



**Universidad Científica del Perú - UCP**  
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“PROPUESTA APLICACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN  
LA SUBRASANTE Y SU INFLUENCIA EN LA MEJORA DEL  
CBR DE LA CARRETERA SAN RAFAEL - NUEVO ARICA,  
PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE  
LORETO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

**M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta**

**AUTORES:**

**CENEPO MORI, Annie Malú**

**DEL AGUILA CASTRO, Roger**

**TARAPOTO – PERÚ**

**2021**

# DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Aecio Cenepo Arellano y Janeth Milagros Mori Andoa que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un buen profesional. No podría sentirme más ameno con la confianza puesta sobre mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que tengo memoria.

**Annie Malú, Cenepo Mori**

La presente tesis está dedicada a dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mi padre, porque siempre estuvo brindándome sus consejos, y a mi querida madre, se desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien, a mi esposa por sus palabras y su confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

**Roger, Del Águila Castro**

# AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser quien me brindo las fuerzas, sabiduría y paz necesaria para lograr un sueño más en mi vida.

A mis padres, por su apoyo en todo momento de mi vida, por ser un ejemplo de responsabilidad, dedicación amor y comprensión para toda mi familia.

A mis maestros, quienes durante la vida universitaria no solo fueron una fuente de conocimientos sino también de experiencias, y a nuestra Universidad que nos permitió culminar con éxito esta carrera.

Agradecimientos especiales a mi asesor de tesis el ing. Victor Eduardo Samamé Zatta, M. SC, por guiarme y orientarme en todo el proceso de tesis, por su apoyo metodológico, empatía, responsabilidad, ética profesional y sobre todo por su amabilidad y comprensión hacia mí.

**Annie Malú, Cenepo Mori**

Agradezco a DIOS, por darme la vida y guiar mis pasos día a día.

Al ing. Victor Eduardo Samamé Zatta, M. SC, asesor de la tesis.

A mis maestros por brindarme sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y también por haberme brindado todos sus conocimientos.

A la facultad de ciencias e Ingeniería.

**Roger, Del Águila Castro**

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“PROPUESTA APLICACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA SUBRASANTE Y SU  
INFLUENCIA EN LA MEJORA DEL CBR DE LA CARRETERA SAN RAFAEL -  
NUEVO ARICA, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE  
LORETO”**

De los alumnos: **CENEPO MORI ANNIE MALÚ Y DEL AGUILA CASTRO ROGER**,  
de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión  
por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **10% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que  
estime conveniente.

San Juan, 11 de Enero del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética – UCP

## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_ANNIECENEPO_ROGERDELAGUILA_V1.pdf (D124074767)
<b>Submitted</b>	2022-01-05T16:22:00.0000000
<b>Submitted by</b>	Comisión Antiplagio
<b>Submitter email</b>	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
<b>Similarity</b>	10%
<b>Analysis address</b>	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>W</b>	URL: <a href="https://1library.co/document/q29643pz-aplicacion-aditivos-conaid-mejorar-capacidad-subrasante-barraza-libertad.html">https://1library.co/document/q29643pz-aplicacion-aditivos-conaid-mejorar-capacidad-subrasante-barraza-libertad.html</a> Fetched: 2021-11-26T04:53:15.2800000	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>PRESENTACION FINAL TESIS (1).docx</b> Document PRESENTACION FINAL TESIS (1).docx (D121115432)	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú /</b> <b>UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_KARENHIDALGO_JOSÉCADENILLAS_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_KARENHIDALGO_JOSÉCADENILLAS_V1.pdf (D118815752) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com	 <b>14</b>

---

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA**

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 933-2021-UCP-FCEI del 21 de diciembre del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |   |            |
|---|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, Dr.             | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M. SC. | Miembro    |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco.     | Miembro    |

Como Asesor: **Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 19:00 horas del día 20 de setiembre del 2022, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“PROPUESTA DE APLICACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA SUBRASANTE Y SU INFLUENCIA EN LA MEJORA DEL CBR DE LA CARRETERA SAN RAFAEL – NUEVO ARICA, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE LORETO”**.

Presentado por los sustentantes:

**ROGER DEL AGUILA CASTRO y ANNIE MALU CENEPO MORI**

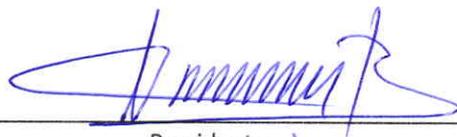
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**.

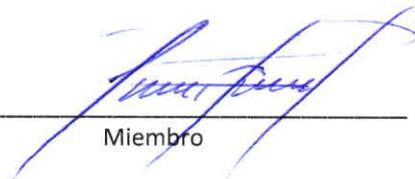
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE (15) QUINCE**.

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

## **APROBACIÓN**

Tesis sustentada en acto público el día 20 de setiembre del 2022 a las 07.00 p.m.



---

**Ing. CALEB RÍOS VARGAS, Dr.**  
PRESIDENTE DEL JURADO



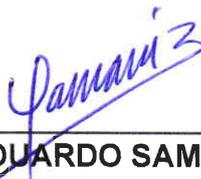
---

**Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO, M.Sc.**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**Ing. ISAAC DUHAMEL CASTILLO CHALCO**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**Ing. VICTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA, M.Sc.**  
ASESOR

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1 Introducción.....	14
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	16
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	18
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES .....	22
2.2 BASES TEÓRICAS .....	22
<b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>47</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	47
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	47
3.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	47
3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS .....	47
3.3 OBJETIVOS .....	48
3.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	48
3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	48
3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.5 HIPÓTESIS .....	49
3.6 VARIABLES .....	49
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA</b> .....	<b>50</b>
4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	50
4.1.1 Tipo de Investigación .....	50
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
4.2.1 Población .....	50
4.2.2 Muestra .....	50
4.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTO Y PROCESAMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
4.3.1 Técnicas.....	50
4.3.2 Instrumentos.....	50
4.3.3 Procedimientos .....	50

4.3.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	51
<b>CAPÍTULO V: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO VI: RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
6.1. Caracterización del Suelo Fino .....	62
<b>CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
7.1. Discusión.....	77
<b>CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
8.1. Conclusiones.....	95
8.2. Recomendaciones.....	96
<b>CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Composición Química de la arcilla .....	24
<b>Ilustración 2:</b> Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.....	27
<b>Ilustración 3:</b> Reacción Química por Ionización .....	30
<b>Ilustración 4:</b> Comparación entre suelo estabilizado y no estabilizado.....	33
<b>Ilustración 5:</b> Sección transversal impropia.....	44
<b>Ilustración 6:</b> Drenaje inadecuado .....	44
<b>Ilustración 7:</b> Ondulaciones .....	45
<b>Ilustración 8:</b> Generación de Polvo.....	45
<b>Ilustración 9:</b> Presencia de Baches .....	46
<b>Ilustración 10:</b> Clasificación del suelo según Índice de Grupo .....	60
<b>Ilustración 11:</b> Curva Granulométrica de la calicata 4 estrato 1 .....	77
<b>Ilustración 12:</b> Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Posteos.....	79
<b>Ilustración 13:</b> Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Calicatas .....	79
<b>Ilustración 14:</b> Análisis de resultados del Índice de Grupo de los Posteos. Clasificación AASHTO .....	80
<b>Ilustración 15:</b> Análisis de resultados del Índice de Grupo de las Calicatas. Clasificación AASHTO .....	81
<b>Ilustración 16:</b> Contenido de Humedad para Posteos Estrato 1 .....	83
<b>Ilustración 17:</b> Contenido de Humedad para Posteos Estrato 2.....	83
<b>Ilustración 18:</b> Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 1 .....	84
<b>Ilustración 19:</b> Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 2 .....	84
<b>Ilustración 20:</b> Curva de Proctor Modificado de la calicata 8.....	85
<b>Ilustración 21:</b> Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID .....	87
<b>Ilustración 22:</b> Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos .....	88
<b>Ilustración 23:</b> Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS .....	88
<b>Ilustración 24:</b> Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID Líquido + Cemento Portland Tipo MS.....	89
<b>Ilustración 25:</b> CBR del suelo natural.....	90
<b>Ilustración 26:</b> Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido.....	91
<b>Ilustración 27:</b> Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido + Cemento .....	92
<b>Ilustración 28:</b> Comparación del CBR de acuerdo a las dosificaciones.....	92
<b>Ilustración 29:</b> Resistencia a Compresión del suelo natural.....	94

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Dosificación del aditivo Proes .....	33
<b>Tabla 2:</b> Dosificación del aditivo Con-Aid.....	38
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de suelos según Tamaño de partículas.....	56
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.....	58
<b>Tabla 5:</b> Prefijos y sufijos para cada tipo de suelo .....	58
<b>Tabla 6:</b> Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo .....	59
<b>Tabla 7:</b> Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los Posteos Estrato 1 .....	62
<b>Tabla 8:</b> Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los posteos para los estratos 2.....	62
<b>Tabla 9:</b> Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 1 .....	63
<b>Tabla 10:</b> Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 2 .....	63
<b>Tabla 11:</b> Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 1.....	64
<b>Tabla 12:</b> Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 2.....	64
<b>Tabla 13:</b> Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 1 .....	65
<b>Tabla 14:</b> Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 2 .....	65
<b>Tabla 15:</b> Cuadro de resumen del ensayo de Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro .....	66
<b>Tabla 16:</b> Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 1 .....	66
<b>Tabla 17:</b> Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 2 .....	67
<b>Tabla 18:</b> Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 1.....	67
<b>Tabla 19:</b> Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 2.....	67
<b>Tabla 20:</b> Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Posteos para los estratos 1 y 2.....	68
<b>Tabla 21:</b> Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Calicatas para los estratos 1 y 2.....	68
<b>Tabla 22:</b> Cuadro de resumen del ensayo de Gravedad Específica de las Calicatas en el estrato 1 .....	69
<b>Tabla 23:</b> Cuadro de resumen del ensayo de Proctor Modificado sin aditivo .....	69

<b>Tabla 24:</b> Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquido.....	70
<b>Tabla 25:</b> Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos PROES y CONAID con Cemento Portland Tipo MS.....	70
<b>Tabla 26:</b> Cuadro resumen del ensayo CBR sin aditivo .....	71
<b>Tabla 27:</b> Cuadro de resumen del ensayo de CBR con los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos.....	72
<b>Tabla 28:</b> Cuadro de resumen del ensayo de CBR de los Aditivos PROES y CONAID con Cemento Portland Tipo MS.....	72
<b>Tabla 29:</b> Cuadro de Resumen de los resultados del ensayo de Compresión no confinada sin aditivo.....	73
<b>Tabla 30:</b> Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos sólo Líquidos PROES y CONAID.....	74
<b>Tabla 31:</b> Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos Líquidos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS.....	74
<b>Tabla 32:</b> Prueba de Normalidad Aditivos Líquidos.....	75
<b>Tabla 33:</b> Análisis de Varianza (ANOVA) de Aditivos Líquidos .....	75
<b>Tabla 34:</b> Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos .....	75
<b>Tabla 35:</b> Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos .....	75
<b>Tabla 36:</b> Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos .....	76
<b>Tabla 37:</b> Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos + Cemento .....	76

# RESUMEN

En el Perú, uno de los problemas principales para promover el desarrollo de muchas localidades alejadas y pobres, es no contar con vías asfaltadas ya que en la mayoría de los suelos no cuentan con las propiedades mecánicas adecuadas de la subrasante.

En la presente tesis es la mejora de la carretera San Rafael - Nuevo Arica, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto, el cual se ha investigado el efecto sobre las propiedades físico- mecánicas del suelo con dos estabilizadores químicos más utilizados por diferentes empresas en el rubro de la construcción de carreteras.

Los aditivos que se van a estudiar son PROES y CONAID, producidas por las empresas PROES PERU SAC y TDM Grupo, respectivamente. Estos productos son estabilizantes a base de aceites sulfanados, lo cual es su principal propiedad para incrementar la resistencia de los suelos arcillosos.

Los estabilizadores son componentes químicos que ayudan a mejorar las propiedades de resistencia del suelo, como propuesta para la mejora de la subrasante de la carretera en mención, Se realizó las comparaciones de suelo natural y suelo mejorado a partir de los resultados del ensayo de CBR, mediante datos recolectados de investigaciones realizadas.

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la aplicación de estos aditivos a través de sus dosificaciones dadas en su ficha técnica para mejorar la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la carretera San Rafael - Nuevo Arica.

Asimismo, compararlas para determinar cuál de los dos presenta un mayor incremento en las propiedades mecánicas del suelo. Para las muestras obtenidas se realizaron calicatas a lo largo de la vía no asfaltada, se realizaron los ensayos físicos y mecánicos para el suelo natural, en el suelo con los aditivos líquidos (PROES y CONAID) y en el suelo con los aditivos sólidos (PROES + CEMENTO y CONAID + CEMENTO). Todos los ensayos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos particular, en base a

las normas técnica peruana. Nuestros resultados demuestran que el suelo es limo - arcilloso, según la clasificación SUCS y AASHTO. Por otro lado, el porcentaje de CBR máximo para el suelo natural fue de 3%, lo cual, según el MTC, es una subrasante inadecuada. En el caso del suelo modificado con los aditivos líquidos PROES y CONAID, el porcentaje de CBR máximo es de 13% y 10%, lo cual corresponde a una subrasante buena.

Finalmente, para los aditivos sólidos PROES y CONAID, el porcentaje de CBR máximo es de 70% y 58%, lo cual corresponde a una subrasante excelente, se concluye que ambos aditivos sólidos PROES y CONAID mejoran las propiedades mecánicas, lo cual teniendo en cuenta que se usara el aditivo CONAID por aplicarse menos dosificación y resulta más barato para estabilizar los suelos de la carretera San Rafael - Nuevo Arica, provincia de Alto Amazonas, Región Loreto.

**Palabras Claves: Estabilizadores químicos, Subrasante, CBR, Aditivo CON-AID y PROES.**

## ABSTRACT

In Peru, one of the main problems to promote the development of many remote and poor localities is not having asphalt roads since in most of the soils they do not have the adequate mechanical properties of the subgrade.

In the present thesis it is the improvement of the San Rafael - Nuevo Arica highway, Alto Amazonas Province, Loreto Department, which has investigated the effect on the physical-mechanical properties of the soil with two chemical stabilizers most used by different companies in the heading of road construction.

The additives to be studied are PROES and CONAID, produced by the companies PROES PERU SAC and TDM Grupo, respectively. These products are stabilizers based on sulphated oils, which is their main property to increase the resistance of clay soils.

Stabilizers are chemical components that help to improve the resistance properties of the soil, as a proposal for the improvement of the subgrade of the road in question, Comparisons of natural soil and improved soil were made from the results of the CBR test, using data collected from research carried out.

The objective of this research is to determine the effect of the application of these additives through their dosages given in their technical sheet to improve the bearing capacity (CBR) of the subgrade of the San Rafael - Nuevo Arica highway.

Likewise, compare them to determine which of the two presents a greater increase in the mechanical properties of the soil. For the samples obtained, pits were made along the unpaved road, physical and mechanical tests were carried out for natural soil, in the soil with liquid additives (PROES and CONAID) and in the soil with solid additives (PROES + CEMENTO and CONAID + CEMENTO). All tests were carried out in the particular Soil Mechanics Laboratory, based on Peruvian technical standards. Our results show that the soil is loamy - clayey, according to the SUCS and AASHTO classification. On the other hand, the maximum CBR percentage for the natural soil was 3%, which, according to the MTC, is an inappropriate subgrade. In the case of soil modified with PROES

and CONAID liquid additives, the maximum CBR percentage is 13% and 10%, which corresponds to a good subgrade.

Finally, for the solid additives PROES and CONAID, the maximum CBR percentage is 70% and 58%, which corresponds to an excellent subgrade, it is concluded that both solid additives PROES and CONAID improve the mechanical properties, which taking into account The CONAID additive will be used because less dosage is applied and it is cheaper to stabilize the soils of the San Rafael - Nuevo Arica highway, Alto Amazonas province, Loreto Region.

**Key Words:** Chemical Stabilizers, Subgrade, CBR, CON-AID Additive and PROES.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Introducción

En la actualidad se utiliza la estabilización de suelos como medida para mejorar las características del suelo y solucionar el problema del suelo blando, existiendo tres métodos para lograrlo, el químico, físico y mecánico. Siempre se busca la alternativa más económica, pero que vaya de la mano con los requerimientos de seguridad y durabilidad, así en los distintos países del mundo se viene dando el método químico como la principal manera para estabilizar suelos, principalmente en carreteras, ya que, en este tipo de obras, se necesita grandes movimientos de tierras.

Las vías de comunicación son de vital importancia para vincular nuestros pueblos de manera que se pueda mantener una economía y calidad de vida para la sociedad. Sin embargo, durante su vida útil se presentan problemas como el deterioro de la superficie, problemas de mantenimiento a nivel superficial en condiciones húmedas y secas, etc. Por ello el suelo local necesita una estructura con una subrasante adecuada, que permita brindar a la vía una amplia vida útil, y debe estar compuesta por materiales en buenas condiciones con relevantes propiedades físicas y mecánicas.

La capacidad de soporte es un parámetro fundamental que deben tener los suelos, presentando características de resistencia en óptimas condiciones, sin embargo, no todos los suelos cumplen con estos estándares; los suelos arcillosos en su mayoría tienen una baja capacidad de soporte de manera que, no poseen la resistencia suficiente para soportar cargas externas.

La manera más viable para tratar este tipo de suelos es a través del proceso de la estabilización, en donde el suelo natural es manipulado y tratado a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizadores solo se emplean en suelos que presentan una subrasante inadecuada o pobre; la finalidad de tratar un suelo con este tipo de estabilizadores es poder aportar resistencia.

Por lo tanto, para brindar una adecuada capacidad de soporte se debe modificar las características del suelo alterando sus propiedades existentes mediante el proceso de estabilización química que tiene como finalidad incrementar la resistencia, reducir el índice de plasticidad y permiten mejor trabajabilidad a los suelos.

