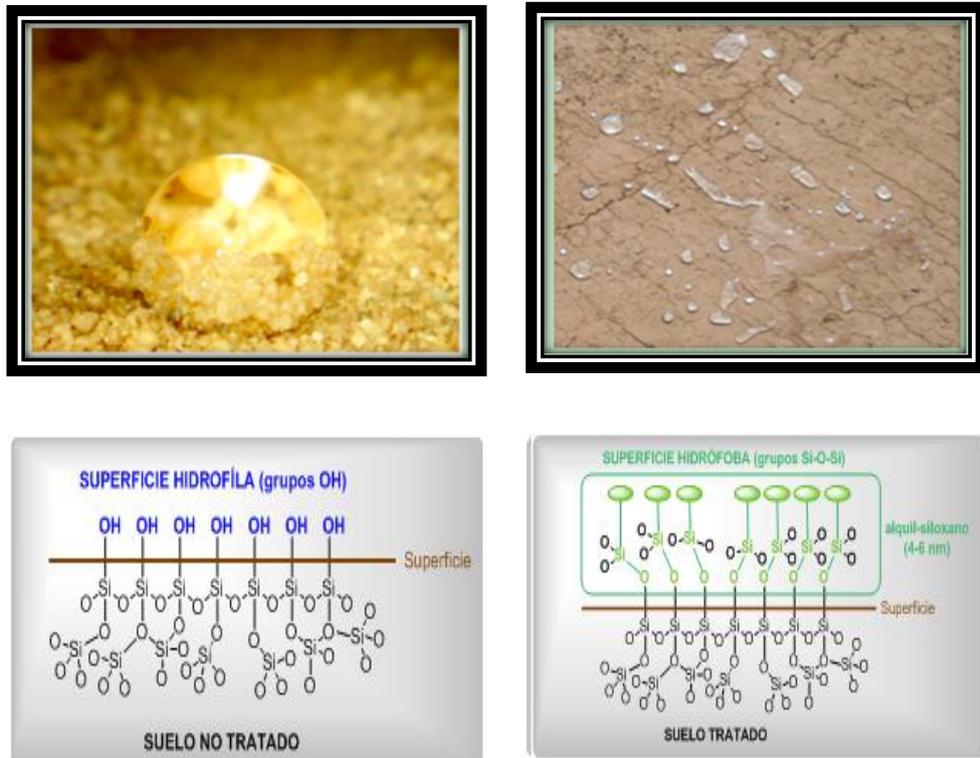


Figura 2: Suelo Tratado y no tratado con aditivo organosilanos.

El aditivo organosilanos tiene la propiedad de estabilización de suelos lo cual nos permite transformar un suelo inestable en suelos estables químicamente y de forma permanente, sin que esto provoque pérdidas de porosidad, repele el agua, aumenta el CBR, elimina la erosión del suelo.

El aditivo organosilanos, reacciona químicamente con todo tipo de suelos y su principal efecto consiste en la impermeabilización de las partículas del suelo. La modificación química del suelo provoca que se transforme en un suelo repelente a

las moléculas de agua, evitando la inestabilidad de volumen de un suelo, es decir evita los problemas de hinchamientos. También nos permite las siguientes ventajas: incremento de la resistencia a compresión simple, incremento de densidad, evita la absorción de agua.

- ⊙ El **suelo** se convierte en **hidrófobo** (repele el agua, eliminando los problemas que se derivan de la presencia de la misma).
- ⊙ El suelo mantiene la **transpiración** (expulsa el agua en forma de vapor).
- ⊙ **Disminuye el índice de plasticidad** de los suelos.

2.2.1.1. Características del aditivo organosilanos

- Alto rendimiento bajo costo.
- Equipos tradicionales.
- Uso en suelos de baja capacidad.
- Totalmente natural (100%)
- Compatible con el medio ambiente.
- Ecológico.
- De manejo seguro.

2.2.1.2. Ventajas técnicas del aditivo organosilanos

a. Suelos resistentes al agua

Con la tecnología del aditivo organosilanos como método de estabilización de suelos conseguimos que los grupos silanol del reactivo provoquen una modificación química en los silicatos presentes en el suelo de tal forma que le confiera propiedades hidrófobas permanentes.

Normalmente, el tamaño de los poros y su conectividad determinan si el suelo posee una alta o baja permeabilidad. El agua podrá fluir fácilmente

a través de un suelo de poros grandes con una buena conectividad entre ellos. Los poros pequeños con el mismo grado de conectividad tendrían una baja permeabilidad, ya que el agua fluiría a través del suelo más lentamente, es el caso de los suelos arcillosos.

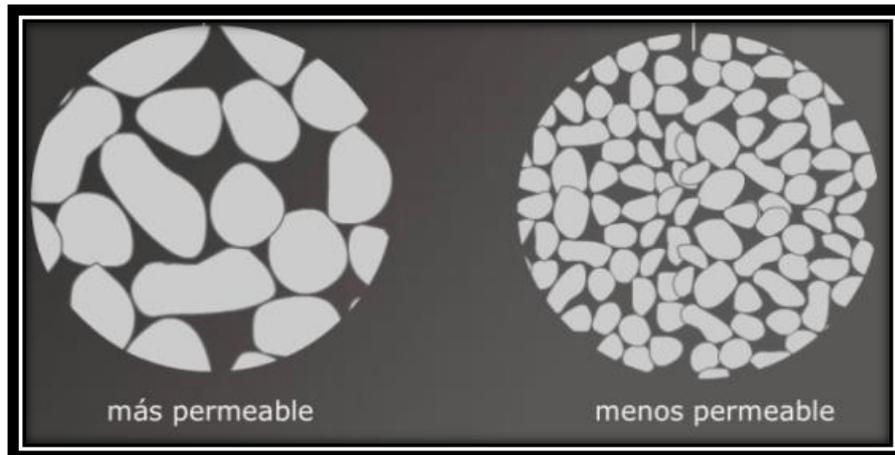


Figura 3: Permeabilidad de los Suelos.

b. Incremento de la Resistencia a compresión simple

El tratamiento con aditivo organosilanos en los suelos nos permite mejorar parámetros mecánicos del suelo y de forma especial aquellos que se miden en condiciones de inmersión/saturación. La modificación química y la repulsión al agua nos va a permitir que nuestro suelo actúe siempre en condiciones más favorables.

c. Multiplica el índice CBR

El Índice CBR nos indica la capacidad de soporte de un suelo en función de su estado, densidad y humedad, así como de la sobrecarga que se le aplique.

Con la adición del estabilizador conseguimos mantener el suelo seco, por lo que la

fricción entre partículas es la más alta y, por tanto, se maximizan las propiedades mecánicas, relacionadas con la compresión.

d. Incremento de densidades

Los suelos tratados con aditivo organosilanos alcanzan mayores densidades con menor energía de compactación y menor aporte de agua debido a que el organosilanos reacciona con el suelo, envolviendo a las partículas, favoreciendo a una mayor lubricación y por tanto a la ordenación de sus partículas.

e. Evita la absorción de agua

Al convertir el suelo en repelente al agua, eliminamos la absorción por capilaridad. Esto asegura que el suelo se mantenga seco y con gran fricción entre partículas independientemente de la humedad de la capa inferior.



Figura 4: Absorción por capilaridad con y sin aditivo Organosilanos.

El reactivo del aditivo en el suelo tiene la repercusión sobre el coeficiente de drenabilidad AASHTO 93 llegando a incrementar el valor hasta el máximo (1.40%).

f. Aplicación en todo tipo de suelo

Los grupos silanol que reaccionan con los silicatos que se encuentran en el suelo transforman su superficie, ya que la molécula se fija a cualquier tipo de suelos incluyendo arcillosos, arenosos, zahorras, limos, lateritas.

g. Minimiza la expansividad del suelo

El aditivo organosilano al nanosiliconizar el suelo evita que el árido pueda mojarse y, por tanto, se elimina la acción expansiva de las partículas. El resultado global es un suelo en el que la expansión/hinchamiento es mínimo o inexistente.

h. Evita movimientos de finos

En un suelo tratado, la ausencia de agua y el alto valor friccional de las partículas impiden que haya movimientos de finos y por tanto pérdidas locales de densidad.

i. Ventajas económicas

Tratamiento muy Económico

Los tratamientos con aditivo organosilanos son muy económicos, debido a:

- Baja dosificación de organosilanos necesaria (0.2-2kg/m³)
- El gran incremento de especificaciones que se consigue. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el coste es más reducido que una estabilización con cemento y cal, a menudo, más barato que el coste de agregar material de cantera.

j. Ventajas operativas

Fácil de aplicar, el reactivo se aplica como cualquier estabilización por vía húmeda, por lo que los rendimientos típicos de la maquinaria estarán entre los 1000 y 5000 m²/hora.

k. Ventaja medioambiental

Sostenibilidad e impacto ecológico positivo

La sostenibilidad consiste en reducir el consumo de materiales escasos y alargar el ciclo de vida.

Esta tecnología permite:

- Utilizar los materiales in-situ.
- Reducir necesidad de material de cantera.
- Reducir emisión de CO₂ por transporte.
- Mejorar la duración de la infraestructura.

Hay varios factores que hacen que el producto no tenga ningún impacto negativo:

- El producto es resistente al agua, por lo que siempre permanecerá anclado al suelo
- La composición es totalmente compatible con el medio ambiente, sin presencia de metales o sustancias peligrosas.

2.2.2. Subrasante

(Menéndez, 2013); La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor de la capacidad de soporte, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. “Las propiedades importantes para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades de rigidez (módulo resiliente y CBR), propiedades hidráulicas (permeabilidad).

Se consideran como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%.

Tabla 1: Categorías de la subrasante.

CATEGORIAS DE LA SUBRASANTE	CBR
So: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.



Figura 5: Sección transversal - pavimento flexible.

Los parámetros determinantes en la respuesta de la Subrasante. El comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí, siendo éstas las siguientes. **(Ramón, 2013 pág. 7).**

a) La capacidad soporte

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento y en función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad. El propósito del pavimento es proporcionar una superficie confortable al tránsito de vehículos. Consecuentemente, es necesario que la subrasante sea capaz de soportar un número grande de repeticiones de carga sin presentar deformaciones. **(Ramón, 2013 pág. 7).**

b) Contenido de humedad

El diferente grado de humedad de la subrasante afecta en forma determinante su capacidad de carga, pudiendo además llegar a provocar inclusive contracciones y/o expansiones indeseables, especialmente en el caso de la presencia de suelos finos.