En la actualidad, la ejecución de obras de afirmado de carreteras en nuestro país, en su mayoría carece de un estudio de comportamiento del suelo de la cantera de donde se extrae dicho material, ya sea por el hecho de ahorrar tiempo en la evaluación del tipo de material, por no contar con medios tecnológicos o por desconocimientos de los ejecutores responsables y al momento de colocar el material en la capa de rodadura, lo hacen sin haber realizado un estudio técnico al material de la cantera a utilizar para el diseño de afirmado.

En la presente Tesis, nos enfocaremos en la Carretera San Rafael - Nuevo Arica, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto, donde a lo largo del recorrido encontramos cultivos, zonas agrícolas, cuyos suelos por ende son limo-arcillosos, es decir, un suelo malo con fines de pavimentación.

En la presente investigación se espera mejorar las características físicas y mecánicas de un suelo limo-arcilloso de baja capacidad de soporte a nivel de subrasante, con la incorporación de los aditivos químicos PROES y CONAID de acuerdo a las dosificaciones propuestas en sus fichas técnicas. Además, en base a los resultados se realizará una comparación entre ambos aditivos, para determinar cuál de estos obtiene mejores resultados.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos la Tesis de los autores: **Juan David Ramos Vásquez y Juan Pablo Lozano Gómez**, titulada **“ESTABILIZACIÓN DE SUELO MEDIANTE ADITIVOS ALTERNATIVOS”**, de la Universidad Católica De Colombia, que llegan a las siguientes conclusiones:

Con base a la evidencia obtenida en las pruebas realizadas para estabilizar un suelo con aditivos alternativos, las propiedades físicas y mecánicas obtuvieron resultados diferenciados entre cada una de las concentraciones con los diferentes aditivos. Esto permitió clasificar el comportamiento de cada mezcla de una manera más óptima para así poder determinar cuál es la que mejor comportamiento tenía.

De acuerdo a los datos, en el caso de la cal, la mejor mezcla para realizar la estabilización del suelo es S90-C10, ya que es la que mayor esfuerzo máximo soporta, y es la que mejor relación calidad – precio tiene. Para el caso de las cenizas la mejor mezcla para realizar la estabilización del suelo es S60-CCM40, debido a que esta mezcla fue la que obtuvo los mejores resultados en cada una de las pruebas realizadas y mejoro significativamente el suelo base, además tenía una excelente relación calidad - precio.

Si se trata de los ensayos de compresión inconfiada y de corte directo, en el caso de la adición de cal, la mejor mezcla es S80-C20, debido a que esta mezcla dio en ambas pruebas resultados aceptables. Por el contrario, cuando el aditivo es la ceniza, la mejor mezcla es S60-CCM40, ya que en ambas pruebas su comportamiento dio mejor que el del suelo base y el de las otras mezclas.

Como se puede observar en el análisis de costos, la estabilización por medio de la cal es extremadamente costosa, problema que no ocurre

cuando el aditivo es la ceniza, por lo que se recomienda realizar las estabilizaciones del suelo con la ceniza, ya que tiene un bajo costo y mejora el suelo de manera significativa.

- Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos la Tesis del autor: Juan Sebastián Nieto Vega, titulada **“EVALUACIÓN DEL USO DE ADITIVOS QUÍMICOS NO TRADICIONALES COMO ESTABILIZADORES DE SUELOS LIMOSOS PARA CAMINOS PRODUCTIVOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO”**, de la Universidad Técnica Federico Santa María Departamento De Obras Civiles Valparaiso – Chile, que llegan a las siguientes conclusiones:

Finalmente, se comprueba que, con la utilización de los aditivos sólidos tradicionales, Cal Viva y Cemento Portland, se incrementa la capacidad de soporte y la resistencia de los suelos limosos investigados. De igual manera, se implementó la adición de los aditivos no tradicionales B y P, para evaluar el efecto que producen cuando se aplican en combinación con la Cal Viva y el Cemento Portland, esto considerando que, según investigaciones anteriores, el aditivo B (residuo industrial) puede presentar propiedades cementantes y producir la reacción puzolánica, con la ayuda de un activador (aditivos sólidos tradicionales). Mediante el análisis de los resultados de los ensayos realizados, las principales conclusiones obtenidas en esta investigación fueron las siguientes:

El índice Mini-CBR Modificado (IMCM), es un indicador adecuado y efectivo, en la caracterización de la capacidad de soporte de los suelos finos de esta investigación, con las concentraciones de aditivos químicos propuestas, en las variadas dosificaciones utilizadas durante este proyecto (con y sin aditivos químicos), ya que es un ensayo que ayuda a reducir considerablemente los tiempos de realización, cantidad de suelo y esfuerzo físico por parte del operario, lo que permite realizar más repeticiones, lo que implica una reducción de costos, además el ensayo Mini-CBR Modificado, posee una correlación “significativa positiva” con el ensayo CBR (Riveros, 2016). Por lo tanto, se trata de una buena aproximación para

comenzar una caracterización de suelos finos, sin embargo, no reemplaza la implementación del ensayo CBR para la validación de los datos finales en la caracterización del suelo.

- **(Soza & Bustamante, 2003)**, en su tesis "**Estudio de alternativa para estabilización de suelos con material existente en el camino Boquete - Santa Ana**". Estableció el propósito que evaluaría la alternativa para mejorar el CBR del suelo existente en el camino rural. Concluyendo que la estabilización con cemento alcanza un alto porcentaje de resistencia, comparado con cal, debido a que estos estabilizantes fueron adicionados a suelos de textura gruesa como lo que son SC, SM entre otros, relegando a esta ya que los testigos ensayados con cal obtuvieron menor resistencia”.

### 2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- Además, tenemos una Tesis, de los autores: **Carranza Ortiz, Antonella Lizbeth y Fernández Lojas, Delia Carolina del Milagro**, titulada **“APLICACIÓN DE LOS ADITIVOS PROES Y CONAID PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUBRASANTE EN LA VÍA DE ACCESO AL C.P. BARRAZA, LAREDO, LA LIBERTAD-2018”**, de la Universidad Privada del Norte, Trujillo – Perú, que llegan a las siguientes conclusiones:

Se determinó que el suelo natural de la vía, según la clasificación SUCS es limo - arcilloso de baja plasticidad (ML-CL). Por otro lado, según la clasificación AASHTO estos suelos se encuentran en el grupo A-4, A-5, A-6 y A-7-6. Asimismo, se determina que el suelo de la vía presenta una plasticidad de baja a alta.

Se determinó que los aditivos PROES Y CONAID mejoran las propiedades mecánicas del suelo de Barraza, Laredo mediante los ensayos de CBR y Compresión Simple no confinada.

Se determinó para el ensayo de CBR que el aditivo líquido PROES aumenta a un 13% teniendo mejores resultados en las propiedades mecánicas que el aditivo líquido CONAID que tiene un 10%, lo cual mejoro la subrasante inadecuada a buena.

Se determinó para el ensayo de CBR que el aditivo sólido PROES aumenta a un 70% y el aditivo sólido CONAID a un 58%, lo cual ambos aditivos mejoraron la subrasante inadecuada a excelente.

Se determinó para el ensayo de Compresión Simple no Confinada, que el aditivo líquido PROES obtiene mejores resultados en la resistencia a compresión teniendo un 61.42 kPa que el aditivo líquido CONAID que tiene 56.03 kPa, lo cual ambos aditivos mejoraron el suelo blando a un suelo mediano.

Se determinó para el ensayo de Compresión Simple no Confinada, que el aditivo sólido PROES obtiene mejores resultados en la resistencia a compresión teniendo un 208.16 kPa que el aditivo sólido CONAID que tiene 138.43 kPa, lo cual PROES mejoro el suelo blando a un suelo muy firme y CONAID a firme

- Además, tenemos una Tesis, del autor: Paola Emperatriz Castillo Briceño, titulada: **“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA DE PAVIMENTOS ENTRE LOS SECTORES CALAMARCA – HUASO, LA LIBERTAD, 2018”**, de la Universidad Privada del Norte, Trujillo – Perú, que llegan a las siguientes conclusiones:

Después de realizados los ensayos necesarios para evaluar la influencia del aditivo PROES, se concluyó que el aditivo PROES mejora las propiedades mecánicas del suelo con la dosificación de 0.27 L/m<sup>3</sup> de aditivo líquido PROES y 45 Kg/m<sup>3</sup> de cemento Portland, debido a que la capacidad de soporte aumenta significativamente. Esto se vio reflejado en tres puntos de la carretera donde el suelo era inadecuado, a los cuales se les añadió el aditivo PROES, de tal forma que el CBR del suelo del Km 2+500 aumentó del 6.90% al 109.80%, del Km 5+500 pasó de 7.57% a 116.40%, y del Km 8+500 aumentó de 7.54% a 114.28%, lo cual indica que el aditivo mejoró el CBR del suelo en más de quince veces. Esto a su vez, influyó positivamente en los costos para la elaboración de la carretera, de tal forma que el costo por Kilómetro de pavimento (de acuerdo a las principales

partidas involucradas) con la adición de 0.27 L/m<sup>3</sup> de aditivo PROES más cemento Portland es de S/ 368,487.90 y del pavimento sin aditivo es de S/ 436,465.92. Es decir, el pavimento con aditivo PROES y cemento Portland reduce los costos en hasta 15.57% respecto a un pavimento que no utiliza este aditivo.

Después de realizados los ensayos de laboratorio a las muestras de suelo extraídas de la carretera, se determinó que el suelo presente en la carretera es una arcilla de baja plasticidad (CL) y limo de baja plasticidad (ML) acorde a la clasificación SUCS, mientras que en la clasificación AASHTO, se encontraron suelos de tipo A-7-6, A-6 y A-4. A partir de los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice plástico, se calculó el índice de grupo para la clasificación AASHTO. De esta manera, se determinó que el suelo presente a lo largo de la carretera posee una plasticidad media. Así mismo, de los ensayos de contenido de humedad, los rangos de humedad oscilan de 4.40% a 6.30%, obteniendo una humedad promedio de 5.35% a partir de las diez calicatas realizadas.

- **Angulo y Rojas (2016)** En su tesis titulada como **“Ensayo de Fiabilidad con Aditivo Proes para la Estabilización del suelo en el AA. HH El Milagro, 2016”** tuvo como objetivo determinar la influencia del aditivo PROES, a través de los ensayos de fiabilidad para la estabilización del suelo. Para ello, evaluó la carretera tanto funcional como estructural, mediante la capacidad de soporte (CBR). Concluye que, realizando los ensayos de caracterización del suelo antes y después de la adición del aditivo químico se alcanzó un CBR de 300% con respecto al material natural. En efecto, queda demostrado que el aditivo PROES mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo y uniformiza las características físicas y mecánicas.
- **(Bada, 2016)**, en su tesis denominada, **“Aplicación del aditivo Químico Conaid para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera Tauca - Bambas (km 73+514 - km 132+537) de la ruta nacional PE-3NA”** Realizo análisis al material granular empleando el aditivo Conaid, con el objetivo de comprobar el

nivel mejoramiento de la subbase. El suelo encontrado corresponde a la clasificación tipo A-2-6 (AASHTO) y de tipo CL (SUCS); con LL = 30, LP = 14 y IP = 16. Del cual realizo los ensayos en muestras sin aditivo, muestras equivalentes a 1, 0.9, 1.1, 1.5 lts. de conaid por 30m<sup>3</sup> de material respectivamente. Concluyendo que las muestras ensayadas con aditivo presentan mejoría en los resultados del CBR, con un incremento de hasta 200% respecto al material sin aditivo.

- **Atarama (2015)**, En su tesis titulada como **“Evaluación de la Transitabilidad para Caminos de Bajo Tránsito Estabilizados con Aditivo Proes”** tuvo como objetivo demostrar que el uso del aditivo PROES incrementa las propiedades mecánicas del suelo. Concluye que, evaluó un tramo de carretera y determinó los espesores de afirmado para diferentes sectores, luego, realizó los ensayos de Proctor Modificado y CBR en algunos puntos de la carretera. Finalmente, determinó que el valor de soporte relativo incrementa en un 300% respecto al material sin aditivo, superando las demás muestras ensayadas al 100% de CBR y la resistencia. De esta manera, queda demostrado que el aditivo PROES garantiza un adecuado nivel de serviciabilidad, es decir, mejora las propiedades físicas y mecánicas de una base de carretera.
- **Núñez (2015)**, en su investigación: **“Análisis de la Estabilización del Material de Cantera km 02 + 700 de la Ruta CU – 123 San Jerónimo Mayumbanba, con la Adición de Estabilizante Iónico”**, llegó a la conclusión que: el estabilizante Iónico utilizado en el estudio del material este ha superado el 100% de valor del CBR con respecto a la muestra patrón sin aditivo, este incremento de la propiedad mecánica fue posible porque el material analizado de la cantera contenía material granular. También se estabilizó el material de contenido fino extraído de cantera con el ionizante, resultando que el aditivo reduce la humedad del fino al no permitir que este adsorba mayor agua para así disminuir su estabilidad.
- **(Ugaz, 2006)**, en su tesis denominada **"Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante"** Realizó estudios

con el aditivo de nombre CONAID, la cual esta evaluó el comportamiento de dicho producto en un suelo del tipo arcilla de baja plasticidad (CL); Obteniendo un buen comportamiento del estabilizador al mezclarlo en el suelo antes mencionado, reflejando un incremento del valor de resistencia (CBR), concluyendo que el valor del CBR es casi 2 veces el valor inicial, empleando una dosificación de 0.06 lt/m<sup>3</sup> del producto (CONAID).

### 2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Se tomaron en cuenta las investigaciones realizadas en la Región San Martín.

- **Sangama y Morales (2018)**, en su investigación: “**Conservación de superficie de rodadura utilizando el aditivo CON-AID Súper en la carretera departamental tramo: EMP. SM - 100 – alto Roque – Buena Vista, km. 6+000 al km 6+800. Distrito de San Martín de Alao – Provincia del Dorado – San Martín**”, analizaron el material mediante ensayos donde concluyen que: los estudios realizados a las características del extracto extraído, estos resultados obtenidos muestran mejoras en mayor parte de las propiedades del suelo, resultando una máxima densidad y óptimo contenido de humedad. Así también se obtuvo resultados del valor de CBR en porcentajes de 42% con adición de aditivo de 1.5% y con respecto al material sin aditivo se determinó un CBR de 5.90% y los resultados encontrados tienen mayor credibilidad, al coincidir con los requerimientos presentados por el MTC 2013.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Suelos

Los suelos representan un material terroso conformado desde un relleno de desperdicio hasta areniscas cementadas o lutitas suaves. Además, el agua juega un papel importante en el comportamiento de este. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973).

Estos suelos en su mayoría presentan materia orgánica ocasionando alta compresibilidad, pues al someterlos a esfuerzos de compresión estos tienden a disminuir su volumen.

A continuación, se describen los suelos más comunes:

- **Gravas**

Las gravas con acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.00mm.

- **Arenas**

Son de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. Las arenas y las gravas suelen encontrarse juntas, así como la arena de río contiene muchas veces diferentes proporciones de grava grande y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse y no son plásticas.

- **Limos**

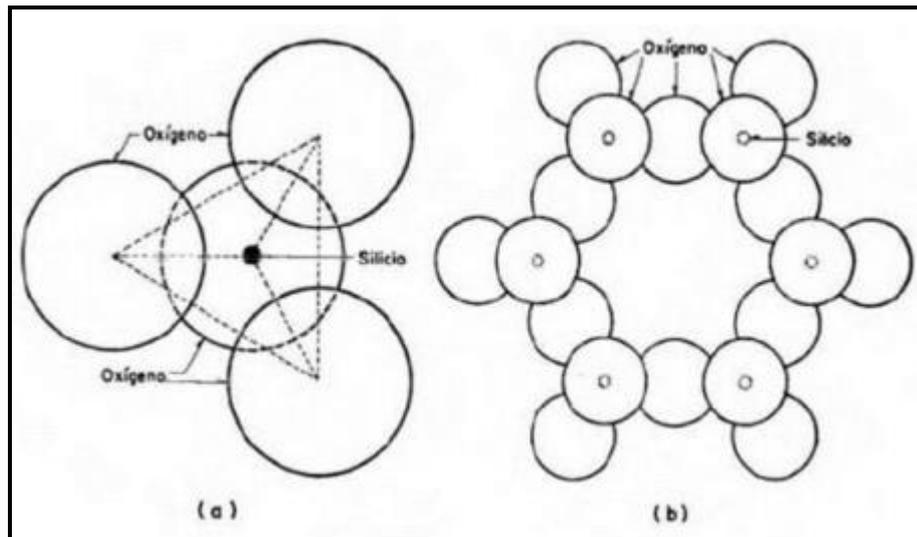
Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, el diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005mm. Pueden ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos.

- **Arcilla**

Tiene sus partículas sólidas con un diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Estos suelos contribuyen gran parte de sedimentos ya que son en su mayoría son productos que químicamente tiene un silicato de alúmina hidratado, aunque en ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. Las arcillas presentan una

estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos (SiO) se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula (Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos.

**Ilustración 1: Composición Química de la arcilla**



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez

Los suelos arcillosos por lo general presentan una baja capacidad de soporte (CBR), se dividen como arcillas de baja plasticidad arcillas de alta plasticidad y según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) se clasifican como un CL y CH respectivamente, por otro lado, según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) estos tipos de suelos varían en un rango de clasificación que varía desde un A-4 a A-6. Dentro de sus propiedades físicas en arcilla de baja plasticidad es un límite líquido menor a 50% y su índice de plasticidad es menor a 20%, sin embargo, para el caso de las arcillas de alta plasticidad tiene un límite líquido mayor a 50% y un índice de plasticidad mayor a 20%.

## 2.2.2 Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos es un proceso de alteración de las propiedades del suelo para la Ingeniería teniendo un costo más bajo y con un mejor control de calidad. La técnica de mejora de los suelos se puede dar en dos categorías principales: la estabilización química y la mecánica. La estabilización química implica el uso de aditivos químicos para la mejora de los suelos., se usa para reducir la plasticidad y el potencial de expansión- contracción. Si las arcillas son dispersivas, se utiliza para flocular las partículas, siendo estas muy difíciles de compactar por ello, se puede añadir un producto químico para dispersar ligeramente sus partículas y ayudar a un mejor proceso.

La estabilización mecánica implica metodologías que mejoran las propiedades de los suelos seleccionados sin la adición de productos u otras energías de unión de partículas como lo son: vibro flotación, precarga, compactación dinámica, drenes de arena, entre otros. La falta de resistencia ocurre sobre todo en suelos orgánicos, ya que la presencia de material orgánico no permite la buena estabilización de estos suelos.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

A continuación, se describen algunos criterios para establecer la estabilización de suelos según el MTC.

- Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . 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.

- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil.
- 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.

A continuación, se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo

Ilustración 2: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

ÁREA	CLASE DEL SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
2A	GW ó GP	1	Asfalto		Solamente material bien graduado El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		2	Cemento Portland		
		3	Cal-Cemento- Cenizas volantes	IP no excede de 25	
2B	GW - GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP -GC	1	Asfalto	IP no excede de 10	Solamente material bien graduado El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		2	Cemento Portland	IP no excede de 30	
		3	Cal	IP no menor de 12	
		4	Cal-Cemento- Cenizas volantes	IP no excede de 25	
2C	GM ó GC ó GM - GC	1	Asfalto	IP no excede de 10	Solamente material bien graduado El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		2	Cemento Portland	(b)	
		3	Cal	IP no menor de 12	
		4	Cal-Cemento- Cenizas	IP no excede de 25	
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	1	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20	
		2	Cal	IP no menor de 12	

Fuente: (Ministerio de Transportes, 2013)

### 2.2.2.1 Tipos de Estabilización de suelos

La estabilización de los suelos consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico para modificar las características de los suelos, de esta manera se busca corregir una deficiencia, para dar una mayor resistencia al terreno. Así tenemos tres tipos de estabilización, en la cual, la estabilización química y mecánica, son utilizadas para uso de carreteras, por el amplio movimiento de tierras

que implica, y la estabilización física, es usada para edificaciones u obras con poco desplazamiento de terreno.

### 2.2.2.1.1 Estabilización Química

La estabilización química es un cambio en las propiedades del suelo mediante la adición de sustancias química o cementantes orgánicos e inorgánicos. Es una tecnología que se basa en aplicar un estabilizador químico y mezclar homogéneamente según especificaciones del producto, así:

*“La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.”*  
(MTC 2018).

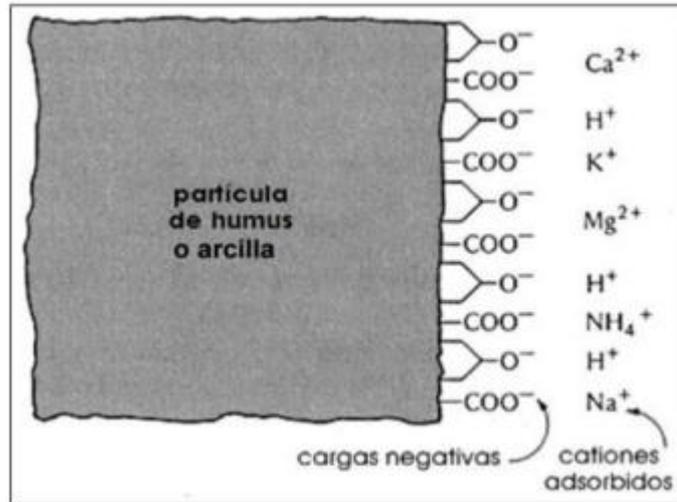
- **Suelos estabilizados con cal:** El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. Uno de los efectos más importantes es que disminuye la plasticidad. También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos. Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.
- **Suelos estabilizados con cemento:** se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla.
- **Suelos estabilizados con escoria:** Esta estabilización se realiza con el fin de evitar la explotación de canteras nuevas; al no requerir que los agregados sean procesados, se genera una reducción en cuanto

al consumo de energía y combustibles, reduciendo la emisión de dióxido de carbono al medio ambiente y manteniendo en condiciones buenas el ambiente.

- **Estabilización con Cloruro de Sodio:** El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.
- **Estabilización con Cloruro de Calcio:** Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.
- **Estabilización con Cloruro de Magnesio:** El cloruro de magnesio ( $MgCl$ ) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad.
- **Estabilización con Productos Asfálticos:** Tiene como principal fin aumentar la estabilidad debido a sus propiedades aglomerantes (propias del ligante), que genera la unión entre las partículas del suelo, consiguiendo un suelo impermeable, lo que lo hace más estable ante las condiciones climáticas más hostiles.
- **Estabilización química por ionización:** La ionización es el proceso químico o físico mediante el cual se producen iones. Estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. A la especie química con más electrones que el átomo o molécula neutros se le llama anión, y posee una carga neta negativa, y a la que tiene menos

electrones catión, teniendo una carga neta positiva. Hay varias maneras por las que se pueden formar iones de átomos o moléculas.

**Ilustración 3: Reacción Química por Ionización**



Fuente: (Castillo, 2018)

Existe una gran importancia de capacidad de intercambio ya que se puede mejorar en los siguientes aspectos: - Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados. - Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

### 2.2.2.1.2 Estabilización Mecánica

La estabilización mecánica consiste en la compactación del suelo, el cual se refiere en aplicar energía al suelo suelto para eliminar los vacíos, aumentando su densidad, por lo que consecuentemente, su capacidad de soporte y estabilidad, en otras palabras, mejorar sus condiciones ingenieriles del suelo.

Este tipo de estabilización utiliza la compactación para lograr reducir el volumen de vacíos presentes en el suelo sin cambiar su estructura y composición.

Entre los principales métodos para compactar tenemos a la Compactación Estática o por Presión, que se logra utilizando un

rodillo estático o rodillo liso, cuyo peso comprime las partículas del suelo, también tenemos a la Compactación por Impacto, que es producida por una placa apisonadora que golpea y separa del suelo a alta velocidad, es utilizado también la compactación por vibración, que se logra aplicando al suelo vibraciones de alta frecuencia con ayuda de rodillos vibratorios y por último la Compactación por Amasado, que se logra aplicando al suelo altas presiones distribuida con ayuda de un rodillo Pata de Cabra.

### **2.2.2.1.3 Estabilización Física**

La Estabilización Física, consiste en mezclar el suelo con sustancias físicas, es decir sustancias que no alteran su forma molecular al ser combinadas, como los geotextiles o geomallas, que son elementos que permiten estabilizar el suelo, incrementando la capacidad de carga, resolviendo situaciones de nivel freático, entre otras.

### **2.2.2.1.4 Estabilización por Combinación de Suelos**

Consiste en la combinación o mezcla del suelo existente con materiales de préstamo. Por lo cual se escarificará a una profundidad de 15 cm y luego se colocará el material de préstamo. Ambos materiales se humedecerán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación. Por consiguiente, se mezclan ambos materiales, se conformará y compactará hasta que cumplan la densidad y espesores de nivel subrasante en el proyecto.

### **2.2.2.1.5 Estabilización por Sustitución de suelos**

**Primer caso:** el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad hasta una profundidad de 15 cm, estos se humedecerán hasta la humedad apropiada de compactación.

**Segundo caso:** consiste en la remoción total existente de acuerdo al espesor de reemplazo, una vez de excavar al espesor establecido, se conforma y se compacta

### 2.2.3 Estabilizador Iónico: PROES

La Tecnología PROES, consiste en la estabilización química de suelos que contienen características de suelos inestables (arcillas) de baja capacidad de soporte que formaran parte de la estructura de un pavimento. Este producto crea una reacción iónica que aumenta la resistencia, estabilidad frente al agua y mejor comportamiento a las cargas del tránsito. Además, la incorporación de minerales afines al suelo, a través de dos aditivos, un aditivo líquido y otro sólido (cal, cemento, cenizas) a través de pocas horas. Para la presente investigación se utilizará como aglomerante el cemento.

Con respecto a la construcción de bases tratadas químicamente usando el Aditivo Líquido Proes, como es para subrasante o mejoramiento de suelos. La dosificación se realiza agregando al suelo la dosis del aditivo sólido y aditivo líquido diluido en agua de amasado, logrando una mezcla homogénea y compactando al 95% de su M.D.S.

La tecnología Proes, consiste en la estabilización química de suelos que contienen características de suelos inestables (arcillas) de baja capacidad de soporte que formaran parte de la estructura de un pavimento. Este producto crea una reacción iónica que aumenta la resistencia, estabilidad frente al agua, proes se plantea en crear soluciones de pavimentación de alta calidad y durabilidad, mejorando el uso de recursos y cuidando la sustentabilidad ambiental de los procesos. El producto Proes es un líquido de color oscuro y apariencia oleosa, producto estable a temperatura ambiente bajo 100 °C.

La tecnología Proes le proporciona al suelo características de impermeabilización, de resistencia, expresado con un CBR mayor del 100% y flexible. Esto se produce gracias al aporte de dos elementos. El primero es un conglomerante, elemento capaz de unir materiales o fragmentos químicamente, por ejemplo, el cemento, que tiende a flocular las partículas de los suelos al ser combinadas, conllevando a la separación del agua existente, y el suelo. El segundo es el aditivo Proes,

que actúa por ionización y ordena las partículas, para que estas no puedan facilitar en mayor grado el paso del agua, es decir la impermeabilización del suelo.

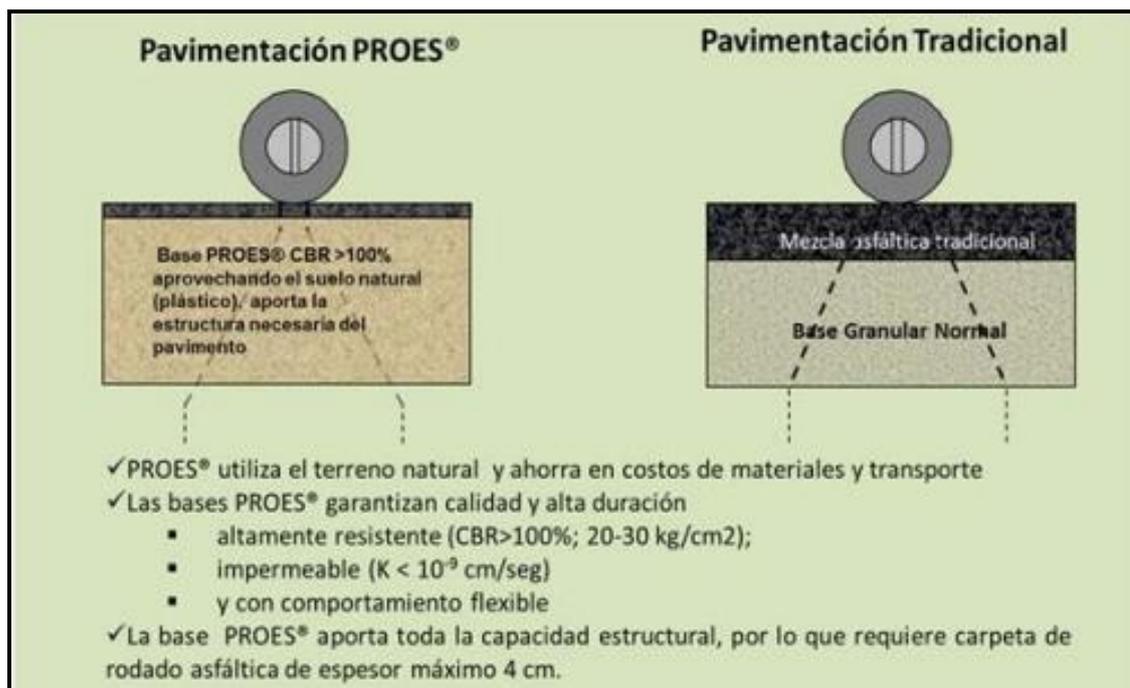
**Tabla 1: Dosificación del aditivo Proes**

Producto	Dosificación
Proes	0.30 a 0.35 lt/m <sup>3</sup>

Fuente: (Gil, 2007)

Para que se produzca la adición necesaria, primero se procede a hacer los estudios de suelos, de ello se procederá a determinar las dosis de aditivo y conglomerante necesario para la estabilización.

**Ilustración 4: Comparación entre suelo estabilizado y no estabilizado**



Fuente: Proes

Como se puede observar en la figura, muestra la comparación entre aplicar la tecnología Proes a los suelos y de no aplicarlos, donde aparte de mostrar las ventajas de mecánicas que los suelos estabilizados adquieren también muestra las ventajas económicas como por ejemplo la utilización del terreno natural y la disminución de espesor de la capa de rodadura asfáltica.

### 2.2.3.1 Especificaciones Técnicas

La estabilización se considera que será supervisada en terreno por personal técnico calificado para entregar soporte en el proceso de construcción. La empresa encargada de distribuir este producto en el Perú ofrece las especificaciones técnicas, dependiendo de los distintos suelos que se pueden encontrar en el país.

Todos los porcentajes de suelos a mezclar, así como las cantidades de los aditivos líquido y sólido, deberán ser ratificados en el estudio de dosificación por algún laboratorio de mecánica de suelos, al momento de determinar el sector donde se aplicará el aditivo PROES.

Las principales condiciones químicas del aditivo líquido son las siguientes:

- División de riesgo: Clase 8
- Líquido corrosivo
- Estado físico: líquido de color oscuro y apariencia oleosa
- Peso específico: 1.15
- pH: 1 a 1.5 en estanque, 4 a 6 en aplicación según dilución.
- Estabilidad: producto estable a temperatura ambiente, mantener bajo 100°C.
- Fecha de caducidad: no tiene

#### **Materiales**

El suelo a estabilizar químicamente debe contener partículas arcillosas ( $IP > 0$ ) y que en tiene su mejor desempeño en suelos con las siguientes características:

- Tamaño Máximo: 2"
- Pasante Malla # 4 > 40%

- Pasante Malla # 200 > 12%

Estas características pueden variar en función de los resultados de suelos para ser estabilizados químicamente con Tecnología Proes, pero es necesario hacer nuevos estudios de dosificación para mejorar la capacidad estructural del suelo.

Consideraciones de uso:

De la Ficha Técnica de la empresa Proes resultan los siguientes comentarios.

- Se deben asegurar condiciones de homogeneidad y composición adecuada en el suelo a tratar de acuerdo con estudios y especificaciones de Proes.
- Al suelo a tratar se debe agregar un aditivo sólido, el cual consiste en cemento u otro filler gestionable localmente.
- El aditivo Proes se agrega en dosis de 0.30 a 0.35 lt/m<sup>3</sup> de suelo estabilizado, la aplicación se realiza mediante un camión aljibe, donde se diluye el aditivo Proes en agua previo a su aplicación.
- La finalización del proceso contempla revolver y extender el suelo tratado con motoniveladora, y luego compactado con un rodillo vibratorio. Este proceso se debe realizar en las 4 horas inmediatamente posteriores al riego”.

#### **2.2.4 Estabilizador Iónico: Aditivo CONAID**

El estabilizador iónico de suelos CON-AID deriva de los componentes activos es un aceite sulfonado. La acción de este aceite sulfonado producen una asociación permanente entre la molécula de estabilizador y la partícula de arcilla, debido a que son surfactantes (reactivos actuantes en superficies). Este se utiliza como medio para dispersar agua en minerales de arcilla.

Tomando en cuenta el aditivo CON-AID como estabilizante de suelos en el cual formará parte de este proyecto de investigación, para la estabilización que se da al suelo con el aditivo, éste predice una acción iónica forzosa, requerida para reducir la cantidad de agua adsorbida a través de las arcillas, mejorando en su procedimiento mecánico al disminuir el índice de plasticidad y su expansión.

Sus moléculas que posee el estabilizador CON-AID son capaces de separar fácilmente cationes frágiles como son los cationes del agua y a su vez ser remplazados constantemente por las moléculas del estabilizador. Por otro lado, las colas hidrofóbicas de las moléculas van permaneciendo orientadas hacia fuera de la superficie de las arcillas, llegando a recubrir los poros de la matriz del suelo, donde el comportamiento del agua será de forma libre, pudiendo ser eliminada más fácil a través de la evaporación y compactación.

Entonces, para el tratamiento que se realiza al suelo con el aditivo CON-AID, acontece una acción química siendo citada para repeler el agua de los suelos que contengan material de arcillas. Luego de haber ocurrido la reacción del suelo con el aditivo, respecto a la compactación que se requiere, se realizará con un menor esfuerzo mecánico, quedando muy unidas las partículas que han sido tratadas en una capa muy cerrada y uniforme. Esto es consecuencia de la eliminación del agua adsorbida, dando un mayor y mejor acercamiento entre las partículas de arcilla, relacionándolas de manera más próxima entre unas a otras. Donde el suelo obtiene una mayor densidad, esto no hubiera pasado si el material contenía agua en sus partículas.

CON-AID es un compuesto químico complejo, especialmente para el uso vial, donde uno de sus componentes principales es un reactivo catiónico de alta valencia, que reemplaza de forma permanente los cationes débiles presentes en la capa de agua absorbida a la partícula del suelo y que son responsables de la inestabilidad de los suelos.

El ensayo California Bearing Ratio (CBR), se emplea para determinar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de afirmado, explanadas, así como en la clasificación de terrenos, es decir la prueba CBR de suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicarlo sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado.

(CON-AID Argentina S.A., s.f.) Señala que, la estabilización iónica con CON-AID, radica en un cambio iónico estudiado, idóneo para aminorar la capa de "agua absorbida" de las moléculas de la arcilla, optimizando su comportamiento mecánico al aminorar la plasticidad y su expansión. Fuertes partículas suministradas por el estabilizador pueden descomponer fácilmente cationes débiles (como los del agua y otros metales) y sustituirlos permanentemente. Otro concepto que se define son las colas hidrofóbicas (cuando las moléculas no son capaces de interaccionar) cubriendo los poros capilares de la matriz del suelo, que quedaron orientados hacia afuera de la superficie del mineral de arcilla. Este último supone que el agua metida al procedimiento se comportará como agua libre, pudiendo ser suprimida ligeramente por evaporación, compactación o efectos gravitatorios.