El contenido de humedad es afectado principalmente por las condiciones de drenaje, elevación del nivel freático, infiltración etc. Una subrasante con un elevado contenido de humedad sufrirá deformaciones prematuras ante el paso de las cargas de sollicitación de los vehículos. **(Ramón, 2013 pág. 7).**

c) Contracción y/o expansión

Algunos suelos se contraen o se expanden, dependiendo de su grado de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento construido sobre estos suelos, si no se adoptan las medidas pertinentes, tenderán a deformarse y/o deteriorarse prematuramente.

Para evitar que las deflexiones admisibles en la subrasante excedan los límites establecidos, debe cumplirse que la presión transmitida por la carga se mantenga por debajo del valor de la carga máxima transmitida al suelo, para lo cual deberá tomarse en cuenta el tránsito de diseño a través del número de repeticiones de carga, las deflexiones máximas esperadas y el CBR del material con el que se ejecutará el mejoramiento **(Ramón, 2013)**.

2.2.3. Suelos Cohesivos

Contiene pequeñas partículas y suficiente arcilla para que el suelo se adhiera a sí mismo. Estos suelos tienen la capacidad de sufrir cambios volumétricos en función de la humedad se le conoce como suelos expansivos. Los asentamientos que sufren las estructuras debido a las deformaciones producto de los aumentos de carga sobre el suelo que los soporta fueron identificados como las causas de los daños en las estructuras, estas no solo pueden presentar daños por asentamiento sino también por expansión (Zepeda, y otros, 1990 pág. 125).

2.2.4. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es

seguido de un proceso de compactación (**Manual de Carreteras suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013**).

La estabilización de suelos según la norma es incrementar la fuerza o resistencia de mecánica en sus propiedades en el tiempo. De las cuales existen diferentes técnicas que van desde adicionar los suelos o la incorporación de uno o más estabilizadores y deben cumplir con la compactación (**MTC, 2014**).

2.2.4.1. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada.

Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- Tipo de suelo a estabilizar
- Uso propuesto del suelo estabilizado
- Tipo de adición estabilizador de suelos

- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- Disponibilidad del tipo de adición estabilizador
- Disponibilidad del equipo adecuado
- Costos comparativos

2.2.4.2. Propiedades en la estabilización de suelos

a. Estabilidad volumétrica

Los cambios de volumen con respecto a la humedad de muchas veces del suelo también llamado expansión y contracción ya que pueden generar graves deformaciones del suelo y esto genera consecuencias con la estructura del pavimento, es por ello necesario detectar los suelos cohesivos para su tratamiento respectivo.

b. Resistencia

La resistencia es baja cuanto mayor sea su contenido de humedad en el material, una arcilla puede alcanzar altas resistencia cuando están expuestas a altas temperaturas y al adicionar humedad es donde la disminución de la resistencia. **(Montejo, 2002).**

c. Permeabilidad

En suelos la permeabilidad se plantea en problemas básicos con la disipación de poro y el flujo de agua a través del suelo. Cuando se compacta un suelo arcilloso con humedades bajas se obtiene una alta permeabilidad ya que se forman vacíos intersticiales y se llega que a más alta sea la humedad de compactación se produce menores permeabilidades en el suelo compacto así disminuyendo grandes vacíos. **(Montejo, 2002).**

d. Comprensibilidad

El cambio de volumen o comprensibilidad influye en las propiedades de los suelos donde se altera la permeabilidad. Y las fuerzas entre partículas

tanto en sentido y magnitud en consecuencia modifican su resistencia al esfuerzo cortante. Donde la humedad es un factor importante en la comprensibilidad de los suelos compactados. (Montejo, 2002).

2.2.5. Permeabilidad de los suelos

(Angelone, y otros, 2006); Se dice que es permeable un suelo, cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen e todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactadas, incluido la pasta de cemento, por lo tanto, los materiales son permeables. La circulación de agua a través de la masa. La permeabilidad de los suelos, es decir la facultad con la que pasa a través de los poros, tienen un defecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas como son: las excavaciones a cielo abierto

Coefficiente de permeabilidad

Los estudios de Darcy también utilizan un valor de velocidad v , dicha velocidad es la velocidad de descarga que se define como la cantidad de agua que circula en la unidad de tiempo a través de una superficie unitaria perpendicular a las líneas de filtración.

Factores que influyen en el valor del coeficiente de permeabilidad del suelo

- **Relación de vacíos.** - Cuando un suelo es comprimido o vibrado, el volumen ocupado por sus elementos solidos permanece invariable, mientras que el volumen de vacíos disminuye, por lo tanto, la permeabilidad del suelo también disminuye.
- **Temperatura del agua.** - De un análisis teórico surge que el valor de coeficiente de permeabilidad del suelo es proporcional a la viscosidad cinemática del agua, expresado mediante la relación.

- **Aire encerrado y materiales extraños en los vacíos.** - Aun cuando el termino coeficiente de permeabilidad en el sentido estricto de la palabra se refiere a la condición de suelos saturados, los suelos en su condición natural, contienen pequeñas cantidades de gas encerrado u ocluido. El gas encerrado, aun cuando sea en pequeñas cantidades, tiene un efecto marcado en el coeficiente de permeabilidad. Los productos químicos disueltos presentes en el agua tienen un gran efecto sobre la fracción coloidal del suelo y por ende sobre el coeficiente de permeabilidad del mismo.

Tabla 2: Valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos, k en cm/s .

	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Según Casagrande Y Fadum	Grava limpia		Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena, limo y arcilla				Arcillas Homogéneas impermeables		
Según Clasificación Unificada	GW, GP					GM, SM, ML				GC, SC		
	SW, SP							OL, MH		CL, CH, OH		
Grado de Permeabilidad	Elevada		Media			Baja		Muy Baja		Prácticamente Impermeable		

Fuente: Casagrande y Fadum.

2.2.6. Expansividad del suelo

La expansividad del suelo corresponde al aumento de volumen que ocupa el material que conforma el suelo, causado por la absorción del agua (retención de agua en los poros), esta propiedad es la característica de las arcillas expansivas. La expansividad sucede cuando las moléculas de agua quedan atrapadas en la red cristalina, entre las cadenas de silicatos de las arcillas que se encuentran unidos por enlaces débiles, pasando a ocupar mayor volumen inicial sin que ocurra reacción química.

Tabla 3: Grado de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos.

Grado	Expansividad	Finos (%)	Limite Liquido	Hinchamiento Libre (%)
I	Baja	< 30	< 35	<1
II	Baja a Media	30 – 60	35 – 50	1-4
III	Media a Alta	60 – 95	50 – 65	4-10
IV	Muy alta	> 95	> 65	>10

Fuente: Yandry Maldonado, 2018.

2.2.7. Ensayos de suelos

2.2.7.1. Contenido de humedad

El porcentaje de humedad de un suelo es la relación del peso del agua en una masa de suelo, (MTC, 2014).

2.2.7.2. Granulometría

Realizar y determinar cuantitativamente las partículas de suelo. Este proceso describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N°200) (MTC, 2014).

Tabla 4: Tipo y tamaño de material.

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm - 4.75 mm
	Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
Arena	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
	Limo 0.075 mm - 0.005 mm
Material Fino	Arcilla menor a 0.005mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

2.2.7.3. Plasticidad de los suelos

Se encuentra suelos que al ser adicionado su contenido de agua presentan una consistencia característica. Estos tipos de suelo fueron llamados arcillas ya que la mecánica de suelos puede definir la plasticidad como la propiedad las partículas de suelo por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin alteración de volumen. (Juarez, y otros, 2005 pág. 126).

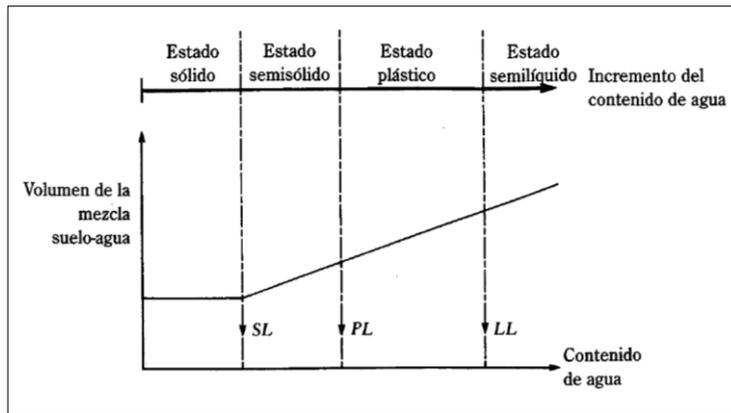


Figura 6: Definición de los límites de Atterberg.

Tabla 5: Valores típicos de consistencia del suelo.

Parámetro	Tipo de Suelo		
	Arena	Limo	Arcilla
LL	15 - 20	30 - 40	40 - 150
LP	15 - 20	20 - 25	25 - 50
IP	0 - 3	10 - 15	10 - 100

Fuente: Bañón Blázquez, 2000.

2.2.7.4. Clasificación SUCS

Esta clasificación de suelos fue propuesta por Arturo Casagrande como una adaptación más general a su sistema de clasificación en el año 1942. La clasificación se divide en suelos de grano grueso, fino y suelos orgánicos. **(Montejo, 2002 pág. 49).**

2.2.7.5. Clasificación AASHTO

De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8.

En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en un total de 12 subgrupos, **(Montejo Pag 44).**

2.2.7.6. Compactación

La compactación es la fuerza de consolidación ya que esto elimina el aire, lo que requiere energía mecánica para su obtención de esta. El grado de compactación se calculó o de acuerdo a sus términos de peso unitario seco (Braja M., 2013 pág. 91).

Características que se pretende mejorar, con la compactación son:

- Resistencia
- Compresibilidad
- Relación esfuerzo – deformación
- Permeabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la erosión

a. Prueba de Proctor modificado (ASTM D-1557).

Este ensayo se realiza para determinar un óptimo contenido de humedad, para lo cual determina la máxima densidad seca del suelo, con una compactación determinada. En este procedimiento de compactación se estudia la influencia que ejerce en el proceso de contenido inicial de agua del suelo. Es decir, para un suelo dado empleado el procedimiento descrito, que existe una humedad inicial, llamada la “óptima”, que produce el máximo peso específico.

2.2.7.7. Resistencia del suelo – Capacidad de soporte (ASTM D 1883 – 73)

El ensayo de CBR, mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte”. Se aplica para evaluar la calidad relativa de los suelos de subrasante.

Se expresa en porcentaje como la razón de carga unitaria que se requiere de la misma profundidad de una muestra de tipo piedra partida. Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados. El CBR que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para una profundidad de 0.1”. Varía de acuerdo al grado de compactación y contenido de humedad.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **ADITIVO:** Productos de origen natural o químico que se mezclan con los suelos con el propósito de estabilizarlos. Así aumentar la capacidad de soporte y la impermeabilización del suelo tratado.
- **ARCILLA:** Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de humedad y que secado al aire adquiere resistencia.
- **ASENTAMIENTO DE SUELOS:** Descenso vertical de la superficie del terreno o del terraplén, debido a la consolidación o fallas del suelo.
- **CALICATA:** Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, etc., para determinar, identificar y clasificar los materiales constituyentes de los suelos de fundación, atreves de estratigrafía y ensayos.

- **COHESIÓN (SUELO):** Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm². El suelo arcilloso tiene cohesión alta de 0,25 kg/cm² a 1.5 kg/cm², o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula
- **ESTABILIDAD:** La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
- **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS:** La estabilización de suelos tiene como finalidad mejorar sus propiedades geotécnicas: Estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad, durabilidad.
- **ESTABILIZADOR DE SUELO:** Producto químico, natural o sintético, por su acción y/o combinación con el suelo mejora una o más de sus propiedades de desempeño.
- **LIMITE LIQUIDO:** Es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo remoldeado o amasado.
- **LIMITE PLASTICO:** Humedad expresada con porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido.
- **SUELOS EXPANSIVOS:** Son aquellos suelos que tienden a presentar expansiones o contracciones de volumen cuando varía la humedad o el contenido de agua del suelo.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El aditivo organosilanos influye significativamente en la estabilización de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.

2.4.2. Hipótesis específicos

- a) El aditivo organosilanos influye significativamente en la capacidad de soporte de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.
- b) El aditivo organosilanos favorece significativamente en la expansividad de un suelo cohesivo nivel de la subrasante.
- c) El aditivo organosilanos produce efectos significativos en la permeabilidad de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable dependiente (y)

Suelo cohesivo: El suelo cohesivo contiene pequeñas partículas y suficiente arcilla para que el suelo se adhiera a sí mismo.

Variable independiente (x)

Aditivo organosilanos: Es un aditivo para suelos de última generación, capaz de repeler el agua y eliminar el hinchamiento. Por lo tanto, es un agente impermeabilizante de suelos.

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable dependiente (y): Suelo cohesivo. – Se determinó la estabilización del suelo cohesivo, en función a la capacidad de soporte, expansividad y permeabilidad.

Variable independiente (x): Aditivo organosilanos. - Se evaluó los resultados de acuerdo a las dosificaciones del aditivo, mediante los ensayos de mecánicas de suelos y cálculos.

2.5.3. Operacionalidad de la variable

Tabla 6: Variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
DE SUELO COHESIVO El suelo cohesivo contiene pequeñas partículas y suficiente arcilla para que el suelo se adhiera a sí mismo	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de soporte. 	So: CBR < 3% S1: CBR ≥ 3% a CBR < 6% S2: CBR ≥ 6% a CBR < 10% S3: CBR ≥ 10% a CBR < 20% S4: CBR ≥ 20% a CBR < 30% S5: CBR ≥ 30%
	<ul style="list-style-type: none"> Expansividad 	Bajo: <1 Bajo a Media 1 – 4% Media a Alto 4 – 10% Muy alta > 10%
	<ul style="list-style-type: none"> Permeabilidad 	Elevada: $10^2 - 10^{-1}$ cm/s Media: $10^{-1} - 10^{-3}$ cm/s Baja: $10^{-3} - 10^{-5}$ cm/s Muy Baja: $10^{-5} - 10^{-7}$ cm/s Prácticamente impermeable: $10^{-7} - 10^{-9}$ cm/s

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
ADITIVO		
ORGANOSILANO	Dosificación	Tratamientos:
Es un aditivo para	de aditivo organosilanos	Testigo: 0 kg/m ³
suelos de última		T1 : 0.5 kg/m ³
generación, capaz de		T2 : 1.0 kg/m ³
repeler el agua,		T3 : 1.5 kg/m ³
eliminar el		
hinchamiento.		

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III METODOLOGIA

3.1. Método de la investigación

El método de la investigación fue el científico, donde consistió en un procedimiento que partió de unas afirmaciones en calidad de hipótesis y se buscó objetar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, porque se preocupó por la aplicación del conocimiento científico producto de la investigación ya existente, donde se utilizó aditivo organosilanos para conocer, modificar, los problemas de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante, asimismo la información obtenida a través de esta investigación deberá ser también aplicable en cualquier lugar y por tanto ofrece oportunidades significativas para su difusión.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de Investigación fue explicativo. Porque se buscó las causas y efectos de las variables en estudio, explicó porque ocurre un fenómeno de la estabilización y en qué circunstancias ocurre.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental. Porque la investigación se apoyó en las observaciones de fenómenos provocados y manipulados en laboratorio de mecánica de suelos.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población corresponde a todas las calles del Distrito de Chilca: que se encuentran ubicadas en la Provincia de Huancayo - Región Junín.

3.5.2. Muestra

Tipo de muestreo es no probabilística e intencional, se seleccionó Jr. Humboldt- Azapampa - Chilca – Huancayo, porque durante los ensayos pre experimentales que se realizaron se obtuvo el % de CBR era menor a 6%, que es una subrasante inadecuada y pobre.

El trabajo de investigación tiene un modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

. $i = 1, 2, 3, \dots, t$

. $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Donde:

Y_{ij} = Observaciones (CBR, expansividad y permeabilidad).

μ = Media general.

τ_i = Efecto del tratamiento (estabilización).

e_{ij} = Error asociado a cada observación, donde $e_{ij} \sim N(\mu, s^2)$.

NÚMERO DE ENSAYOS REQUERIDOS PARA ESTUDIOS EN LABORATORIO,

Se usará la expresión de intervalo de confianza de dos lados para una distribución Normal.

$$K_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \left[\frac{\sigma}{n^{0.5}} \right] = \text{Máximo error permitido}$$

Dónde:

$K_{\alpha/2}$: Es el número de veces que se debe contemplar la desviación estándar para lograr un determinado grado de confiabilidad.

σ : desviación estándar encontrada para el CBR en suelos similares en otros proyectos.

Se sugiere un nivel de confianza del 95% y un máximo error permitido en términos de % en CBR igual a 2% para suelos finos. La desviación estándar igual a 3.40% (**Montejo, A. 2002, p. 185**)

$$K_{\frac{\alpha}{2}} = 1.645$$

$$\sigma = 3.4\%$$

Luego se tiene:

$$K_{\alpha/2} * \left[\frac{\sigma}{n^{0.5}} \right] = 2\%$$

Reemplazando los datos:

$$n = 7.8 \text{ muestras}$$

Aproximadamente 8 ensayos serán necesarias satisfacer los requerimientos.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Recolectar los datos significa:

- Seleccionar un instrumento de medición ya existente o desarrollar uno propio.

- Aplicar el instrumento de medición.
- Preparar las mediciones obtenidas para que sean analizados correctamente.

3.6.1. Técnicas de Recolección de Datos

La manera o método que se utilizó fue la observación del terreno para tomar datos generales y se realizó las calicatas de acuerdo a la norma de MTC, de la misma forma para obtener la muestra suelo y realizar los ensayos requeridos en el laboratorio de mecánica de suelos.

Tabla 8: *Ensayos Realizados*

ENSAYOS	NORMA
PROPIEDADES FÍSICAS	
Contenido de Humedad de un suelo	MTC E 108
Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado	MTC E 107
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico	MTC E 111
Clasificación de suelos método SUCS	NTP 339.134
Clasificación de suelos método AASHTO	NTP 339.135
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Proctor Modificado	MTC E 115
Relación de soporte (CBR)	MTC E 132

Fuente: *Ministerio de Transporte y Comunicación.*

Cantidad de ensayos para estudio de la subrasante.

Tabla 9: Cantidad de ensayos realizados por calicata.

Ensayos de la Subrasante para un Calicata	
ENSAYOS	CANTIDAD
PROPIEDADES FISICAS	
Análisis Mecánico por Tamizado	1
Contenido de humedad	1
Limite Liquido	4
Limite Plástico	2
PROPIEDADES MECANICAS	
Proctor Modificado	4
Relación de Soporte (CBR)	3
CANTIDAD DE ENSAYOS DE LA SUBRASANTE MAS ADICION DEL ADITIVO ORGANOSILANO	
Relación de Soporte (CBR)	3

Fuente: Ministerio de transportes y comunicación.

Cantidad requerida de material

Realizamos un cuadro donde determinamos la cantidad de material para poder realizar los ensayos de acuerdo a las normas vigentes.

Tabla 10: Cantidad de material requerido.

TOTAL DE MATERIAL REQUERIDO				
ENSAYOS	NORMA	CALICATA	USO	PROPOSITO DEL ENSAYO
Contenido de humedad de un suelo	MTC E 108	0.20 kg	Clasificación	Para determinar el contenido existente en el terreno.
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 107	0.70 kg	Clasificación	Para determinar la distribución del tamaño de las partículas del suelo.
Determinación del límite líquido de los suelos	MTC E 110	0.20 kg	Clasificación	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico.
Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad	MTC E 111	0.20 kg	Clasificación	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semi sólido.
Proctor modificado	MTC E 115	12.00 kg	Diseño de espesores	Determina la humedad óptima de Compactación.
CBR	MTC E 132	18.00 kg	Diseño de espesores	Capacidad de soporte del terreno.

FUENTE: Elaboración propia.

Para el caso de expansividad

- Para determinar la expansividad

Se toma la primera lectura para medir la expansividad colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante. Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir la expansión. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas.

Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

$$\% \text{ de expansión} = \frac{L2 - L1}{127} * 100$$

Siendo:

L1 = Lectura inicial en mm

L2 = Lectura final en mm

Para el caso de la permeabilidad

- Las probetas utilizadas para ambos casos deben provenir de las muestras alteradas e inalteradas.
- En la medida de lo posible utilizar muestras pequeñas, dado que brindan la posibilidad de realizar un mayor número de pruebas en menos tiempo.
- Las dimensiones de los permeámetros tienen límites muy amplios.
- Las normas para la realización de este ensayo se describen en ASTM D 5084 (para todos los suelos)
- Ambas experiencias determinan la permeabilidad de suelos bajo condiciones específicas. Es tarea del investigador determinar las condiciones de prueba de manera que sean representativas del problema que se está considerando.
- El proceso se ve afectado por la presencia de aire o gases en los poros, en el permeámetro o en el agua. Deben tomarse las siguientes precauciones necesarias para evitar que esto suceda.

Dosificación Aditivo organosilanos

Formado al 100% por organosilanos, capaz de repeler el agua, eliminar el hinchamiento y la absorción de suelos. Es, por tanto, un agente impermeabilizante de suelos, que aporta ventajas adicionales a la estabilización tradicional de suelos.

Dosificación Óptima del Aditivo organosilanos

Agua – aditivo organosilanos: Necesario para alcanzar una compactación óptima.

0,2-2 kg/m³. Según la ficha técnica del aditivo.

Para realizar los ensayos, se trabajó con las siguientes dosificaciones.

Tabla 11: Dosificación del aditivo organosilanos por tratamiento.

Tratamientos	Dosis de aditivo organosilanos (kg/m³)
Testigo	0
Tratamiento 1	0.5
Tratamiento 2	1
Tratamiento 3	1.5

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Procesamiento de la información

Esta etapa comprende el procesamiento de los datos recopilados, el análisis e interpretación de los resultados y la preparación del esquema preliminar del informe de investigación. Se identificarán las actividades importantes:

- 1° Aplicación o medición muestra con los instrumentos, pruebas previas.
- 2° Validación de los datos o pruebas.
- 3° Aplicación de los instrumentos para recogida de datos (trabajo de campo) o realización de experimento en el laboratorio de mecánica de suelos de acuerdo a mi diseño experimental.
- 4° Procesamiento de datos cualitativos y cuantitativos de los datos.
- 5° Interpretación y discusión de resultados.

3.8. Técnicas y análisis de datos

Son herramientas útiles para organizar, describir y analizar los datos recogidos con los instrumentos de investigación. El análisis de datos encierra dos procedimientos:

3.8.1. Organization de datos obtenidos de los ensayos que fuerón realizados en laboratorio.

Una vez recogido los datos, se necesita organizarlos, es decir, prepararlos para su análisis para dar respuesta a la pregunta inicial y, si corresponde, poder aceptar o rechazar la hipótesis de estudio.

Matriz de tabulación

Tabla 12: Resultados de CBR a 0.1" de penetración y a un MDS 95%.

TRAT (KG/M3)	PENETRACION	MDS (%)	CBR (%)
TESTIGO	0.1"	95	5.54
TESTIGO	0.1"	95	5.51
TESTIGO	0.1"	95	5.49
TESTIGO	0.1"	95	5.60
TESTIGO	0.1"	95	5.59
TESTIGO	0.1"	95	5.50
TESTIGO	0.1"	95	5.48
TESTIGO	0.1"	95	5.58
T=0.5	0.1"	95	14.90
T=0.5	0.1"	95	14.80
T=0.5	0.1"	95	14.85
T=0.5	0.1"	95	14.82
T=0.5	0.1"	95	14.98
T=0.5	0.1"	95	14.79
T=0.5	0.1"	95	14.80
T=0.5	0.1"	95	14.79
T=1.0	0.1"	95	25.04
T=1.0	0.1"	95	22.37
T=1.0	0.1"	95	23.45
T=1.0	0.1"	95	25.39
T=1.0	0.1"	95	24.52
T=1.0	0.1"	95	24.67
T=1.0	0.1"	95	26.74
T=1.0	0.1"	95	27.41
T=1.5	0.1"	95	39.15
T=1.5	0.1"	95	43.71
T=1.5	0.1"	95	46.24
T=1.5	0.1"	95	43.97
T=1.5	0.1"	95	45.16
T=1.5	0.1"	95	42.90
T=1.5	0.1"	95	43.15
T=1.5	0.1"	95	42.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Porcentaje de Expansividad

TRAT	EXPANSIVIDAD (%)
TESTIGO	4.17
	4.24
	4.09
	4.21
	4.08
	4.05
	4.03
	4.28
T1=0.5kg/m ³	2.66
	2.71
	2.91
	2.75
	2.70
	2.67
	2.71
	2.68
T1=1.0 kg/m ³	1.12
	1.13
	1.15
	1.14
	1.13
	1.13
	1.13
	1.13
T1=1.5kg/m ³	0.94
	0.93
	0.91
	0.93
	0.91
	0.94
	0.92
	0.93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Permeabilidad de un suelo cohesivo en laboratorio

TRAT	PERMEABILIDAD (cm/s)
TESTIGO	2.6E-6
	2.3E-6
	2.3E-6
	2.0E-6
	2.4E-6
	2.0E-6
	2.5E-6
	2.4E-6
T1=0.5kg/m ³	1.8E-6
	1.8E-6
	1.8E-6
	1.9E-6
	1.7E-6
	1.7E-6
	1.8E-6
	1.9E-6
T1=1.0 kg/m ³	1.2E-6
	1.2E-6
	1.2E-6
	1.3E-6
	1.3E-6
	1.3E-6
	1.1E-6
	1.2E-6
T1=1.5kg/m ³	5.2E-7
	6.0E-7
	6.3E-7
	5.8E-7
	6.6E-7
	6.9E-7
	7.2E-7
	6.3E-7

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

Son aquellas que se basan en la estadística, estas sirven para describir, graficar, analizar, comparar los datos obtenidos, donde se recurrirá a la aplicación de softwares como: SPSS y EXCEL.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Estadísticos Descriptivos de CBR.

En la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, presentan los promedios de CBR, expansividad y permeabilidad del suelo en estudio.

Tabla 15: Análisis de varianza para CBR.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRAT	6295	3	2098.4	1191	<2e ⁻¹⁶
RESIDUOS	49	28	1.8		
TOTAL (Corr.)	6344	31			

Fuente: *Elaboración propia.*

Como se puede observar la tabla 15, se puede decir que la adición del aditivo organosilanos si influye significativamente en el incremento del % de CBR.

Tabla 16: Medias de Mínimos Cuadrados para CBR.

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior	Desviación estándar
TOTAL	32	22.17	2.530	5.48	46.24	14.310
TRAT						
TESTIGO	8	5.53	0.017	5.48	5.60	0.048
0.5 kg/m³	8	14.84	0.023	14.79	14.98	0.067
1.0 kg/m³	8	24.95	0.577	22.37	27.41	1.631
1.5 kg/m³	8	43.36	0.740	39.15	46.24	2.092

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 16, la media del % CBR se incrementa a mayor dosis del aditivo organosilanos. También podemos decir que el error estándar es menor al 2%. Máximo error permitido en términos de % en CBR igual a 2% para suelos finos. La desviación estándar igual a 3.40%. (Montejo, A. 2002, p. 185)

Tabla 17: Pruebas de Medias, Tukey.

TRAT	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Testigo	8	5.53	0.017	A
0.5 kg/m³	8	14.84	0.023	B
1.0 kg/m³	8	24.95	0.577	C
1.5 kg/m³	8	43.36	0.740	D

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 17, Que el tratamiento (los niveles de aditivo organosilanos) sí influye sobre el % CBR, a mayor dosis de aditivo organosilanos aumenta el %CBR, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.

4.4.2. Estadísticos Descriptivos de Expansividad

Tabla 18: Análisis de varianza para Expansividad (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razó n-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRAT	54.48	3	18.161	4695	<2e-16
RESIDUOS	0.11	28	0.004		
TOTAL (Corr.)	54.59	31			

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 18, se puede decir que la adición del aditivo organosilanos si influye significativamente en la disminución del % de expansividad.

Tabla 19: Medias de Mínimos Cuadrados para Expansividad.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>	<i>Desviación estándar</i>
TOTAL	32	2.23	0.230	0.91	4.28	3.370
Testigo	8	4.144	0.033	4.03	4.28	0.094
0.5 kg/m³	8	2.724	0.028	2.66	2.91	0.080
1.0 kg/m³	8	1.133	0.003	1.12	1.15	0.009
1.5 kg/m³	8	0.926	0.004	0.91	0.94	0.012

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 19, la media del % expansividad se disminuye a medida que incrementa la dosis del aditivo organosilanos.

Tabla 20: Prueba de Medias, Tukey.

<i>TRAT</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Testigo	8	4.144	0.230	A
0.5 kg/m³	8	2.724	0.033	B
1.0 kg/m³	8	1.133	0.028	C
1.5 kg/m³	8	0.926	0.003	D

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 20, El tratamiento (los niveles de aditivo organosilanos) sí influye sobre el % de expansividad, a mayor dosis de aditivo organosilanos

disminuye el % expansividad, por lo tanto, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.

4.4.3. Estadísticos Descriptivos de Permeabilidad

Tabla 21: ANOVA para Permeabilidad (cm/s)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TRAT	1.27E-11	3	4.23E-12	274	<2e-16
RESIDUOS	4.32E-13	28	1.50E-14		
Total (Corr.)	1.3 E-11	31			

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 21, se puede decir que la adición del aditivo organosilanos si influye significativamente en la disminución de la permeabilidad.

Tabla 22: Error Estándar de Permeabilidad.

Nivel	Casos	Media	Error estándar	Límite Inferior	Límite Superior	Desviación estándar
Total	32	1.49E-06	2.03E-08	5.20E-07	2.60E-06	6.50E-07
Testigo	8	2.31E-06	7.70E-08	2.00E-06	2.60E-06	2.17E-07
0.5 kg/m³	8	1.80E-06	2.70E-08	1.70E-06	7.20E-06	7.60E-08
1.0 kg/m³	8	1.23E-06	2.50E-08	1.10E-06	1.30E-06	7.10E-08
1.5 kg/m³	8	6.29E-07	2.20E-08	5.20E-07	1.90E-07	6.30E-08

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 22, la media de la permeabilidad se disminuye a medida que incrementa la dosis del aditivo organosilanos.