El tratamiento del material con CON-AID provee la reacción química requerida para repeler el agua de los minerales de arcilla. Al ser reaccionadas tienen el resultado final que puede ser resumido de la siguiente manera:

- Reducción del IP, mediante la reducción de L.L (entre un 15 a un 40%)
- Reducción del hinchamiento (entre 50 a un 100%)
- Aumento de la Ds.max. (entre 3 a 5%)
- Aumento de CBR: (A2:70 a 100%), (A4:100%), (A6:200 a 300%), (A7:300 a 500%)

El estabilizador aniónico del suelo Con-Aid, originado a partir del petróleo, es líquido viscoso de color rojo intenso sin olor ni sabor, químico soluble en agua, no peligroso, no inflamable, no corrosivo, no tóxico, seguro para el medio ambiente y fácil de usar.

**Tabla 2: Dosificación del aditivo Con-Aid**

<b>Producto</b>	<b>Dosificación</b>
Con-aid	0.06 a 0.08 lt/m <sup>3</sup>

Fuente: (Zelada, 1992)

La empresa encargada de distribuir este producto en el Perú ofrece las especificaciones técnicas, dependiendo de los distintos suelos genéricos que se pueden encontrar en el país.

#### **2.2.4.1 Especificaciones técnicas**

Con propósitos a estabilización de suelos, se tiene las siguientes especificaciones:

- No inflamable
- No corrosivo
- No peligroso
- No tóxico
- Biodegradable
- Aniónico activo (%) = 23 como mínimo (Método Hyamine)
- Contenido de sólidos (%) = 24 como mínimo (a 110° C)
- PH = 0,45 ± 0,15 (No corrosivo a dilución de trabajo)
- Viscosidad a 25° C = 750 ± 100
- Peso específico a 25° C = 1,03 ± 0,00

#### 2.2.4.2 Ventajas del aditivo CONAID

(Bada, 2016, págs. 20,21) Afirma que, "reduce problemas de mantenimiento de caminos, incrementa la resistencia de la compresión, reduce el esfuerzo de compactación, aumenta la consistencia del suelo, reduce la permeabilidad, reacción efectiva al cambio violento climatológico.

(CON-AID Argentina S.A., s.f.), en sus publicaciones afirma obtener los siguientes beneficios al aplicar el producto CON-AID Súper.

- **Beneficios económicos:** Garantiza la utilización permanente del camino, reducción de costo de construcción facilitando la compactación y uso de materiales locales, reducción de costo de mantenimiento, de la misma forma afirma que esta, se presta para su posterior pavimentación.
- **Beneficios técnicos:** Reduce el IP, Aumenta la Densidad Seca Máxima, Aumenta el valor soporte relativo y resistente a la compresión, disminuye el hinchamiento, disminuye el desprendimiento del polvo.
- **Otros beneficios:** Las precipitaciones no perjudican el material en desarrollo de construcción, rápido secado luego de la lluvia.
- **Rendimiento del producto:** un bidón de 100 lts de CON-AID Súper, rinde un promedio de 15000m<sup>2</sup> (0.15m de espesor).

Las ventajas que se obtiene al aplicar el producto están dadas por el alto rendimiento y menor costo se puede obtener carreteras de rodadura con un menor costo de mantenimiento, con un periodo de vida extensa y útil así en diversas condiciones climatológicas que se presentan. Reduce problemas generales de trabajo y mantenimientos de caminos: Al acortar la cantidad de agua que es retenida en el material, aumenta la estabilidad del suelo. De esta manera se reducirían los efectos de las ondulaciones, encalaminado y baches, dando como resultado mayor tiempo de vida útil y menor costo de mantenimiento.

### 2.2.4.3 Usos

En la Consolidación de los caminos rurales o vecinales, estabilización de suelos para subrasante, sub bases y bases de pavimentos.

Para el tratamiento que se realiza al suelo con el aditivo CON-AID, acontece una acción química siendo citada para repeler el agua de los suelos que contengan material de arcillas. Luego de haber ocurrido la reacción del suelo con el aditivo, respecto a la compactación que se requiere, se realizará con un menor esfuerzo mecánico, quedando muy unidas las partículas que han sido tratadas en una capa muy cerrada y uniforme. Esto es consecuencia de la eliminación del agua adsorbida, dando un mayor y mejor acercamiento entre las partículas de arcilla, relacionándolas de manera más próxima entre unas a otras. Donde el suelo obtiene una mayor densidad, esto no hubiera pasado si el material contenía agua en sus partículas.

La densidad lograda, a través de su comportamiento hidrofóbico obtenido que demuestra el material, impide que el agua pueda ingresar a la capa de afirmado, logrando un mayor aumento de la capacidad de resistir mayores fuerzas de la capa tratada por la fricción dadas entre partículas y produciendo una vía más estable, firme, menos húmeda, densa y con menos incidencia de polvo. Las reacciones químicas que se desarrollan al aplicar el aditivo se presentan a través de cuatro fases. (CON- AID Argentina S.A).

- La primera fase se desarrolla con la aplicación del CON-AID iniciando con la adición del aditivo, donde las moléculas que contiene el estabilizador empiezan a desarrollar unas reacciones y enlaces químicos anteriormente explicados. Por otro lado, las moléculas de agua absorbida empiezan a desprenderse de las partículas del suelo desde la superficie, la parte hidrofóbica sobresale a la superficie del nivel del agua, y la otra parte hidrofílica permanece sumergida.
- En la segunda fase acontece el desprendimiento del agua, así como su evaporación, dejando el lugar que había permanecido el agua, un

sitio libre entre partículas. Después de haber ocurrido la evaporación, éste aumenta la atracción gravitatoria en las partículas de arcillas muy pequeñas, lográndose manifestar considerablemente y mejorando el suelo de manera acelerada.

- En la tercera fase se da acción del tránsito. Dando un simultáneo al efecto de evaporación, donde la acción del tránsito suministra a la capa de afirmado un esfuerzo mecánico necesario para reacomodar o alinear las partículas del suelo estabilizado. En esta fase también se realiza el curado con agua pura, evitando un forzoso secado de la capa de superficie.
- En la cuarta fase forma parte de la capa estabilizada y compactada. Finalmente, los efectos químicos y físicos previamente descritos han generado en la capa de afirmado estabilizada un mayor aumento de resistencia a las cargas. Además, las partículas que se encuentran en estado de “hidrófobas” por la reacción del estabilizante, lo cual lleva a que el agua que ingrese al sistema ésta sea anulada rápidamente.

Se tendrá en cuenta las especificaciones técnicas del aditivo CON-AID que deben ser empleados y aplicados para su respectivo uso en los ensayos que se realizarán en este trabajo de investigación de la mejor manera:

La preparación del área del camino antes de aplicar el aditivo, se deberá preparar el área de trabajo según a los niveles y grados especificados en el diseño, si el camino no cuenta con bordillos y un sistema de aguas pluviales para contrarrestar las precipitaciones de lluvia, se deberá construir desagües laterales al mismo momento que el resto de la carretera. La información, equipos y materiales de construcción es fundamental para la construcción de carreteras con CON-AID. La información que se tendrá sobre la dosificación que se utilizará será en litros por metro cuadrado (L/m<sup>2</sup>), uno de los equipos primordiales para este trabajo es la motoniveladora deberá estar equipada con un desgarrador de dientes para remover el área de construcción, la cisterna

de agua será la encargada de rociar el agua de manera uniforme, el rodillo para este trabajo más adecuado es el rodillo neumático y por último, el agua a usar será agua potable, también se puede usar agua de mar pero tiene que ser antes de usarla con el aditivo para no alterar su composición. (CON-AID CBR PLUS, p.3).

Este producto cuenta con una tecnología de sistema enzimático, creando un efecto en los materiales que contienen arcillas, reduciendo la plasticidad y permeabilidad, También un incremento de la densidad y valor de soporte (CBR). Se caracteriza por hacer un intercambio iónico y electroquímico de las partículas de arcillas. Su composición se da de la fermentación de vegetales, es aplicado en suelos naturales incluyendo a suelos con porcentajes de alto contenido arcillosos cohesivos. el rendimiento del producto es un bidón de 20 litros rinde a 660 m<sup>3</sup> de material siendo 1 litro de aditivo para 33 m<sup>3</sup> de material. (Bada, 2016, p.20).

La fecha de caducidad es de 48 meses equivale a 4 años contados desde la fecha de su elaboración, es un producto Ecológico, No toxico siendo amigable con el medio ambiente, peso molecular 340, es un derivado del ácido sulfónico, se debe mantener a una temperatura de no mayor a 10°C para no sufrir alteraciones del contenido, el PH esta entre 3.5-9, su color que aparenta es color rojo claro, viscosidad de 20, presenta olor ambiente, su presión de vapor es de 20 mm Hg, su gravedad especifica es 1.05, es soluble con el agua. (CON-AID CBR PLUS).

### **2.2.5 Carreteras no Pavimentadas**

Son aquellas vías que tienen la superficie de rodadura con materiales granulares, o cuyos suelos han sido sometidas a tratamiento superficial con previos trabajos de Ingeniería como son: Topografía, Hidrología o como también se encuentra caminos realizados por la necesidad de acceder hacia los lugares destinados.

### **2.2.5.1 Clasificación**

Las carreteras se clasifican de acuerdo a las capas superiores y la superficie de rodadura.

- Carreteras de tierra: constituidas por suelos naturales y grava zarandeada con suelo natural y otros.
- Carreteras gravosas: constituidas con material natural granular sin procesar que es seleccionado manualmente o por zarandeo. Su tamaño máximo es de 75mm.
- Carreteras afirmadas: aquellas que funcionan como superficie de rodadura y/o soporte al tráfico vehicular cuya capa de rodadura está constituida por materiales granulares naturales provenientes de canteras con sus especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.
- Carreteras con superficies estabilizadas con materiales de origen industrial.

### **2.2.5.2 Deterioros en carreteras sin pavimentar**

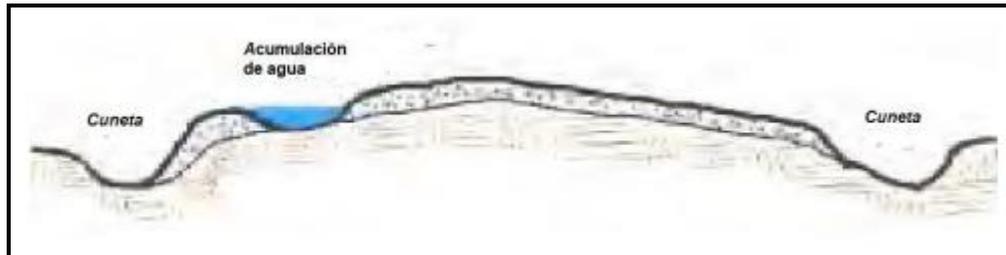
Consiste en el daño mediante un proceso acelerado debido a que los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico), lluvias, presencia de hielo, llegan a pulverizarse en condiciones secas.

Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Los defectos más comunes en este tipo de vía se evalúan de acuerdo a la magnitud y gravedad de la siguiente forma:

- **Sección transversal impropia:** Cuando esta sección transversal se diseña mal, la vía esta propensa a sufrir algún deterioro o problemas futuros de drenaje y circulación, por lo que se debe diseñar teniendo en cuenta los criterios básicos para que el agua sea evacuada de manera rápida y eficiente.

**Ilustración 5: Sección transversal impropia**



Fuente: Coronado, 2000

- **Drenaje inadecuado:** Este se desarrolla cuando la acumulación de agua superficial se encuentra por los costados afectando la vía de tránsito, esto puede ocurrir por un mal drenaje superficial sino también por la falta de un mantenimiento o acumulación de material que obstaculiza el flujo del agua.

**Ilustración 6: Drenaje inadecuado**

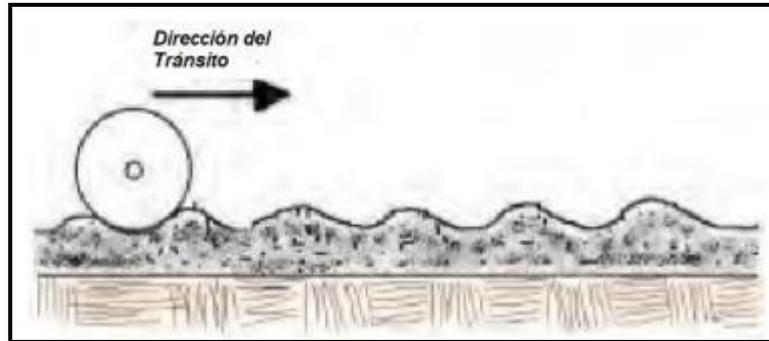


Fuente: Coronado, 2000

- **Ondulaciones:** Estos se aprecian por las deformaciones que se presentan en la superficie de rodadura, en intervalos regulares y perpendiculares al tráfico. Esto se origina por la sobrecarga de los

vehículos, la pérdida de finos, deficiencias en la capacidad de soporte, pendiente inadecuada y capa de material granular de mala calidad.

**Ilustración 7: Ondulaciones**



Fuente: Coronado, 2000

- **Exceso de polvo:** Esto ocurre por la pérdida de la fracción fina de la base o la capa granular. Este tipo de fenómeno afecta la salud de la población, la operatividad de vehículos y exponer al peligro a los vehículos que pierden el equilibrio al encontrarse con este fenómeno.

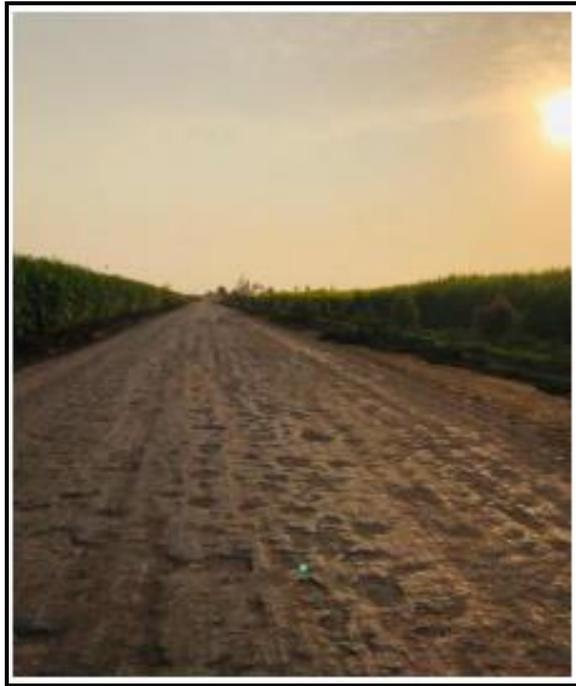
**Ilustración 8: Generación de Polvo**



Fuente: fotografías propias

- **Baches:** son hoyos o desnivel del suelo, esto se debe por la falta de capa de revestimiento, plataforma mal drenada, ausencia de aglutinantes en la composición de la carpeta de rodado.

### Ilustración 9: Presencia de Baches



Fuente: Fotografías propias

# CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

## 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La estabilización de suelos, ha sido y es muy estudiada en diversos países del mundo, ya que tiene una implicancia económica muy importante en la parte económica de la construcción de carreteras, hay zonas muy críticas de suelo a nivel de subrasante en diversas partes del mundo que requieren ser superadas por proyectos de construcción de carreteras, donde las tecnologías antiguas colapsan y se requiere innovación en las soluciones.

En nuestro país, poco se ha investigado respecto a nuevas tecnologías para el mejoramiento de la subrasante de las carreteras, por lo que tenemos serios problemas para afrontar el paso de carreteras con problemas puntuales de subrasantes malas, por lo que seguimos utilizando tecnologías de antaño.

En el proyecto de investigación, también tenemos muchos problemas para superar las dificultades con la subrasante del suelo, tenemos suelos dispersivos, nivel freático alto, capacidad portante muy baja, zonas planas con problemas de drenaje, lo cual, sin duda, nos induce a plantear nuevas soluciones para superar estas dificultades.

## 3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué Manera la aplicación de los aditivos químicos influye en la mejora del CBR de la Subrasante de la Carretera San Rafael – Nuevo Arica – Provincia de Alto Amazonas - departamento de Loreto?

### 3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿Cómo determinamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural de la Carretera San Rafael – Nuevo Arica – Provincia de Alto Amazonas - departamento de Loreto?, de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas?

- ¿Cómo determinamos las propiedades mecánicas (CBR) y Compresión Simple no confinada del suelo con la aplicación de los aditivos químicos?
- ¿Cómo evaluamos los aditivos químicos para el aumento del CBR y la Resistencia a la Compresión Simple no Confinada según las dosificaciones establecidas por sus especificaciones técnicas?

### **3.3 OBJETIVOS**

#### **3.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia de los aditivos químicos, con las dosificaciones establecidas en sus especificaciones técnicas, en la mejora del CBR de la subrasante de la Carretera San Rafael – Nuevo Arica – Provincia de Alto Amazonas - departamento de Loreto.

#### **3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de la Carretera San Rafael – Nuevo Arica – Provincia de Alto Amazonas - departamento de Loreto, a través de las Normas Técnicas Peruanas.
- Determinar las propiedades mecánicas (CBR) y Compresión Simple no confinada del suelo con la aplicación de los aditivos químicos.
- Evaluar los aditivos químicos para el aumento del CBR y la Resistencia a la Compresión Simple no Confinada según las dosificaciones establecidas por sus especificaciones técnicas.

### **3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación se justifica porque al realizarla, vamos a evaluar primeramente los aspectos físicos y mecánicos del suelo de subrasante, permitiendo identificarla plenamente, para luego proponer una dosificación en la aplicación de los aditivos, lo cual nos permitirá solucionar un problema que es fundamental para caminos vecinales con

suelos arcillosos en su subrasante y poder aplicar en situaciones similares a lo largo del país.

La investigación realizada tiene como finalidad dar a conocer el funcionamiento de los aditivos químicos iónicos PROES y CONAID, utilizando las dosificaciones indicadas en sus fichas técnicas proporcionadas por sus proveedores respectivamente

### **3.5 HIPÓTESIS**

#### **Hipótesis General**

Los aditivos químicos, con las dosificaciones establecidas en sus especificaciones técnicas, influyen significativamente en la mejora del CBR de la subrasante de la Carretera San Rafael – Nuevo Arica – Provincia de Alto Amazonas - departamento de Loreto.

### **3.6 VARIABLES**

#### **Identificación de Variables**

##### **Variable Independiente:**

Aditivos Químicos

##### **Variable dependiente:**

Capacidad Portante (CBR) de la Subrasante.

# CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

---

## 4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

### 4.1.1 Tipo de Investigación

El Diseño Experimental, puesto que en el diseño se manipulan deliberadamente una o más variables vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable independiente de interés

## 4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 4.2.1 Población

Se tendrá una población de 08 muestras

### 4.2.2 Muestra

La muestra no es probabilística, debido a que la muestra se seleccionará a base del conocimiento y juicio de los investigadores

## 4.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTO Y PROCESAMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 4.3.1 Técnicas

Se empleará en la recolección de datos la técnica de Experimentación.

### 4.3.2 Instrumentos

Para la técnica de Experimentación se utilizará una Ficha de experimentación como instrumento.

### 4.3.3 Procedimientos

Los procedimientos que se seguirán en la recolección de datos son:

- Extracción de muestras.
- Desarrollo de ensayos de laboratorio.
- Validación de los ensayos de Laboratorio y de tal manera validar la información obtenida.

- Procesamiento de Datos obtenidos en Laboratorio.
- Organización de los datos en cuadros.
- Representación de los datos mediante tablas y gráficas.
- Análisis e interpretación de los datos.
- Elaboración de los informes respectivos en el Proyecto de Tesis.

#### **4.3.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

La información será procesada en forma computarizada a través del Programa de Software: Excel (para la base de Datos) y en Gabinete con cálculos respectivos. De tal manera el procesamiento de la información nos permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará las tablas y gráficos.

## CAPÍTULO V: MATERIALES Y MÉTODOS

---

Para iniciar con el desarrollo de la presente tesis, se realizó una inspección visual a la vía a estudiar, observando los problemas que se presentan en ella y a los alrededores.

Luego, de observar las condiciones de la vía se procedió a extraer muestras del suelo en diferentes puntos de la vía, para su estudio. Con las muestras extraídas a través de calicatas, se extrajo un puño de suelo natural para determinar su % de contenido de humedad, estas se tomaron tres muestras que fueron puestas en un recipiente para llevarlas al horno por 24 horas. Luego, se realizó el análisis granulométrico.

Se realizaron los Límites de Atterberg. Para determinar el Límite Líquido de cada una de las muestras. Se tomó una muestra de 250 gramos que pasó por el tamiz N.º40 y se mezcló con agua hasta tener una mezcla homogenizada para llegar a los rangos dados por la ASTM en un recipiente, luego estas son puestas en la Copa de Casagrande, donde esta debe estar calibrada. Se procede a suministrar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm (1/2"). Cuando esta se cierre se registra la cantidad de golpes y se toma la muestra en la parte central para determinar su contenido de humedad por 24 horas. Asimismo, en paralelo se determinó el Límite Plástico, con el material preparado para el límite líquido se tomó 20 gr aproximadamente, se amasó hasta dejar que pierda humedad y pueda enrollarse sin que pegue en las manos sobre una placa de vidrio, este rollito debe ser de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pulg), esta se continuó hasta que empezó a rajarse y desmoronarse para colocarlo en una tara, pesarlo y llevarlo al horno por 24 horas. Se hicieron 2 repeticiones de este ensayo, para calcular un promedio.

Estos ensayos se realizaron con el fin de calcular el Índice de Plasticidad, que es el resultado de la diferencia del límite líquido con el límite plástico.

Posteriormente, con estos resultados del Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg de cada una de las muestras, se procedió hacer la clasificación de

suelos por el método SUCS y AASHTO, con las tablas ofrecidas por la norma ASTM, con los parámetros y requisitos que estos muestran.

Por consiguiente, se realizó en el ensayo de Proctor Modificado utilizando el método "A" como nos indica el MTC E 115, sólo se aplicó este ensayo a las calicatas N°2, 4, 6 y 8, este consistió en colocar una muestra de suelo con cantidades de agua empezando con el 6% según criterio, en un molde cilíndrico con las dimensiones establecida en la norma método "A", en cinco capas. Cada capa fue compactada a 25 golpes de un martillo de 10 lb que se dejó caer a una distancia de 18".

Previo a esto, la muestra debe pasar por la malla N°4. Una vez compactada, esta se pesó, y fue extraída a través de una gata hidráulica para poder extraer del núcleo una muestra y pesarla para establecer una relación entre el contenido de agua para el suelo y el peso unitario seco. Con estos datos, se hizo la gráfica de la curva de compactación para hallar los valores de la Densidad Máxima seca y el Contenido Optimo de agua. Estos valores, estos datos nos sirven para realizar el ensayo de CBR.

El ensayo de CBR, se trabajó en las calicatas N°2, 4, 6 y 8, realizándose 4 CBR para todo el tramo de la carretera. Para cada una de ellas, se prepararon 21 kg (7 kg para cada punto) es decir, para 12, 25 y 56 golpes. La mezcla de la muestra y agua se hizo con los valores de la humedad óptima dados en el Proctor Modificado y que han pasado por la malla N°4. Luego es colocada sobre la placa del molde, el disco espaciador con el papel filtro encima, previa a esto se pesa solo el molde con la placa.

Por consiguiente, se fija el collarín para proceder a compactar mediante 5 capas, cada una de las porciones de suelo húmedo, se quita el disco, se voltea y se pesa. A esta se le colocaron las sobrecargas para llevarlas a una poza de agua por debajo de la muestra. Se montó el trípode y se le colocó el dial o llamado también deformímetro digital de tal modo que su punta palpable quede tocando el vástago. Luego se tomó la lectura inicial del dial, asimismo se tomó la lectura cada 24 horas por las 96 horas que tiene que estar sumergida cada molde. Pasado las 96 horas, se retira el molde de la poza, antes se debe tomar

la última lectura, se deja drenar 15 minutos y se retiran las sobrecargas. Estas son llevadas a la Prensa de CBR y se colocan nuevamente las sobrecargas para aplicar la carga de la máquina, teniendo a los diales en deformación cero. Se procede a registrar las lecturas de carga acuerdo a las penetraciones especificadas en la norma.

Finalmente, se retiró el molde, para extraer el material dentro y sacar del núcleo una cantidad para determinar el contenido de humedad. Los datos fueron luego procesados en tablas para obtener el CBR de cada muestra se suelo que tomó.

- **Procedimiento del método de muestreo**

Para la caracterización del material extraído, el muestreo consistió en hacer posteos entre cada calicata, y estas están cada 500 m aproximadamente, a una profundidad de 1.50 metros. Estos fueron colocados en sacos y bolsas para posteriormente llevarlas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Privada del Norte. Asimismo, proceder a caracterizarlo y hacer los ensayos de Compresión Simple y CBR.

- **Ensayos de Laboratorio del suelo a estudiar**

Luego de extraer las muestras de los posteos y calicatas, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad ASTM D-2216
- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422
- Análisis granulométrico por Hidrómetro ASTM D-422
- Limite Líquido ASTM D-4318
- Limite Plástico ASTM D-4318
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación AASHTO ASTM D-4328

- Gravedad Específica de Sólidos en Suelos ASTM D-854
- Proctor Modificado ASTM D-1557
- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883
- Compresión Simple no Confinada ASTM D-2166

- **Contenido de humedad**

Es la relación expresada como porcentaje del peso del agua al peso de los sólidos en una determinada masa del suelo.

Esta humedad se toma del mismo suelo en estado natural.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

W es el contenido de humedad expresado en porcentaje (%)

$W_w$  es el peso de agua contenido en el suelo

$W_s$  es el peso del suelo seco.

- **Análisis granulométrico por tamizado**

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. El tamaño de los granos de un suelo se refiere a los diámetros de las partículas que lo forman, cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada.

La cantidad de material utilizado para el agregado fino es de 500 gr para agregado fino como mínimo según indica la norma.

De acuerdo a los tamaños de partículas, se tiene los siguientes tipos de materiales:

Tabla 3: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas

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

Fuente: Ministerio de Transporte 2018

- **Límite líquido**

El límite líquido se define como el porcentaje de contenido de humedad con respecto al peso seco de la muestra, Viene a ser el contenido de humedad con el que el suelo cambia de estado plástico a estado líquido. Es por ello que, en el límite líquido, los suelos plásticos tienen una resistencia muy pequeña al esfuerzo al corte.

Los Limites de Atterberg son importantes ya que están relacionados con la cantidad de agua que contiene un material y que es capaz de absorber, los cuales están definidos por el Límite Líquido, que es el paso del estado semilíquido al estado plástico medida por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la fluidez, y el límite plástico, que es el paso del estado plástico al estado de semisólida medida por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la plasticidad (se rompe).

$$L.L = W_N \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{\tan\beta}$$

Donde:

L.L. es el Límite Líquido

$W_N$  es el contenido de humedad natural

N es el número de golpes

$\tan\beta$  es la pendiente de la línea de flujo

- **Límite plástico**

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Este ensayo depende mucho del contenido de agua que tenga el material para las arcillas, puede estar muy seca teniendo una consistencia dura como puede tener una gran cantidad de agua, volviéndose un lodo o semilíquido.

$$L.P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100$$

Donde:

L.P.= Humedad correspondiente al límite plástico en %.

$P_h$  = Peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos.

$P_s$  = Peso de los trocitos de filamentos secos en gramos.

$P_w$  = Peso del agua contenida en los filamentos pesados en gramos.

- **Índice de Plasticidad**

Es la diferencia entre el límite líquido y plástico, indica el margen en porcentaje en el que el suelo mantiene sus condiciones plásticas, es decir que mide la plasticidad del suelo.

El índice de plasticidad representa el porcentaje de humedad que debe tener la arcilla para mantenerse en estado plástico. Estos datos son importantes para la clasificación de los suelos finos empleando la carta de plasticidad de Arthur Casagrande.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP es el Índice de plasticidad

LL es el Límite Líquido

LP es el Límite plástico

**Tabla 4: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad**

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

Fuente: Ministerio de Transporte, 2018

- **Clasificación SUCS**

Este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación general a su sistema propuesto para la construcción de la carretera.

Los suelos son designados por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba) y los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

**Tabla 5: Prefijos y sufijos para cada tipo de suelo**

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduada	W
Arena	S	Mal graduada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Órgánico	O	Límite Líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite Líquido bajo (<50)	H

Fuente: Ministerio de Transporte, 2018

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

**Tabla 6: Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo**

SÍMBOLO		CARACTERÍSTICAS GENERALES	
GW	GRAVAS (>50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduada
GP			Mal graduada
GM		Con finos	Componente Limoso
GC		(Finos >12%)	Componente Arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias	Bien graduada
SP		(Finos <5%)	Mal graduada
SM		Con finos	Componente Limoso
SC		(Finos >12%)	Componente Arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
MH		Alta plasticidad (LL >50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL < 50)	
CH		Alta plasticidad (LL >50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL < 50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL >50)	

Fuente: Cedeño, 2018

- **Clasificación AASHTO**

El sistema de clasificación American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, sub rasantes, sub bases y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos.

Los ensayos precisos para la clasificación del suelo con este sistema, se reducen a los análisis granulométricos (tamices números 10,40 y 200), determinación de los límites líquidos y plástico, y el cálculo de índice de grupo. Este sistema divide a los suelos en 7 grupos.

Evalúa los suelos dentro de cada grupo, se realiza por medio de un índice de grupo.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: porcentaje que pasa por el tamiz N° 200

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

El sistema de clasificación AASHTO se encuentra detallado

**Ilustración 10: Clasificación del suelo según Índice de Grupo**

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: Ministerio de Transporte, 2018

- **Proctor Modificado**

El ensayo de Proctor es un estudio importante para el control de calidad de la compactación del suelo.

Este ensayo fue desarrollado por el ingeniero Ralph R. Proctor en 1933, para así dar a conocer la determinación de la máxima densidad seca, las condiciones de humedad y energía. El ensayo consiste en compactar el suelo en un cilindro con un volumen conocido, asiendo variar la humedad para lograr obtener diferentes puntos en el cual se tendrá un punto máximo donde se va a determinar la máxima densidad seca y la humedad. La compactación es el proceso mecánico con el que se busca disminuir la cantidad de vacíos de una masa de suelo, lo que facilitará el contacto más íntimo entre las partículas de este, generando un aumento de la densidad del suelo.

Las variables que influyen en el nivel de compacidad de un suelo son la humedad de este y el nivel de energía de compactación.

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

Dónde:

Y = energía a aplicar en la muestra de suelo

n = número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado

N = número de golpes aplicados por capa

P = peso del pisón

H = altura de caída del pisón

V = volumen del cilindro

- **Relación de Soporte (CBR)**

El ensayo de CBR es una prueba de penetración para comprobar las características mecánicas del suelo y determinar la calidad de la subrasante, sub base o base de un pavimento siendo fundamental para determinar el estado del suelo. La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y está normado por la ASTM D 1883-73. Este ensayo se puede realizar tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

### **5.1 Determinación de la dosificación según la ficha técnica del aditivo PROES para la mejora de la subrasante**

Para determinar la dosificación a utilizar del aditivo, se tuvo que tener en cuenta el tipo de suelo que conforma la subrasante, el cual lo determinó los ensayos de laboratorio. Asimismo, con el uso del cemento. Para este caso se utilizó el Cemento Mochica.

### **5.2 Determinación de la dosificación según la ficha técnica del aditivo CONAID para la mejora de la subrasante**

Para determinar la dosificación a utilizar del aditivo, se tuvo que tener en cuenta el tipo de suelo que conforma la subrasante, el cual lo determinó los ensayos de laboratorio. Asimismo, con el uso del cemento. Para este caso se utilizó el Cemento Mochica Anti salitre.

## CAPÍTULO VI: RESULTADOS

### 6.1. Caracterización del Suelo Fino

#### 6.1.1. Granulometría, clasificación SUCS y AASHTO

En la Tabla N°7 y 8 se muestran los resultados del ensayo de granulometría, el porcentaje de finos que pasa por la malla N°200 (NTP 339.128) de los 7 postes en los estratos 1 y 2. Por otro lado, en las Tabla N°9 y 10 se muestran los resultados de granulometría para las 8 calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 7: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los Posteos Estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA
		(Km)	(m)	% Pasa tamiz n°200
1	P-1	0+383	1.50	68.31
2	P-2	1+127	1.50	52.36
3	P-3	2+050	1.50	93.01
4	P-4	2+868	1.50	82.17
5	P-5	3+972	1.30	62.02
6	P-6	5+013	1.20	67.21
7	P-7	5+543	1.20	62.26

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 8: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los postes para los estratos 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA
		(Km)	(m)	% Pasa tamiz n°200
1	P-1	0+383	1.50	66.10
2	P-2	1+127	1.50	53.64
3	P-3	2+050	1.50	75.89
4	P-4	2+868	1.50	82.59
5	P-5	3+972	1.30	69.06
6	P-6	5+013	1.20	68.65
7	P-7	5+543	1.20	50.57

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 9: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA
		(Km)	(m)	% Pasa tamiz n°200
1	C-1	0+098	1.50	74.04
2	C-2	0+934	1.50	68.34
3	C-3	1+500	1.50	94.13
4	C-4	2+608	1.50	94.46
5	C-5	3+570	1.20	84.72
6	C-6	4+416	1.10	56.52
7	C-7	5+324	1.10	70.87
8	C-8	5+783	1.20	57.24

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 10: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA
		(Km)	(m)	% Pasa tamiz n°200
1	C-1	0+098	1.50	79.75
2	C-2	0+934	1.50	50.10
3	C-3	1+500	1.50	85.84
4	C-4	2+608	1.50	88.20
5	C-5	3+570	1.20	82.46
6	C-6	4+416	1.10	70.41
7	C-7	5+324	1.10	67.37
8	C-8	5+783	1.20	69.20

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.2. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

En las Tabla N°11 y 12 se muestran los resultados obtenidos del Límite Líquido (NTP 339.129), Límite Plástico (NTP 339.129) e Índice de Plasticidad medidos en porcentaje para los diferentes posteos en los estratos 1 y 2. Por otro lado, en las Tabla N°13 y 14 se muestran los resultados para las calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 11: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 1**

N°	POSTEO	PROGRESIVA PROFUNDIDAD		LL	LP	IP
		(Km)	(m)	%	%	
1	P-1	0+383	1.50	27.90	16.06	11.84
2	P-2	1+127	1.50	32.80	19.93	12.87
3	P-3	2+050	1.50	36.00	22.59	13.41
4	P-4	2+868	1.50	45.78	21.67	24.11
5	P-5	3+972	1.30	32.60	17.63	14.97
6	P-6	5+013	1.20	37.25	23.01	14.24
7	P-7	5+543	1.20	32.65	21.62	11.03

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 12: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 2**

N°	POSTEO	PROGRESIVA PROFUNDIDAD		LL	LP	IP
		(Km)	(m)	%	%	
1	P-1	0+383	1.50	32.60	22.26	10.34
2	P-2	1+127	1.50	24.55	19.41	5.14
3	P-3	2+050	1.50	33.00	20.22	12.78
4	P-4	2+868	1.50	27.65	25.38	2.27
5	P-5	3+972	1.30	32.60	22.27	10.33
6	P-6	5+013	1.20	35.80	22.45	13.35
7	P-7	5+543	1.20	32.70	19.94	12.76

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 13: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA PROFUNDIDAD		LL	LP	IP
		(Km)	(m)	%	%	
1	C-1	0+098	1.50	30.11	16.91	13.19
2	C-2	0+934	1.50	35.52	20.96	14.56
3	C-3	1+500	1.50	38.40	21.73	16.67
4	C-4	2+608	1.50	47.88	23.97	23.91
5	C-5	3+570	1.20	42.75	32.79	9.96
6	C-6	4+416	1.10	32.70	20.45	12.25
7	C-7	5+324	1.10	37.45	23.75	13.70
8	C-8	5+783	1.20	32.60	16.52	16.08

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 14: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA PROFUNDIDAD		LL	LP	IP
		(Km)	(m)	%	%	
1	C-1	0+098	1.50	30.90	20.40	10.50
3	C-2	0+934	1.50	28.25	21.31	6.94
5	C-3	1+500	1.50	30.65	19.85	10.80
7	C-4	2+608	1.50	44.10	35.20	8.90
9	C-5	3+570	1.20	35.29	21.69	13.60
11	C-6	4+416	1.10	31.45	21.60	9.85
13	C-7	5+324	1.10	35.15	21.93	13.22
15	C-8	5+783	1.20	32.25	19.92	12.33

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**6.1.3. Análisis Granulométrico por Hidrómetro** En la Tabla N°15 se muestra los resultados obtenidos mediante el Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro (NTP 339.128) de las muestras de las 7 calicatas de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales MTC E 109.