Tabla 23: Prueba de Medias, Tukey.

TRATAMIEN TO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Testigo	8	2.31E-06	A
0.5 kg/m ³	8	1.80E-06	B
1.0 kg/m ³	8	1.23E-06	C
1.5 kg/m ³	8	6.29E-07	D

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 23, El tratamiento (los niveles de aditivo organosilanos) sí influye sobre la permeabilidad, a mayor dosis de aditivo organosilanos disminuye la permeabilidad, por lo tanto, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.

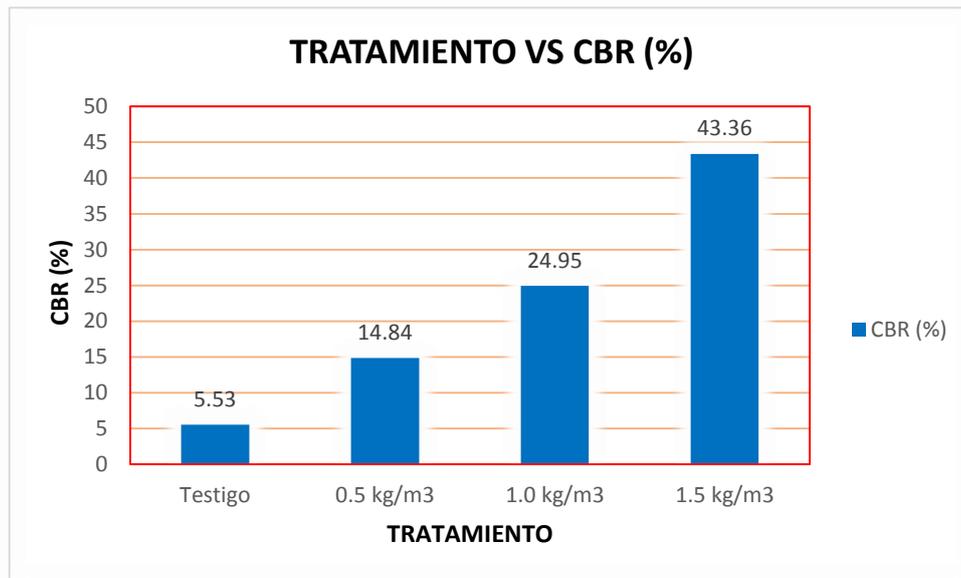


Figura 6: Relación de tratamiento vs porcentaje de CBR.

Como se puede observar la figura 6, se tiene una relación directamente proporcional, a medida que incrementa la dosis del aditivo organosilanos, también incrementa el porcentaje de CBR.

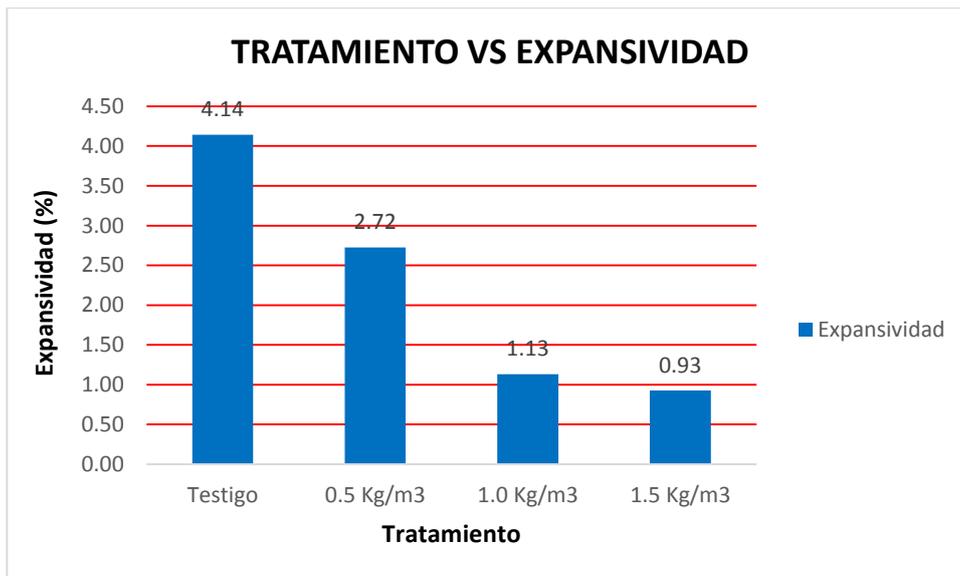


Figura 7: Relación de Tratamiento vs porcentaje de expansividad.

En la figura 7, la relación de que tiene la dosificación del aditivo organosilanos con el porcentaje de expansividad es inversamente proporcional, ya incrementa la dosis del aditivo organosilanos disminuye el porcentaje de expansividad.

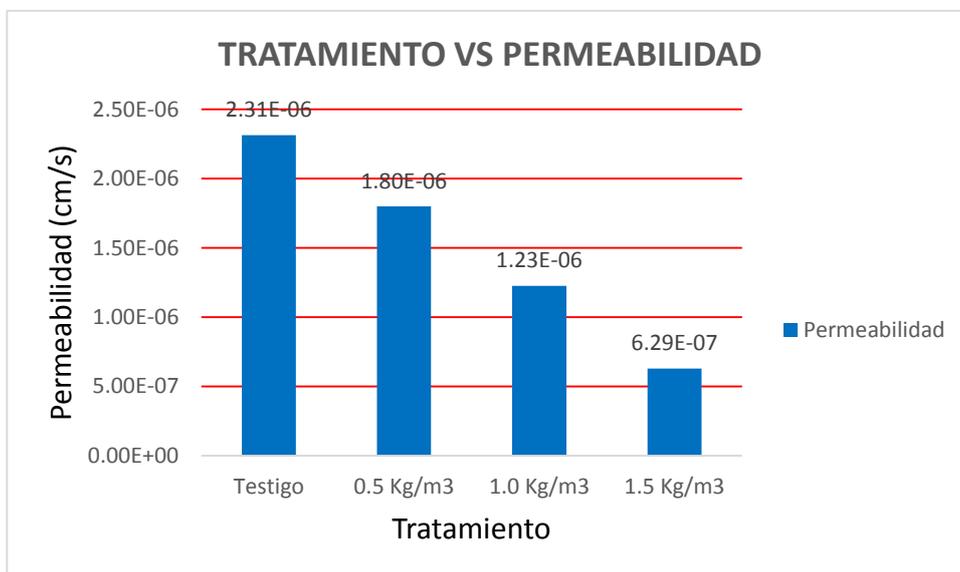


Figura 8: Relación de tratamiento vs permeabilidad.

Por ultimo en la figura 8, la relación de que tiene la dosificación del aditivo organosilanos con la permeabilidad es inversamente proporcional, ya incrementa la dosis del aditivo organosilanos disminuye la permeabilidad.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados podemos decir que el error estándar es menor al 2%. Máximo error permitido en términos de % en CBR igual a 2% para suelos finos. La desviación estándar igual a 3.40%. **(Montejo, A. 2002)**.

A medida que se incrementa la dosificación del aditivo organosilanos incrementa el %CBR. El suelo sin aditivo tiene un CBR de 5.53 +/- 0.048%, donde incremento hasta un 43.36 +/-2.092% a una dosis del Aditivo organosilanos de T3= 1.5 kg/m³, al comparar nuestro resultado con **Rodríguez, D. (2016)**; comprobó que el mejoramiento de suelo con el aditivo organosilanos, aumenta el 14% de su capacidad de soporte, después de haber transcurrido 7 días de ser realizado el ensayo con la misma dosis.

Según **Rodríguez, D. (2016)**; La capacidad de absorción del suelo disminuye en un 27.86% a los 7 días de curado, también dependerá de las condiciones climatológicas del lugar. De acuerdo a los resultados de permeabilidad, la capacidad de absorción ha disminuido en un 25.98% en la

misma dosis de 0.5 kg/m³, con la diferencia que no realizamos nosotros el curado.

Según (De la Cruz, y otros, 2016); Ensayos realizados con aditivo Eco Road 2000, de los ensayos de CBR aplicando el aditivo se obtuvieron que siete calicatas llegan a tener más del 40% de CBR, cumpliendo para material de sub base, así también, se obtuvieron que tres calicatas llegan a tener un CBR de 38.55%, 36.10%, 21.70% los cuales cumplen con: >20% de CBR es una subrasante muy buena y una subrasante excelente. Y de acuerdo a mis resultados para el T1= 0.5 kg/m³ su CBR de 14.84 +/-0.067% es una subrasante muy buena mientras para el T2 = 1.0 kg/m³ su CBR de 24.95 +/- 1.631% y T3= 1.5 kg/m³ su CBR de 43.36 +/- 2.092%, se puede observar que el CBR es mayor a 10% por lo tanto es una subrasante buena, muy buena y excelente.

CONCLUSIONES

1. El aditivo organosilanos influye significativamente en la estabilización de suelos cohesivos, que presenta una subrasante inadecuada o mala a una subrasante buena, muy buena y excelente dependerá de la dosificación del aditivo, también disminuyendo la permeabilidad y la expansividad.
2. Los niveles de aditivo organosilanos sí influye sobre el % CBR, a mayor dosis de aditivo organosilanos aumenta el %CBR, el testigo presenta un CBR de $5.53 \pm 0.017\%$ y en el T1 un CBR de $14.84 \pm 0.048\%$, T2 un CBR de $24,94 \pm 0.557\%$ y T3 un CBR de $46.24 \pm 0.740\%$. por lo tanto, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.
3. Los niveles de aditivo organosilanos sí influye sobre el % de expansividad de un suelo cohesivo, a mayor dosis de aditivo organosilanos disminuye el % de expansividad, donde el testigo presenta una expansividad de $4.144 \pm 0.033\%$, en T1 su expansividad es de $2.724 \pm 0.028\%$, T2 su expansividad es de $1.133 \pm 0.037\%$ y por ultimo T3 su expansividad es de $0.926 \pm 0.064\%$. Por lo tanto, todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.
4. Los niveles de aditivo organosilanos sí produce efectos sobre la permeabilidad, a mayor dosis de aditivo disminuye la permeabilidad, donde el testigo su permeabilidad es $2.31E-6 \pm 7.70E-8$ cm/s en el T1 su permeabilidad es $1.80E-6 \pm 2.70E-8$ cm/s, T2 su permeabilidad es $1.23E-6 \pm 2.50E-8$ cm/s y en el T3 su permeabilidad es $6.29E-7 \pm 2.20E-8$ cm/s. Por lo tanto todos son "SIGNIFICATIVOS" a la comparación de medias.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar o conocer la máxima dosis de aditivo organosilanos que puede emplearse para la estabilización de un suelo cohesivo a nivel de subrasante así determinar el rango máximo y así obtener conclusiones como por ejemplo en caso de la cal que por ningún motivo se debe emplear más del 8% de cal en el suelo, ya que se aumenta la resistencia pero también la plasticidad además la fracción del suelo que pasa la Malla N° 40 debe tener un índice de Plasticidad comprendido entre 10 y 50.
2. Los suelos que se usan para la estabilización de Suelo - aditivo organosilanos deben estar limpios y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica.
3. Se recomienda realizar estudios, para obtener una mejor información sobre estabilización de la subrasante, se podría realizar las siguientes combinaciones como: suelo-aditivo organosilanos y cemento, suelo-aditivo organosilanos y cal.
4. No se debe realizar trabajos de mejoramiento en condiciones de lluvias ya que la humedad aumenta y el suelo se satura e impide la filtración del aditivo organosilanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bañon, L., & Bevia, J. (2010). Manual de Carreteras Construcción y Mantenimiento (Vol II).
2. Barbeta, G. (2002). Mejora de la tierra Estabilizada en el Desarrollo de una Arquitectura Sostenible hacia el siglo XXI. Barcelona - España.
3. Barrera, M., & Garnica, P. (2002). Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. (Documento Técnico N°198). Instituto Mexicano de Transporte Mexicano. Mexico.
4. Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación. Colombia.
5. Braja M., D. (2013). Fundamentos de la ingeniería Geotecnia, (4ta Edición). Mexico D.F.: Producción de y de Plataformas Digitales para Latinoamérica.
6. Ccanto M., G. (2010). Metodología de la Investigación Científica en Ingeniería Civil, Ingeniería de Transportes. Lima -Perú.
7. Delgado, A. (2011). Estabilización de Suelos para atenuar los efectos de Plasticidad del material de la Subrasante de la carretera Montecristi - Los Bajos. Universidad Técnica de Manabí- Ecuador.
8. Diego Israel , R. V. (2016). "Análisis Comparativo de la Compactación y Humedad de la Subrasante Natural y la Subrasante Utilizando Productos Químicos Biodegradables (Terrasil), de la Vía Ecológica del Cantón Quevedo, Provincia de los Ríos." AMBATO.
9. Gavilanes, B. (2015). Estabilización y mejoramiento de la Subrasante mediante cal y cemento para una obra vial del sector de Pamba Barrio Colinas del Sur - Quito. QUITO.
10. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación (6ta Edición). Mexico DF: S.A. de C.V.
11. Juárez, B., & Rico, R. (2005). Mecánica de suelos (2° ed. Vol. II). Mexico: Lisuma S.A. .
12. Kerlinger, F. (1979). Enfoque conceptual de la Investigación del comportamiento. Interamericana - México.

13. Menéndez, J. (2013). Ingeniería de Pavimentos, Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima- Perú.
14. Montejo, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carretera (2° Ed.). Bogotá.
15. MTC. (2014). Ministerio de Transporte y Comunicación, Dirección general de comunicación y Ferrocarriles: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima.
16. NTP. (2014). Método de Ensayo para determinar el Límite líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad de suelos- NTP 339.129. Lima- Perú.
17. NTP 339, 0. (2014). Obtención en Laboratorio de Muestras Representativas (Cuarteo). Perú. Indecopi.
18. Ochoa, P., & Rojas, N. (2015). Implicancia del Índice de Congelación y el tipo de suelos en los procesos de Compactación en el Mejoramiento de la Carretera Anane -Cojota- Puno. Puno.
19. Palomino, T. (2016). Capacidad Portante (CBR) de un Suelo Arcilloso, con la incorporación del Estabilizador Maxxseal 100- Cajamarca. Cajamarca.
20. Ramón, B. (2013). "Mejoramiento de Subrasantes de Baja Capacidad Portante por medio de la Aplicación de Correlación Deflectométrica". Lima - Perú.
21. Rodríguez, D. (2016). Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y de la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (Terrasil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de Los Ríos- Ecuador. LOS RÍOS.
22. Ruano, I. (2012). Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de Arenas Volcánicas y Cal viva - Guatemala. Guatemala.
23. Sabino, C. (2006).
24. Ugaz, P. (2006). Estabilización de suelos y su Aplicación en el Mejoramiento de la Subrasante. Lima.

25. Valle, A. (2010). Estabilización de Suelos Arcillosos Plásticos con Mineralizadores en Ambientes Sulfatados. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
26. Zepeda, J., & Pérez, M. (1990). Suelos expansivos en la República Mexicana y el caso de la ciudad de Querétaro. San Luis Potosí - México.
27. Zorrilla, A. (1993). Introducción de la Metodología a la Investigación. México.

ANEXO

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

ANEXO 2: TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO.

ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL
LABORATORIO.

ANEXO 5: PANEL FOTOGRAFICO.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo influye el aditivo organosilanos sobre la estabilización en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?</p> <p>Problema Específico</p> <p>¿De qué manera influye el aditivo organosilanos en la capacidad de soporte en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?</p> <p>¿En qué medida favorece el aditivo organosilanos en la expansividad en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?</p> <p>¿Qué efectos produce el aditivo organosilanos en la permeabilidad en un suelo cohesivo a nivel de subrasante?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la influencia del aditivo organosilanos en la estabilización un suelo cohesivo a nivel de subrasante</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Evaluar la influencia del aditivo organosilanos en la capacidad de soporte de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.</p> <p>Determinar en qué medida favorece el aditivo organosilanos en la expansividad de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.</p> <p>Determinar los efectos del aditivo organosilanos en la permeabilidad de un suelo cohesivo a nivel de subrasante.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El aditivo organosilanos influye significativamente en la estabilización de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.</p> <p>Hipótesis específicos</p> <p>El aditivo organosilanos influye significativamente en la capacidad de soporte de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.</p> <p>El aditivo organosilanos favorece significativamente en la expansividad de un suelo cohesivo nivel de la subrasante.</p> <p>El aditivo organosilanos produce efectos significativos en la permeabilidad de un suelo cohesivo a nivel de la subrasante.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Aditivo organosilanos</p> <p>Dimensiones</p> <p>Dosificación del aditivo organosilanos</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Suelos cohesivos</p> <p>Dimensiones</p> <p>Capacidad de soporte</p> <p>Expansividad</p> <p>Permeabilidad</p>	<p>Método de investigación</p> <p>Científico</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Investigación básica</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Investigación explicativa.</p> <p>Diseño de la Investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Población</p> <p>La población corresponde a todas las calles del distrito de Chilca: que se encuentran ubicadas en la provincia de Huancayo y región Junín.</p> <p>Muestra</p> <p>Tipo de muestreo es no probabilística e intencional, se seleccionó porque durante los ensayos pre experimentales se obtuvo el % de CBR era menor a 6% en el Jr. Humboldt- Azapampa - Chilca – Huancayo.</p>

Autor: Bach. ESTHER MARTINEZ CHAVEZ

Tabla 24: Datos obtenidos de los ensayos de CBR.

TRAT (Kg/cm³)	PENETRACION (Pulg.)	MDS (%)	CBR (%)
TESTIGO	0.1	95	5.54
TESTIGO	0.1	95	5.51
TESTIGO	0.1	95	5.49
TESTIGO	0.1	95	5.60
TESTIGO	0.1	95	5.59
TESTIGO	0.1	95	5.50
TESTIGO	0.1	95	5.48
TESTIGO	0.1	95	5.58
TESTIGO	0.1	100	7.81
TESTIGO	0.1	100	7.79
TESTIGO	0.1	100	7.90
TESTIGO	0.1	100	7.00
TESTIGO	0.1	100	7.77
TESTIGO	0.1	100	7.89
TESTIGO	0.1	100	7.85
TESTIGO	0.1	100	7.78
TESTIGO	0.2	95	10.11
TESTIGO	0.2	95	10.15
TESTIGO	0.2	95	10.12
TESTIGO	0.2	95	10.80
TESTIGO	0.2	95	10.00
TESTIGO	0.2	95	10.18
TESTIGO	0.2	95	10.16
TESTIGO	0.2	95	10.10
TESTIGO	0.2	100	13.04
TESTIGO	0.2	100	13.14
TESTIGO	0.2	100	13.00
TESTIGO	0.2	100	13.12
TESTIGO	0.2	100	13.90
TESTIGO	0.2	100	14.00
TESTIGO	0.2	100	13.02
TESTIGO	0.2	100	13.00
T=0.5	0.1	95	14.90
T=0.5	0.1	95	14.80
T=0.5	0.1	95	14.85
T=0.5	0.1	95	14.82
T=0.5	0.1	95	14.98
T=0.5	0.1	95	14.79
T=0.5	0.1	95	14.80
T=0.5	0.1	95	14.79
T=0.5	0.1	100	22.48

T=0.5	0.1	100	22.38
T=0.5	0.1	100	22.30
T=0.5	0.1	100	22.40
T=0.5	0.1	100	22.45
T=0.5	0.1	100	22.39
T=0.5	0.1	100	22.50
T=0.5	0.1	100	22.48
T=0.5	0.2	95	28.90
T=0.5	0.2	95	28.82
T=0.5	0.2	95	28.94
T=0.5	0.2	95	28.98
T=0.5	0.2	95	28.89
T=0.5	0.2	95	28.80
T=0.5	0.2	95	28.88
T=0.5	0.2	95	28.91
T=0.5	0.2	100	38.22
T=0.5	0.2	100	38.40
T=0.5	0.2	100	38.36
T=0.5	0.2	100	38.30
T=0.5	0.2	100	38.28
T=0.5	0.2	100	38.30
T=0.5	0.2	100	38.20
T=0.5	0.2	100	38.25
T=1.0	0.1	95	25.04
T=1.0	0.1	95	22.37
T=1.0	0.1	95	23.45
T=1.0	0.1	95	25.39
T=1.0	0.1	95	24.52
T=1.0	0.1	95	24.67
T=1.0	0.1	95	26.74
T=1.0	0.1	95	27.41
T=1.0	0.1	100	32.45
T=1.0	0.1	100	30.14
T=1.0	0.1	100	31.08
T=1.0	0.1	100	33.10
T=1.0	0.1	100	32.07
T=1.0	0.1	100	31.52
T=1.0	0.1	100	32.75
T=1.0	0.1	100	33.72
T=1.0	0.2	95	34.91
T=1.0	0.2	95	35.61
T=1.0	0.2	95	35.27
T=1.0	0.2	95	36.03
T=1.0	0.2	95	34.86
T=1.0	0.2	95	35.98
T=1.0	0.2	95	38.65