**Tabla 15: Cuadro de resumen del ensayo de Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO</b>					
<b>Nº CALICATA</b>	<b>PROGRESIVA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>DÍAMETRO (mm)</b>	<b>% QUE PASA</b>	
1	C-1	0+098	1.50	0.04536	29.48
2	C-2	0+934	1.50	0.04658	22.97
3	C-3	1+500	1.50	0.04354	40.85
4	C-4	2+608	1.50	0.04554	24.31
5	C-5	3+570	1.20	0.04636	21.16
6	C-6	4+416	1.10	0.04562	26.09
8	C-8	5+783	1.20	0.04322	39.14

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

#### **6.1.4. Clasificación SUCS y AASHTO**

En las Tablas N°16 y 17 se muestra la clasificación mediante SUCS (NTP 339.134) y AASHTO para los 7 posteos en los estratos 1 y 2. Por otro lado, se muestran las Tablas N°18 y 19 para las 8 calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 16: Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 1**

<b>Nº</b>	<b>CALICATA</b>	<b>PROGRESIVA (Km)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	
				<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
1	P-1	0+383	1.50	CL	A-6 (7)
2	P-2	1+127	1.50	CL	A-6 (5)
3	P-3	2+050	1.50	CL	A-6 (9)
4	P-4	2+868	1.50	CL	A-7-6 (7)
5	P-5	3+972	1.30	CL	A-6(7)
6	P-6	5+013	1.20	CL	A-6 (8)
7	P-7	5+543	1.20	CL	A-6 (6)

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 17: Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN	
		(Km)	(m)	SUCS	AASHTO
1	P-1	0+383	1.50	CL	A-4 (6)
2	P-2	1+127	1.50	CL	A-4 (4)
3	P-3	2+050	1.50	CL	A-6 (9)
4	P-4	2+868	1.50	ML	A-4 (8)
5	P-5	3+972	1.30	CL	A-4 (7)
6	P-6	5+013	1.20	CL	A-6 (8)
7	P-7	5+543	1.20	CL	A-6 (3)

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 18: Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN	
		(Km)	(m)	SUCS	AASHTO
1	C-1	0+098	1.50	CL	A-6 (9)
2	C-2	0+934	1.50	CL	A-6 (9)
3	C-3	1+500	1.50	CL	A-6 (11)
4	C-4	2+608	1.50	CL	A-7-6 (15)
5	C-5	3+570	1.20	ML	A-5 (9)
6	C-6	4+416	1.10	CL	A-6 (5)
7	C-7	5+324	1.10	CL	A-6 (9)
8	C-8	5+783	1.20	CL	A-6 (7)

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 19: Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN	
		(Km)	(m)	SUCS	AASHTO
1	C-1	0+098	1.50	CL	A-4 (8)
2	C-2	0+934	1.50	CL	A-4 (3)
3	C-3	1+500	1.50	CL	A-6 (8)
4	C-4	2+608	1.50	ML	A-5 (9)
5	C-5	3+570	1.20	CL	A-6 (9)
6	C-6	4+416	1.10	CL	A-4 (7)
7	C-7	5+324	1.10	CL	A-6 (8)
8	C-8	5+783	1.20	CL	A-6 (11)

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.5. Contenido de Humedad

En la Tabla N°20 se muestran los resultados promedios para tres repeticiones del ensayo de contenido de Humedad (NTP 339.127) para los Posteos de los estratos encontrados 1 y 2. Por otro lado, en la Tabla N°21 se muestra para las Calicatas estrato 1 y 2.

**Tabla 20: Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Posteos para los estratos 1 y 2**

N°	POSTEO	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	PROMEDIO	Desviación Estándar	PROMEDIO	Desviación Estándar
		(Km)	(m)	W% Estrato 1		W% Estrato 2	
1	P-1	0+383	1.50	18.78	0.2252	24.59	1.0126
2	P-2	1+127	1.50	21.49	1.0001	24.32	1.3941
3	P-3	2+050	1.50	29.49	0.8765	31.82	0.3943
4	P-4	2+868	1.50	24.23	0.8864	29.41	0.4784
5	P-5	3+972	1.30	23.11	1.4486	30.92	0.7215
6	P-6	5+013	1.20	27.51	1.0289	30.28	1.1166
7	P-7	5+543	1.20	26.70	0.8368	32.98	0.2715

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 21: Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Calicatas para los estratos 1 y 2**

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	PROMEDIO	Desviación Estándar	PROMEDIO	Desviación Estándar
		(Km)	(m)	W% Estrato 1		W% Estrato 2	
1	C-1	0+098	1.50	18.07	0.3761	26.96	0.3959
2	C-2	0+934	1.50	21.71	0.4388	23.29	0.9840
3	C-3	1+500	1.50	27.70	0.7391	29.23	0.9901
4	C-4	2+608	1.50	23.62	0.6144	30.96	1.2212
5	C-5	3+570	1.20	24.56	0.6824	32.64	1.0707
6	C-6	4+416	1.10	28.29	1.0745	32.05	0.5613
7	C-7	5+324	1.10	28.35	1.3754	30.89	0.8501
8	C-8	5+783	1.20	25.21	0.5237	36.65	0.4216

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.6. Gravedad específica de Sólidos

En la Tabla N°22 se muestran los resultados de Gravedad Específica de sólidos (NTP 339.131) de las 7 calicatas.

**Tabla 22: Cuadro de resumen del ensayo de Gravedad Específica de las Calicatas en el estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA (Km)	PROFUNDIDAD (m)	Gs
1	C-1	0+098	1.50	2.73
2	C-2	0+934	1.50	2.72
3	C-3	1+500	1.50	2.74
4	C-4	2+608	1.50	2.78
5	C-5	3+570	1.20	2.76
6	C-6	4+416	1.10	2.75
7	C-8	5+783	1.20	2.75

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.7. Proctor Modificado

En la Tabla N°23 se muestra los resultados del Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141) en 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8), los cuales son la Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo.

**Tabla 23: Cuadro de resumen del ensayo de Proctor Modificado sin aditivo**

N°	CALICATA	PROGRESIVA (Km)	PROFUNDIDAD (m)	MAX. DENSIDAD SECA (gr/ cm <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO %
1	C-2	0+934	1.50	1.85	11.60
2	C-4	2+608	1.50	1.91	12.82
3	C-6	4+416	1.10	1.98	11.60
4	C-8	5+783	1.20	2.01	12.20

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.8. Adición del aditivo PROES Y CONAID: Resultados de Proctor Modificado con la dosificación

La Tabla N°24 se muestra los resultados del ensayo de Proctor Modificado con los aditivos PROES (0.35 L/ m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup>) sólo Líquido en las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8). Asimismo, en la Tabla N°25 para los Aditivos Líquidos PROES (0.30 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) de Cemento Portland Tipo Ms.

**Tabla 24: Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquido**

CALICATA	PROGRESIVA	PARÁMETROS	PROES Líquido	CONAID Líquido	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.08	2.03	2.433
		Hum. Optima	12.10	12.00	0.830
C-4	2+608	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.06	2.05	0.487
		Hum. Optima	13.98	12.5	11.178
C-6	4+416	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.09	2.06	1.446
		Hum. Optima	13.60	12.23	10.608
C-8	5+783	ρ (gr/cm <sup>3</sup> )	2.15	2.06	4.276
		Hum. Optima	13.10	12.00	8.765

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 25: Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos PROES y CONAID con Cemento Portland Tipo MS**

CALICATA	PROGRESIVA	PARÁMETROS	PROES Líquido + Cemento	CONAID Líquido + Cemento	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.18	2.10	3.738
		Hum. Optima	13.60	12.90	5.283
C-4	2+608	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.22	2.16	2.740
		Hum. Optima	12.95	12.13	6.539
C-6	4+416	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.23	2.17	2.727
		Hum. Optima	13.00	12.05	7.585
C-8	5+783	Máx (gr/cm <sup>3</sup> )	2.35	2.30	2.151
		Hum. Optima	11.95	11.90	0.419

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.9. Valor Relativo de Soporte (CBR)

En la Tabla N°26 se muestra los resultados del ensayo de CBR (NTP 339.145) a partir de 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8) del suelo en estado natural al 95% de Máxima Densidad Seca y a una penetración de carga de 0.1" y 0.2".

Tabla 26: Cuadro resumen del ensayo CBR sin aditivo

N°	CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	CBR al 95% M.D.S (0.1")	CBR al 95% M.D.S (0.2")
		(Km)	(m)		
1	C-2	0+934	1.50	3	3
2	C-4	2+608	1.50	3	3
3	C-6	4+416	1.10	2	2
4	C-8	5+783	1.20	2	2

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.10. Adición del aditivo PROES y CONAID: Resultados de CBR con la dosificación.

La Tabla N°27 se muestra los resultados del ensayo de CBR con los aditivos PROES (0.35 L/ m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup>) sólo Líquido en las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8). Asimismo, en la Tabla N°28 para los Aditivos Líquidos PROES (0.30 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 27: Cuadro de resumen del ensayo de CBR con los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos**

CALICATA	PROGRESIVA	ENSAYOS	UNIDAD	PROES Líquido	CONAID Líquido	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	CBR	CBR al 95% a 0.1"	12.9	9	35.616
			CBR al 95% a 0.2"	14	10	34.025
C-4	2+608	CBR	CBR al 95% a 0.1"	12	10	13.575
			CBR al 95% a 0.2"	12	12	2.490
C-6	4+416	CBR	CBR al 95% a 0.1"	12	10	18.018
			CBR al 95% a 0.2"	14	12	12.598
C-8	5+783	CBR	CBR al 95% a 0.1"	12	10	17.195
			CBR al 95% a 0.2"	14	12	18.898

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 28: Cuadro de resumen del ensayo de CBR de los Aditivos PROES y CONAID con Cemento Portland Tipo MS**

CALICATA	PROGRESIVA	ENSAYOS	UNIDAD	PROES Líquido + Cemento	CONAID Líquido + Cemento	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	CBR	CBR al 95% a 0.1"	49.0	34	36.145
			CBR al 95% a 0.2"	57	39	37.500
C-4	2+608	CBR	CBR al 95% a 0.1"	60	52	14.286
			CBR al 95% a 0.2"	78	62	22.857
C-6	4+416	CBR	CBR al 95% a 0.1"	62	55	11.966
			CBR al 95% a 0.2"	72	63	13.333
C-8	5+783	CBR	CBR al 95% a 0.1"	70	58	18.750
			CBR al 95% a 0.2"	84	75	11.321

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.11. Compresión Simple no Confinada

En la Tabla N°29 se muestra los resultados promedio del ensayo de Compresión Simple no Confinada (NTP 336.167) para las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8) del suelo sin aditivo.

Tabla 29: Cuadro de Resumen de los resultados del ensayo de Compresión no confinada sin aditivo

N°	CALICATA	UBIC. PROGRESIVA (Km)	UND	VALORES DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN	% DE DIFERENCIA
1	C-2	0+934	kPa	15.34	4.337
				16.02	
				<b>15.68</b>	
2	C-4	2+608	kPa	15.07	6.919
				16.15	
				<b>15.61</b>	
3	C-6	4+416	kPa	16.53	4.321
				17.26	
				<b>16.90</b>	
4	C-8	5+783	kPa	13.17	8.645
				14.36	
				<b>13.77</b>	

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.12. Adición del aditivo PROES y CONAID: Resultados de Compresión Simple no Confinada con la dosificación.

La Tabla N°30 se muestra los resultados del ensayo de Compresión Simple no Confinada con los aditivos PROES (0.35 L/ m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup>) sólo Líquido en las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8). Asimismo, en la Tabla N°31 para los Aditivos Líquidos PROES (0.30 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/ m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 30: Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos sólo Líquidos PROES y CONAID**

CALICATA	PROGRESIVA	UNIDAD	PROES Líquido	CONAID Líquido	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	kPa	59.82	54.27	9.729
			62.29	55.73	11.117
			<b>61.06</b>	<b>55.00</b>	<b>10.435</b>
C-4	2+608	kPa	58.5	55.82	4.689
			59.96	57.88	3.530
			<b>59.23</b>	<b>56.85</b>	<b>4.101</b>
C-6	4+416	kPa	60.5	50.99	17.060
			62.02	54.67	12.597
			<b>61.26</b>	<b>52.83</b>	<b>14.778</b>
C-8	5+783	kPa	63.33	57.4	9.824
			64.91	61.44	5.493
			<b>64.12</b>	<b>59.42</b>	<b>7.609</b>

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

**Tabla 31: Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos Líquidos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS**

CALICATA	PROGRESIVA	UNIDAD	PROES Líquido + Cemento	CONAID Líquido + Cemento	% DE DIFERENCIA
C-2	0+934	kPa	205.91	133.27	49.378
			210.40	138.15	50.467
			<b>208.16</b>	<b>135.71</b>	<b>49.934</b>
C-4	2+608	kPa	193.74	124.41	35.180
			198.62	132.02	36.498
			<b>196.18</b>	<b>128.22</b>	<b>35.861</b>
C-6	4+416	kPa	195.00	135.96	35.678
			201.19	140.89	35.255
			<b>198.10</b>	<b>138.43</b>	<b>35.463</b>
C-8	5+783	kPa	200.39	134.27	39.515
			208.64	138.84	40.175
			<b>204.52</b>	<b>136.56</b>	<b>39.851</b>

Fuente: Elaboración Propia – resultados de laboratorio

### 6.1.13. Resultados Estadísticos del análisis de datos

Tabla 32: Prueba de Normalidad Aditivos Líquidos

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Suelo natural	.665	8	.001
PROES_liquido	.736	8	.006
PROES_cemento	.793	8	.024
CONAID_liquido	.981	8	.969
CONAID_cemento	.960	8	.806

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33: Análisis de Varianza (ANOVA) de Aditivos Líquidos

ANOVA		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Liquido	Grupos	476.583	2	238.292	266.887	.000
	Error experimental	18.750	21	.893		
	<b>Total</b>	<b>495.333</b>	<b>23</b>			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos

Liquido HSD Tukey <sup>a</sup>				
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo Natural	8	2.5000		
CONAID	8		10.6250	
PROES	8			12.8750
<b>Sig.</b>		<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35: Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos

Comparaciones múltiples HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Liquido	Suelo Natural	PROES	-10,37500*	.47246	.000	-11.5659	-9.1841
		CONAID	-8,12500*	.47246	.000	-9.3159	-6.9341
	PROES	Suelo Natural	10,37500*	.47246	.000	9.1841	11.5659
		CONAID	2,25000*	.47246	.000	1.0591	3.4409
	CONAID	Suelo Natural	8,12500*	.47246	.000	6.9341	9.3159
		PROES	-2,25000*	.47246	.000	-3.4409	-1.0591

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 36: Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos**

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Líquido	Suelo Natural	PROES	-10,37500*	.47246	.000	-11.5659	-9.1841
		CONAID	-8,12500*	.47246	.000	-9.3159	-6.9341
	PROES	Suelo Natural	10,37500*	.47246	.000	9.1841	11.5659
		CONAID	2,25000*	.47246	.000	1.0591	3.4409
	CONAID	Suelo Natural	8,12500*	.47246	.000	6.9341	9.3159
		PROES	-2,25000*	.47246	.000	-3.4409	-1.0591

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 37: Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos + Cemento**

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Cemento	Suelo Natural	PROES	-64,00000*	5.08206	.000	-76.8097	-51.1903
		CONAID	-52,25000*	5.08206	.000	-65.0597	-39.4403
	PROES	Suelo Natural	64,00000*	5.08206	.000	51.1903	76.8097
		CONAID	11.75000	5.08206	.076	-1.0597	24.5597
	CONAID	Suelo Natural	52,25000*	5.08206	.000	39.4403	65.0597
		PROES	-11.75000	5.08206	.076	-24.5597	1.0597

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

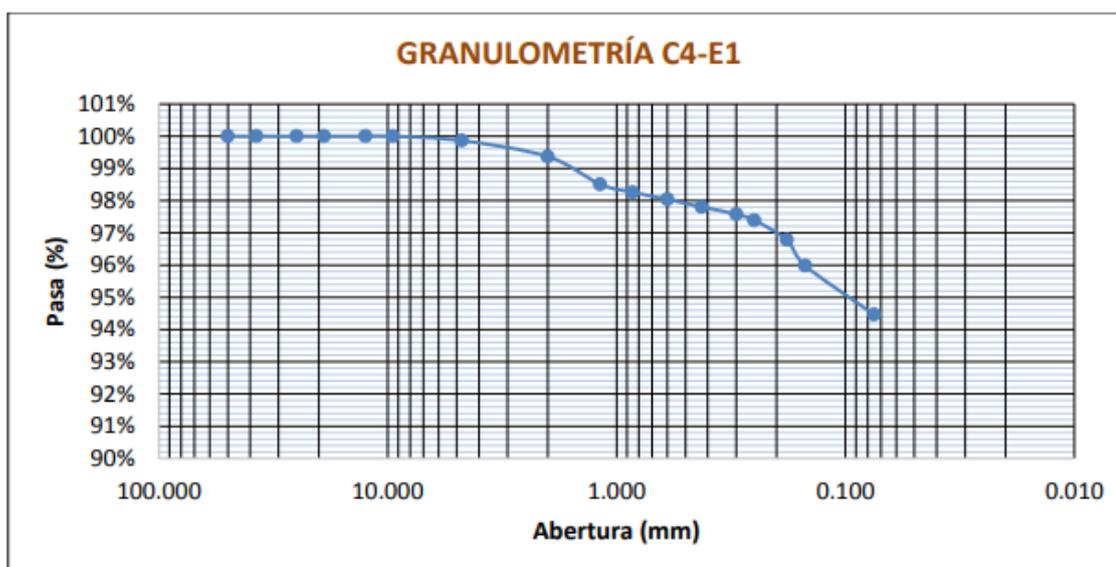
### 7.1. Discusión

#### 7.1.1. Análisis Granulometría por tamizado

La granulometría es indispensable para la clasificación de un suelo, ya que nos da la distribución de tamaños de partículas del suelo. Los estudios de granulometría para la vía del centro poblado de Barraza se llevaron a cabo utilizando las muestras de los posteos y calicatas en los estratos 1 a una profundidad de 1 m y en el estrato 2 a 1.50m aproximadamente.