T=1.0	0.2	95	34.92
T=1.0	0.2	100	41.08
T=1.0	0.2	100	42.02
T=1.0	0.2	100	42.83
T=1.0	0.2	100	43.89
T=1.0	0.2	100	43.91
T=1.0	0.2	100	42.71
T=1.0	0.2	100	44.96
T=1.0	0.2	100	43.46
T=1.5	0.1	95	39.15
T=1.5	0.1	95	43.71
T=1.5	0.1	95	46.24
T=1.5	0.1	95	43.97
T=1.5	0.1	95	45.16
T=1.5	0.1	95	42.90
T=1.5	0.1	95	43.15
T=1.5	0.1	95	42.56
T=1.5	0.1	100	57.02
T=1.5	0.1	100	56.30
T=1.5	0.1	100	57.00
T=1.5	0.1	100	56.90
T=1.5	0.1	100	57.12
T=1.5	0.1	100	57.20
T=1.5	0.1	100	57.18
T=1.5	0.1	100	57.08
T=1.5	0.2	95	56.52
T=1.5	0.2	95	66.53
T=1.5	0.2	95	68.17
T=1.5	0.2	95	67.15
T=1.5	0.2	95	65.58
T=1.5	0.2	95	63.74
T=1.5	0.2	95	64.25
T=1.5	0.2	95	63.47
T=1.5	0.2	100	78.25
T=1.5	0.2	100	78.20
T=1.5	0.2	100	78.32
T=1.5	0.2	100	78.28
T=1.5	0.2	100	78.08
T=1.5	0.2	100	78.00
T=1.5	0.2	100	78.16
T=1.5	0.2	100	78.18

Anexo 4

PANEL FOTOGRÁFICO.

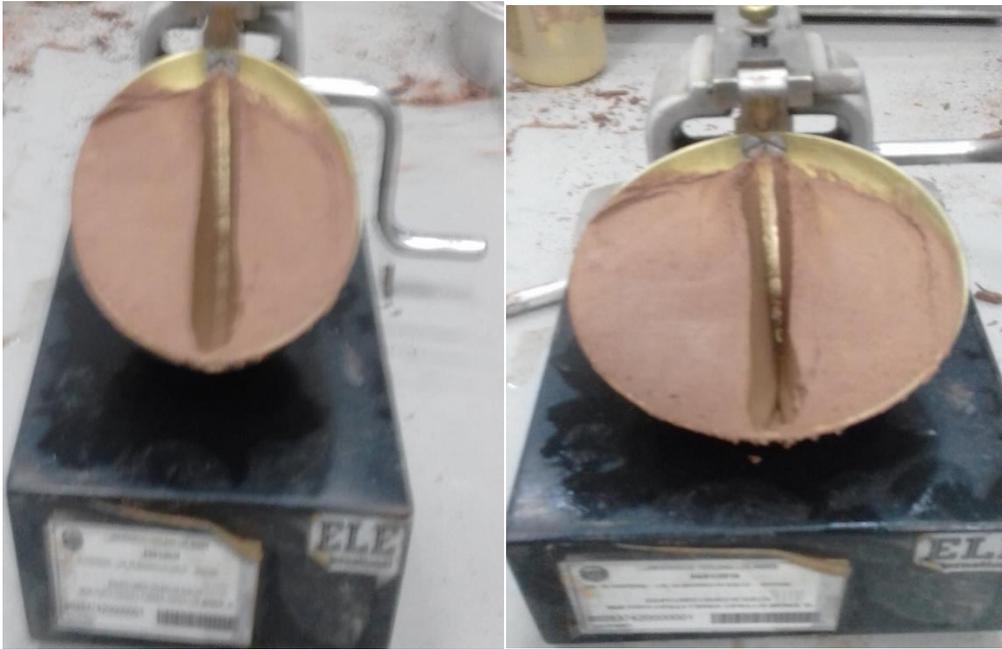


FOTO N°01: Ensayo de límite líquido



FOTO N°02: Muestras húmeda más tara, para determinar el límite líquido del suelo.



FOTO N°03: Muestras seca más tara, para determinar el límite plástico de la muestra.

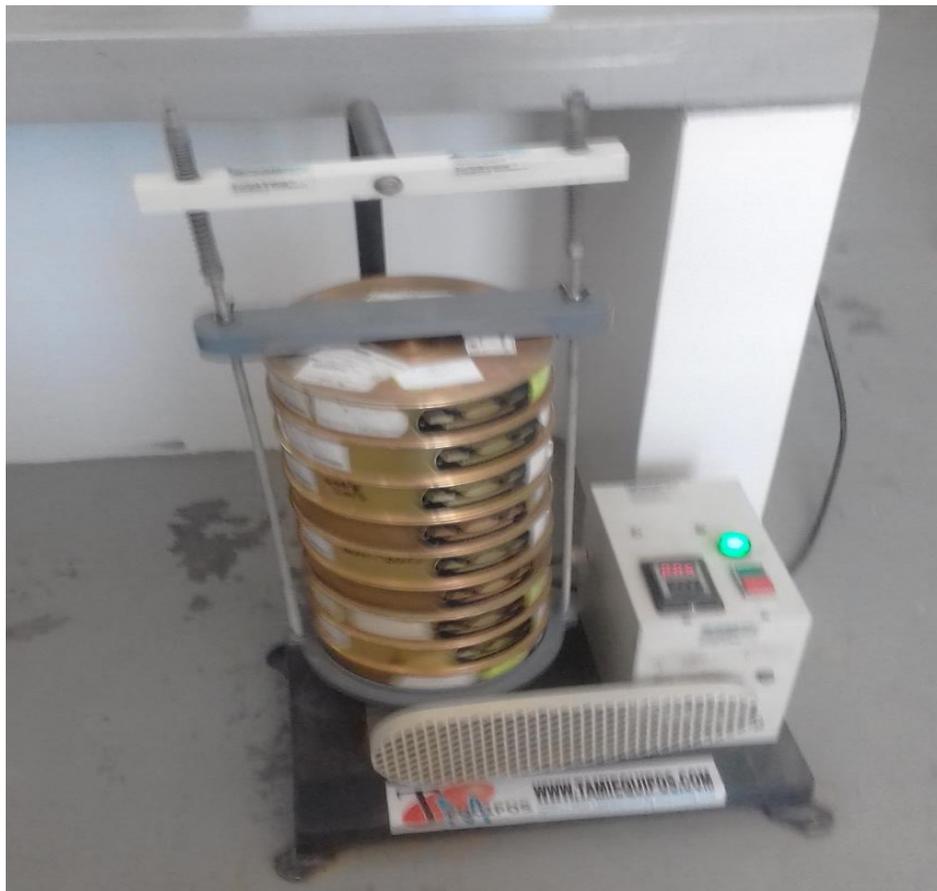


FOTO N°04: Realizando el tamizado mecánico.



FOTO N°05: Pesando la muestra retenida por cada tamiz.



FOTO N°06: Pesando muestras para determinar la granulometría del suelo.

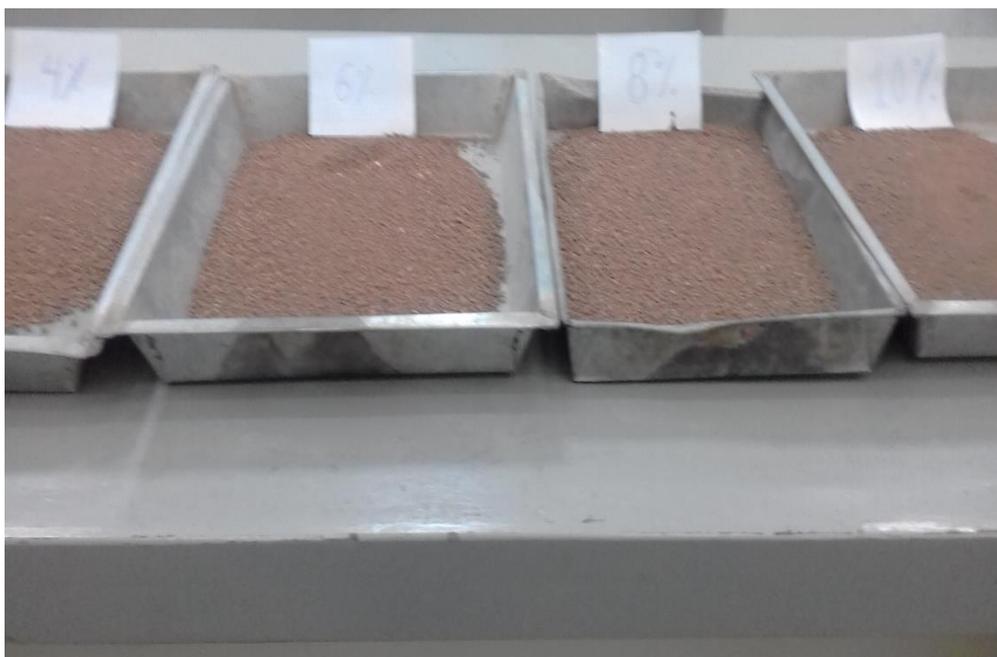


FOTO N°07: Muestras de suelo con 4%, 6%, 8% y 10% de humedad para realizar el ensayo de Proctor Modificado.



FOTO N°08: Pesando muestra compactada más molde.



FOTO N°09: Peso de muestra más tara, para determinar el contenido óptimo de humedad



FOTO N°10: muestras seco más tara, para determinar el contenido óptimo de humedad

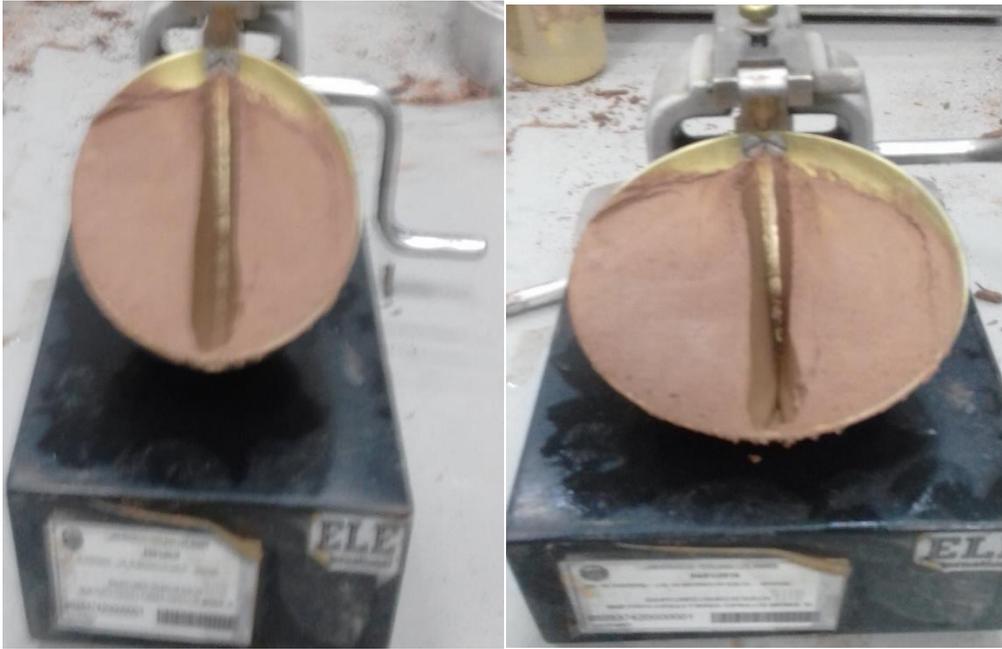


FOTO N°11: Ensayo de límite líquido



FOTO N°12: Muestras húmeda más tara, para determinar el límite líquido del suelo.



FOTO N°13: Muestras seca más tara, para determinar el límite plástico de la muestra.



FOTO N°14: Realizando el tamizado mecánico.



FOTO N°15: Pesando la muestra retenida por cada tamiz.



FOTO N°16: Pesando muestras para determinar la granulometría del suelo.

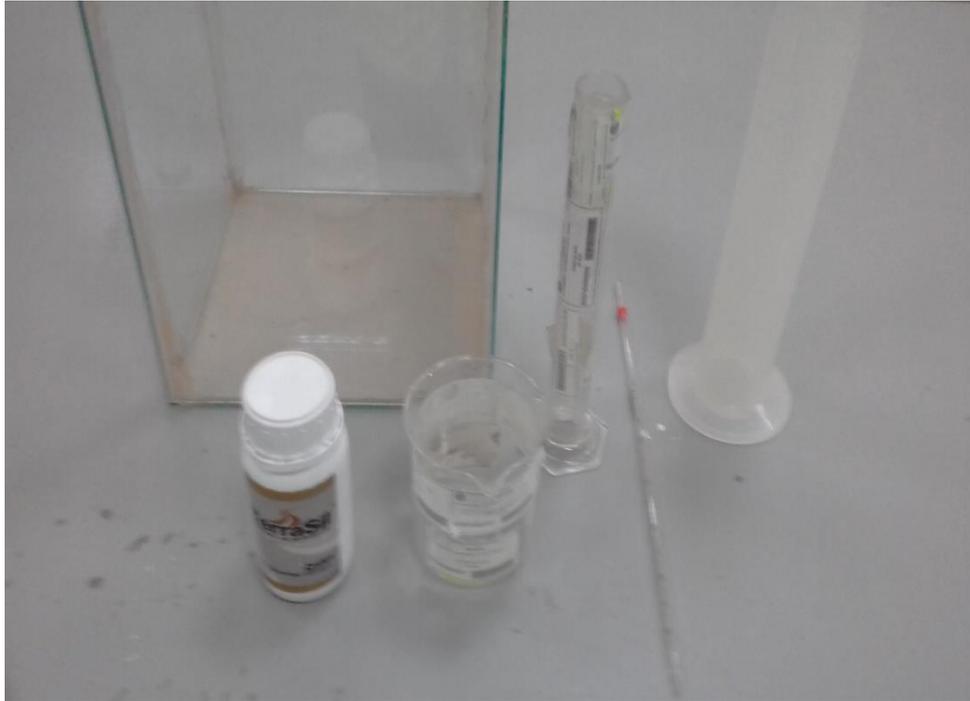


FOTO N°17: Materiales para realizar la dosis exacta del aditivo organosilanos de acuerdo al volumen del suelo.



FOTO N°18: Muestra y materiales para realizar el ensayo de CBR.



FOTO N°19: Determinando la expansividad del suelo.

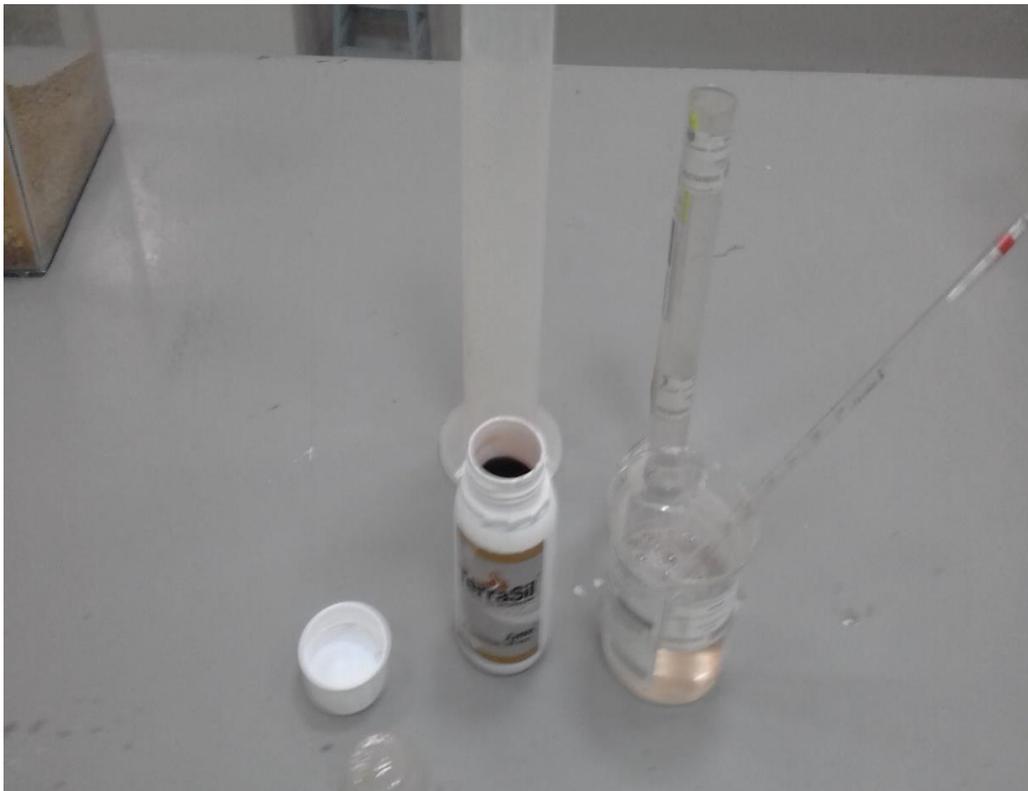


FOTO N°20: Realizando la dosificación y disolviendo el aditivo en agua.



FOTO N°21: Realizando el ensayo de CBR.



FOTO N°22: Evaluando la permeabilidad del suelo.

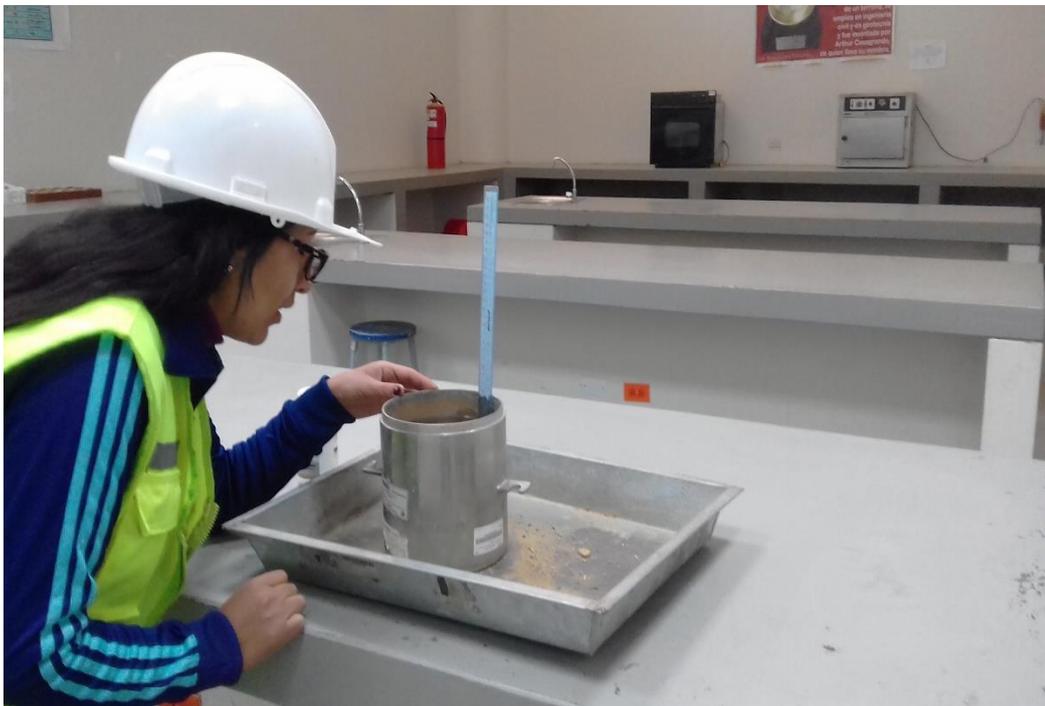


FOTO N°23: Realizando la lectura - permeabilidad del suelo.