En las Tabla N°7 y 8 se puede observar que el porcentaje de suelo que pasa por la malla N°200 es mayor al 50% para los 7 posteos en los estratos 1 y 2. Por otro lado, en las Tabla N°9 y 10 el porcentaje de finos pasa más del 50% para las 8 calicatas en los estratos 1 y 2. Por ejemplo, para la calicata 4 del estrato 1 el porcentaje de suelo que pasa por la malla N°200 es 94.46% (ver Figura N°.11)

Ilustración 11: Curva Granulométrica de la calicata 4 estrato 1



Fuente: Elaboración Propia

Para poder clasificar el suelo según SUCS y AASHTO necesitamos los límites de plasticidad del suelo.

### **7.1.2. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)**

En las Tablas N°11 y 12 se muestran los resultados de los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico) y la diferencia de estos dos, el Índice de Plasticidad. Para los 7 posteos de los estratos 1 y 2, respectivamente. Como puede observarse en el estrato 1, el P-4 es la que presenta el mayor índice de plasticidad siendo 24.11%, indicando que es el tramo más desfavorable en términos de las propiedades mecánicas (ver Tabla N°11). Lo mismo ocurre con el P-6 del estrato 2. (ver Tabla N°12)

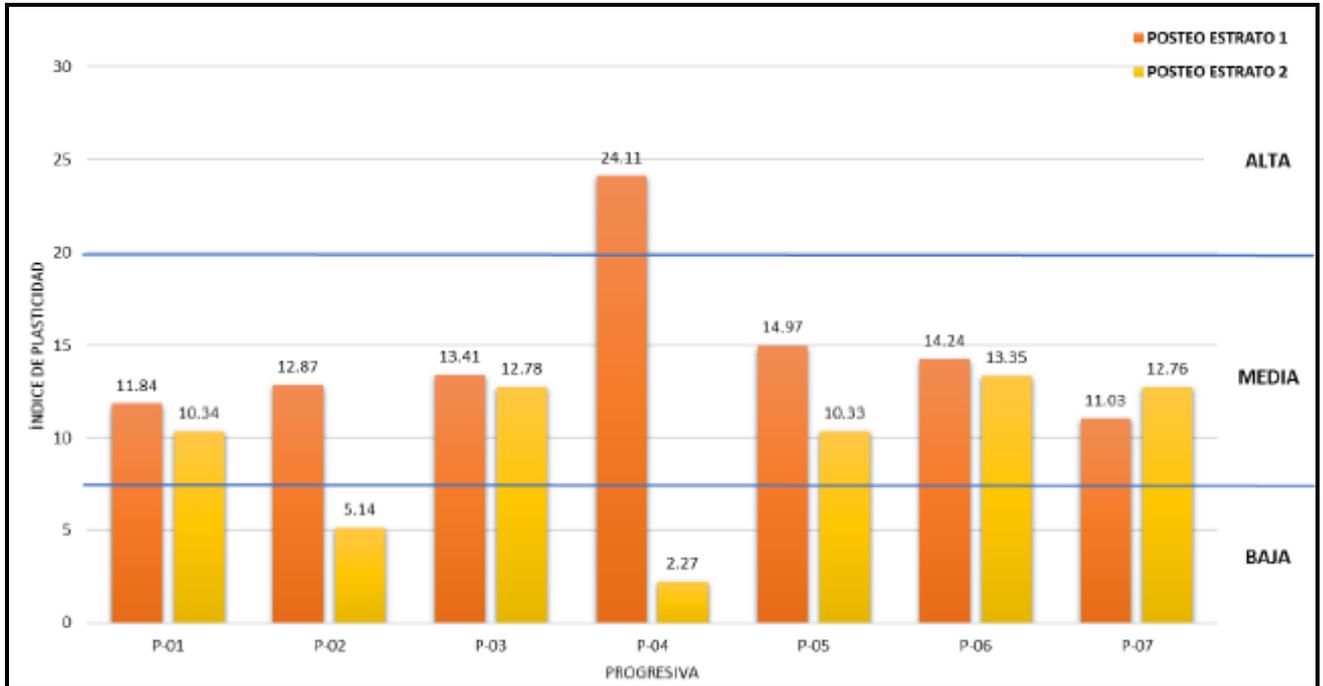
En las Tabla N°13 y 14 se muestran los resultados de los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico) y la diferencia de estos dos, el Índice de Plasticidad. Para las 8 calicatas de los estratos 1 y 2, respectivamente. Como puede observarse en el estrato 1 la C-4 es la que presenta el mayor índice de plasticidad siendo 23.91%, indicando que es el tramo más desfavorable en términos de las propiedades mecánicas (ver Tabla N°13). Lo mismo ocurre con la C-5 del estrato 2. (ver Tabla N°14).

En las Tabla N°15 y 16 se muestran los resultados de los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico) y la diferencia de estos dos, el Índice de Plasticidad. Para las 8 calicatas de los estratos 1 y 2, respectivamente. Como puede observarse en el estrato 1 la C-4 es la que presenta el mayor índice de plasticidad siendo 23.91%, indicando que es el tramo más desfavorable en términos de las propiedades mecánicas (ver Tabla N°15). Lo mismo ocurre con la C-5 del estrato 2. (ver Tabla N°16).

El Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, indica que un  $IP > 20$ ,  $IP \leq 20$  y  $IP > 7$ ,  $IP < 7$ ,  $IP = 0$ , corresponde a un suelo con una plasticidad alta (suelos muy arcillosos), media (suelos arcillosos), baja (suelos poco arcillosos plasticidad) y No Plástico (NP) (suelos exentos de arcilla), respectivamente.

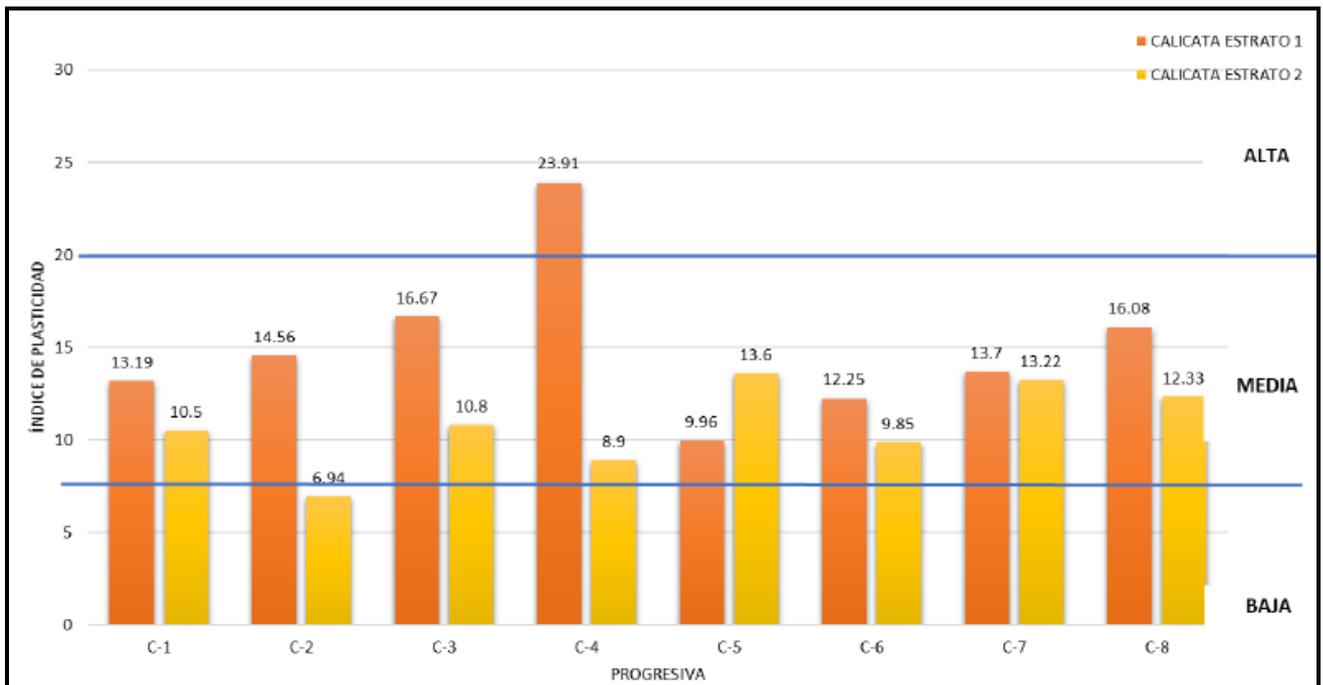
De acuerdo a las Figuras N°16 y 17 los resultados demuestran que para el estrato 1 se tiene una plasticidad de media a alta. Sin embargo, para el estrato 2 se tiene una plasticidad de baja a media.

**Ilustración 12: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Posteos**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 13: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Calicatas**

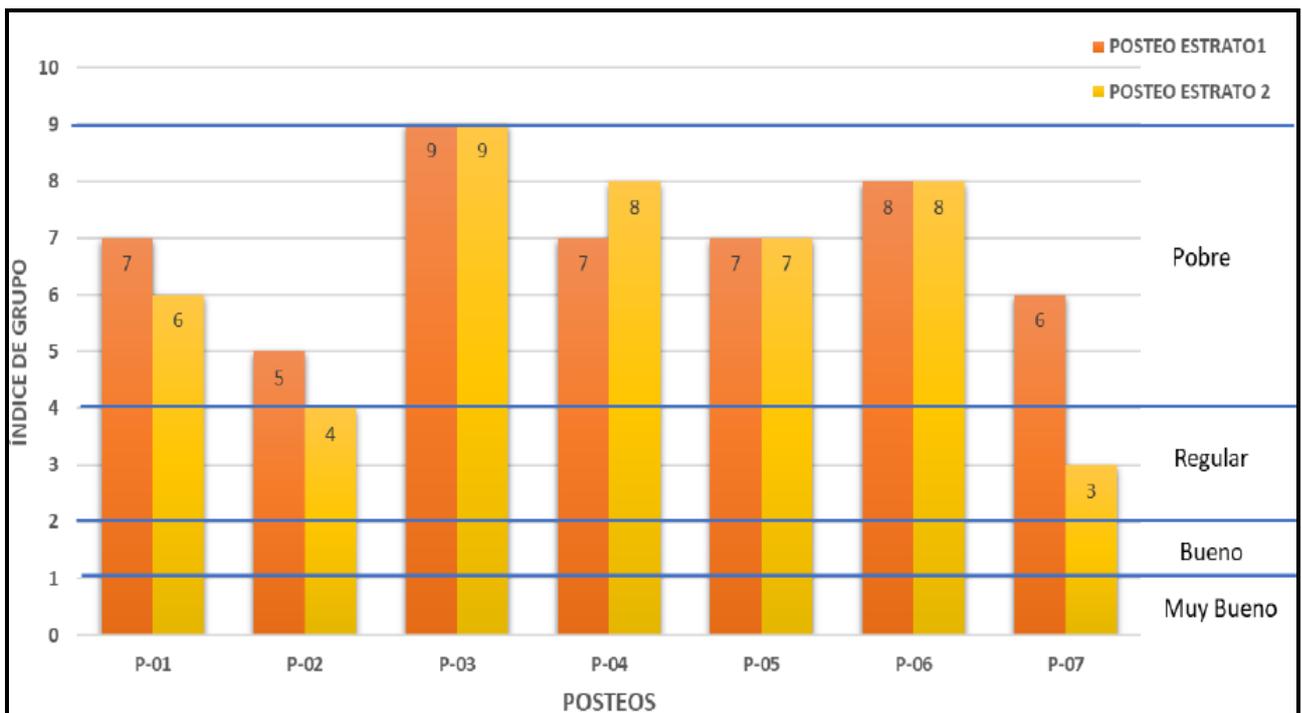


Fuente: Elaboración Propia

Además, el índice de grupo fue calculado para la Clasificación AASHTO. En las Figuras N°16 y 17 para los estratos 1, se tiene un índice de grupo de pobre a muy pobre, y para los estratos 2, se tiene un índice de grupo de regular a muy pobre.

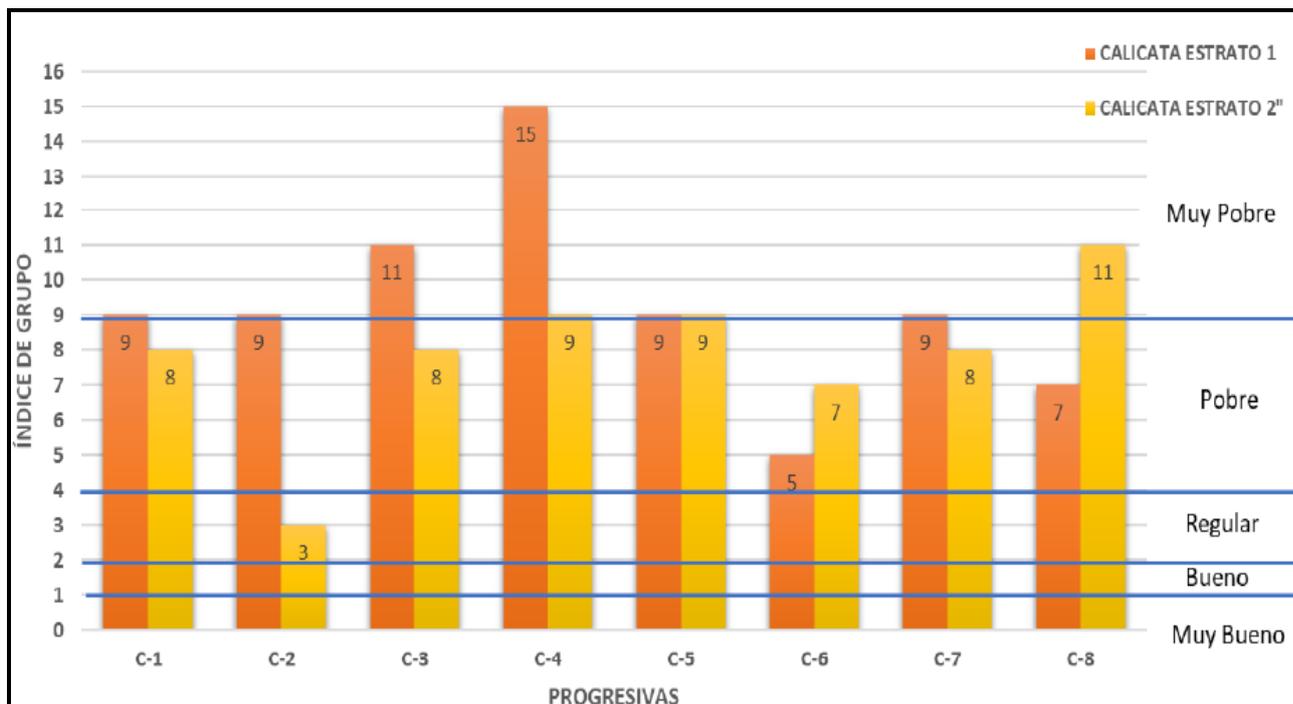
Los resultados obtenidos según índice de grupo dado por el Ministerio de Transporte (MTC 2013), el IG está en el rango de 2 a 4 obteniéndose un suelo de subrasante regular, del rango de 4 a 9 es un suelo pobre y mayor a 9 es un suelo de subrasante muy pobre, las muestras de suelo en las calicatas se encuentran en el rango de Regular a Muy Pobre y para el caso de los posteos de regular a pobre, es decir que estos suelos son deficientes para carreteras.

**Ilustración 14: Análisis de resultados del Índice de Grupo de los Posteos. Clasificación AASHTO**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 15: Análisis de resultados del Índice de Grupo de las Calicatas. Clasificación AASHTO**



Fuente: Elaboración Propia

### 7.1.3. Clasificación SUCS y AASHTO

Según la clasificación SUCS para un porcentaje mayor a 50% que pase por la malla n°200 son suelos finos y según AASHTO para un porcentaje mayor a 35% se tienen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7, A-7-5, A-7-6, teniendo tipo de material suelo limo- arcilloso cuya clasificación va de regular a malo.

### 7.1.4. Contenido de Humedad

Este ensayo tiene por finalidad determinar el contenido de humedad que presenta una muestra de suelo debido a, que la resistencia de los suelos de subrasante se encuentra asociada con las condiciones de humedad y la densidad que estos suelos presenten. Esta cantidad de agua junto con la cantidad de aire explica el comportamiento del suelo, especialmente cuando el suelo es fino, al tener cambios volumétricos, cohesión y estabilidad mecánica. Lo cual es importante ya que podemos analizar el suelo en estado natural antes de estabilizarlo. Esta humedad puede ser

comparada con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos de Proctor Modificado.

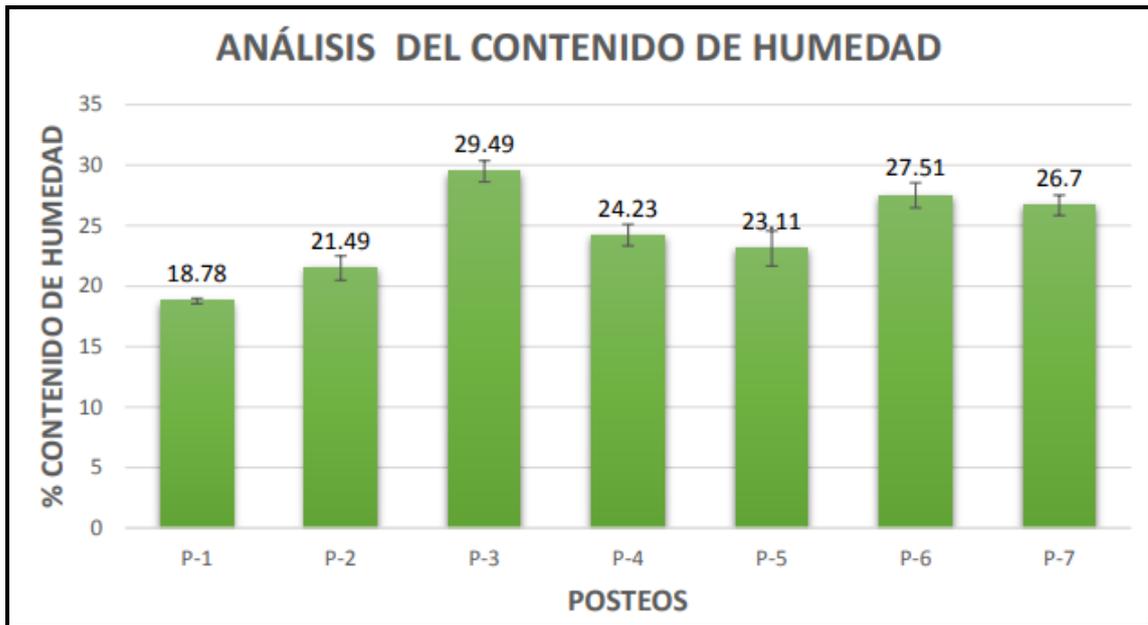
Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima se tiene que proponer la compactación normal del suelo y una cantidad de agua conveniente, si la humedad natural es superior a la humedad óptima se deberá aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

En el presente trabajo se tienen los valores del Proctor Modificado de la Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo las cuales son para las C-2, C-4, C-6 y C-8, siendo este porcentaje de humedad (11.60%, 12.82%, 11.60%, 12.20%).

En esta investigación, se determinó el contenido de humedad mediante tres repeticiones de los 7 postes y 8 calicatas. En las Figuras N°17 y 19 se muestran los valores promedios del contenido de humedad de los postes y calicatas del estrato 1, lo cual presenta un porcentaje de contenido de humedad mínimo de 18.78% en el P- 1 y un máximo de 29.49% en el P-3. Para las calicatas presenta un porcentaje de humedad mínimo de 18.07% en la C-1 y un máximo de 28.35% en la C-7. Asimismo, en las Figuras N°18 y 20 se muestran los valores promedios del contenido de humedad de los postes y calicatas del estrato 2, lo cual presenta un porcentaje de contenido de humedad mínimo de 24.32% en el P-2 y un máximo de 32.98% en el P-7. Para las calicatas presenta un porcentaje de humedad mínimo de 23.29% en la C-2 y un máximo de 36.65% en la C-8. Estos datos permiten conocer la cantidad de agua por cada unidad de masa del suelo seco.

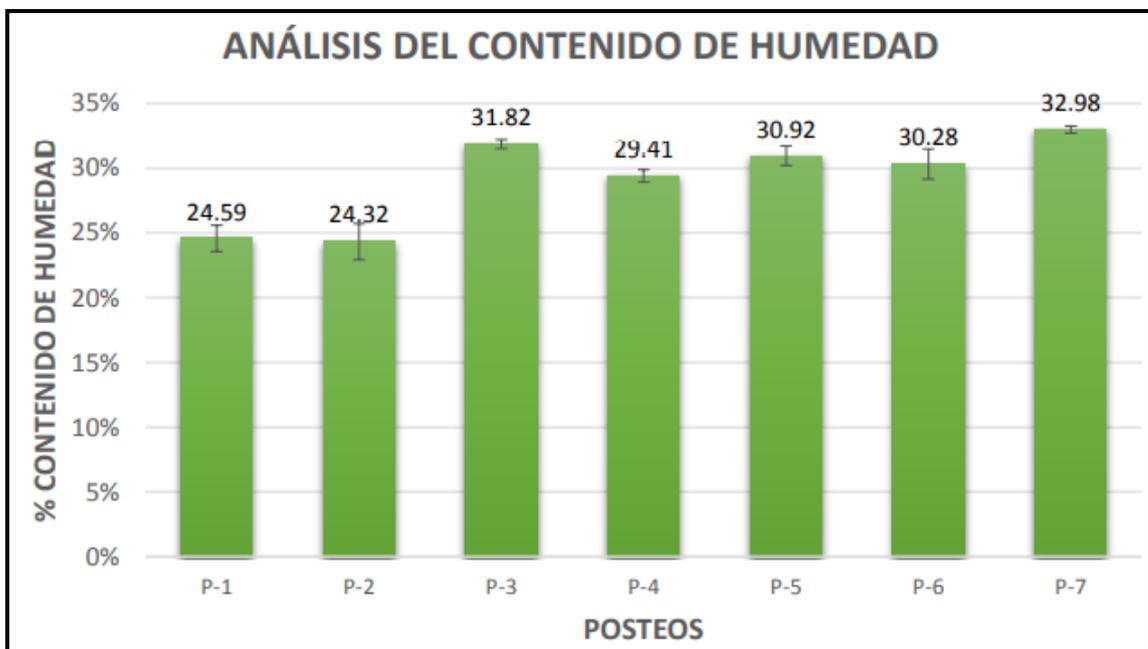
Esto es confirmado por el aumento significativo del porcentaje de contenido de humedad para los postes P-1 y P-3 y para calicatas C-1 y C-7 en el estrato 1. Asimismo, el aumento significativo del porcentaje de contenido de humedad para los postes P-2 y P-7 y para las calicatas C-2 y C-8 en el estrato 2.

Ilustración 16: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 1



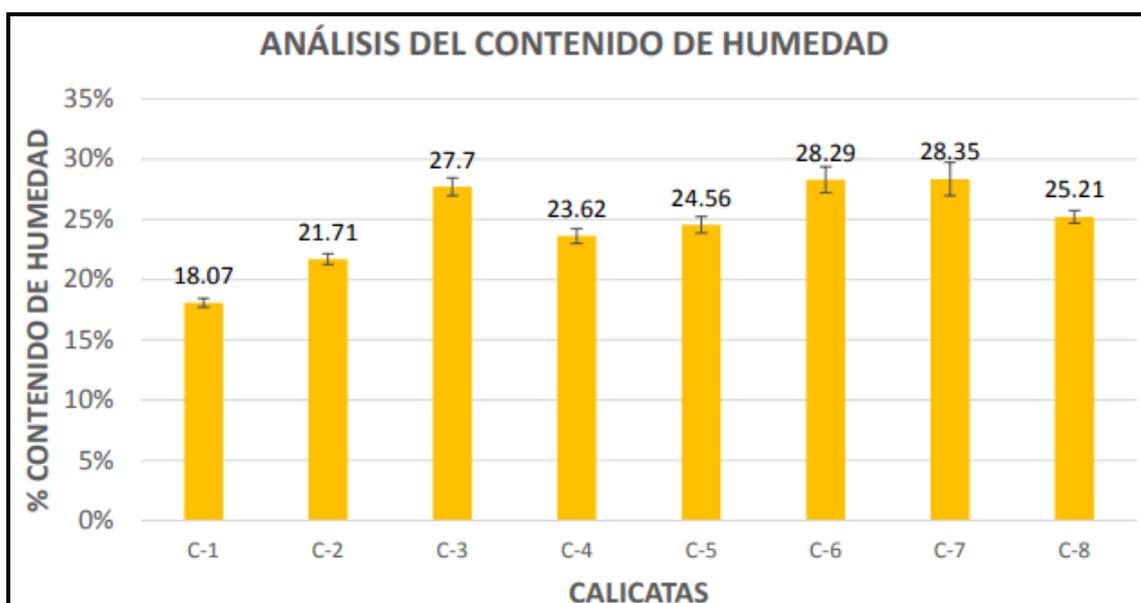
Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio

Ilustración 17: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 2



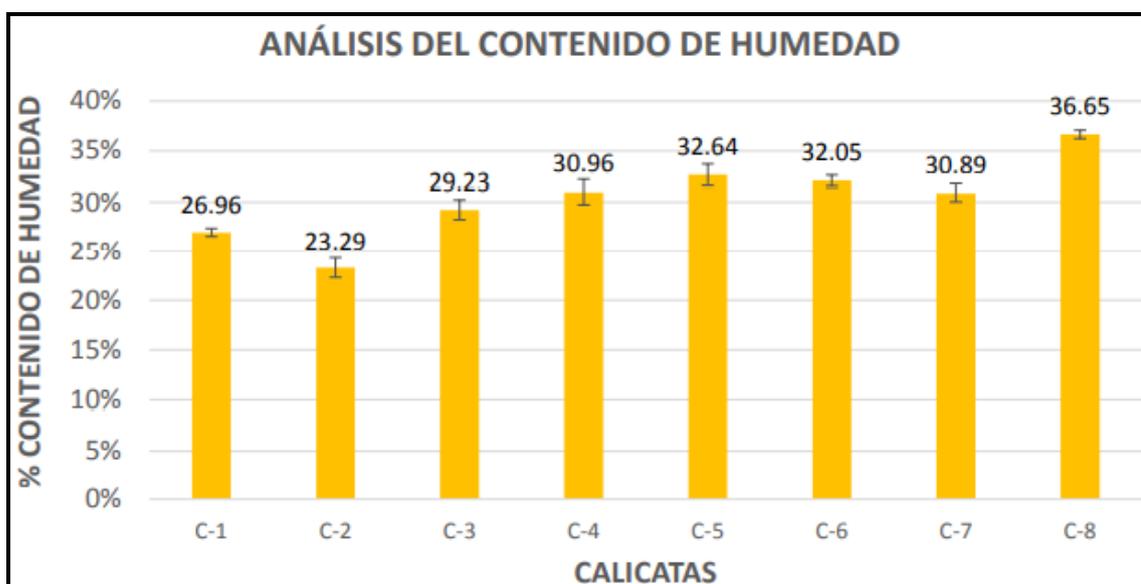
Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio

Ilustración 18: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 1



Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio

Ilustración 19: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 2



Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio

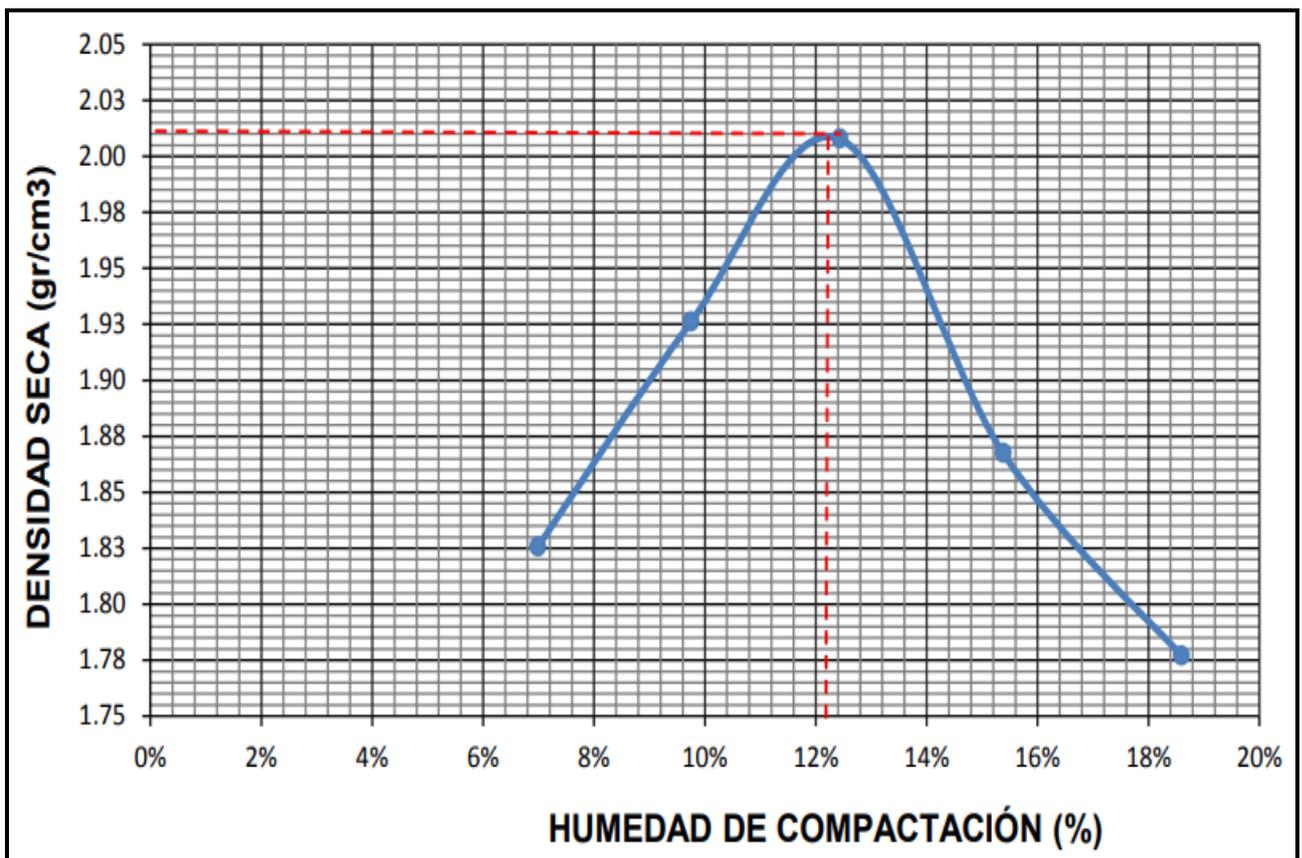
### 7.1.5. Proctor Modificado

La compactación de suelos es importante en los proyectos con fines de pavimentación para obtener propiedades satisfactorias como es la resistencia al esfuerzo de corte. Estos ensayos de compactación en laboratorio se realizan previamente a la ejecución de un proyecto vial como

base para determinar el porcentaje de compactación y contenido de humedad requerido en este.

En la Tabla N°23 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141) utilizando el método "A", ya que el porcentaje retenido en la malla N°4 fue menor al 20%. Para este ensayo se tomaron 4 de las 8 calicatas. En este ensayo, se estableció la correlación entre humedad y densidad seca del suelo compactado obteniendo en la calicata N°8 el valor más alto de la máxima densidad seca siendo 2.01 g/cm<sup>3</sup> (ver Figura N°20). El contenido de humedad óptimo fue de 12.20%, el cual es menor que el rango de valores obtenidos del suelo natural (ver Tabla N°41). Debido al alto contenido de humedad el suelo natural no alcanzaría la máxima compactación posible.

**Ilustración 20: Curva de Proctor Modificado de la calicata 8**



Fuente: Elaboración propia

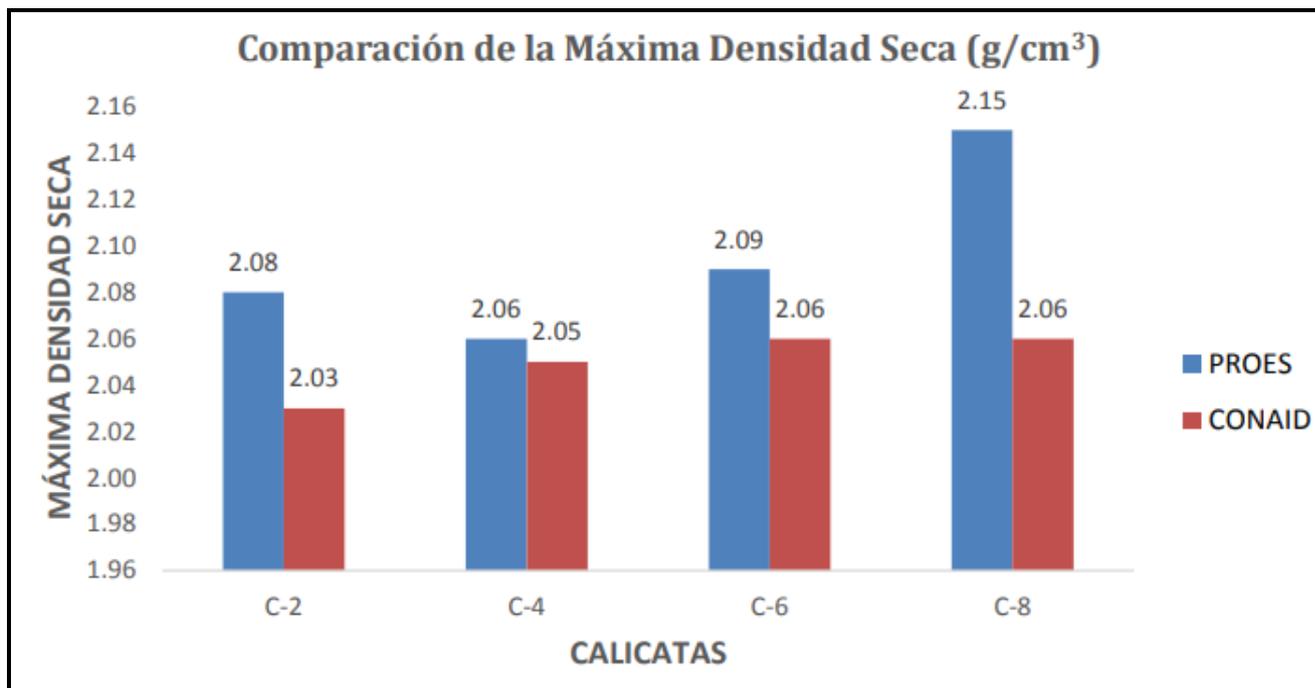
### **7.1.6. Proctor Modificado para el suelo con los aditivos PROES Y CONAID**

El Ensayo de Proctor Modificado es el que obtiene mejores resultados en comparación con el ensayo Proctor Estándar, debido al aumento de energía en la compactación. La densidad seca después de la compactación se incrementa conforme aumenta el contenido de agua. Si el contenido de agua incrementa más del óptimo se reduce la densidad seca, debido a que el agua ocupa los espacios vacíos.

Los resultados en la Tabla N°23 demuestran que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad para el aditivo líquido PROES (0.35 L/m<sup>3</sup>) es mayor que para el aditivo CONAID (0.05 L/m<sup>3</sup>) en todas las calicatas estudiadas. Por otro lado, se muestra en la Tabla N°24 la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad para los aditivos PROES (0.35 L/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) y CONAID (0.05 L/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup>) con la adición de Cemento Portland Tipo Ms, estos valores son referencia para controlar el CBR sólo con aditivos líquidos y con la incorporación de estos con cemento.

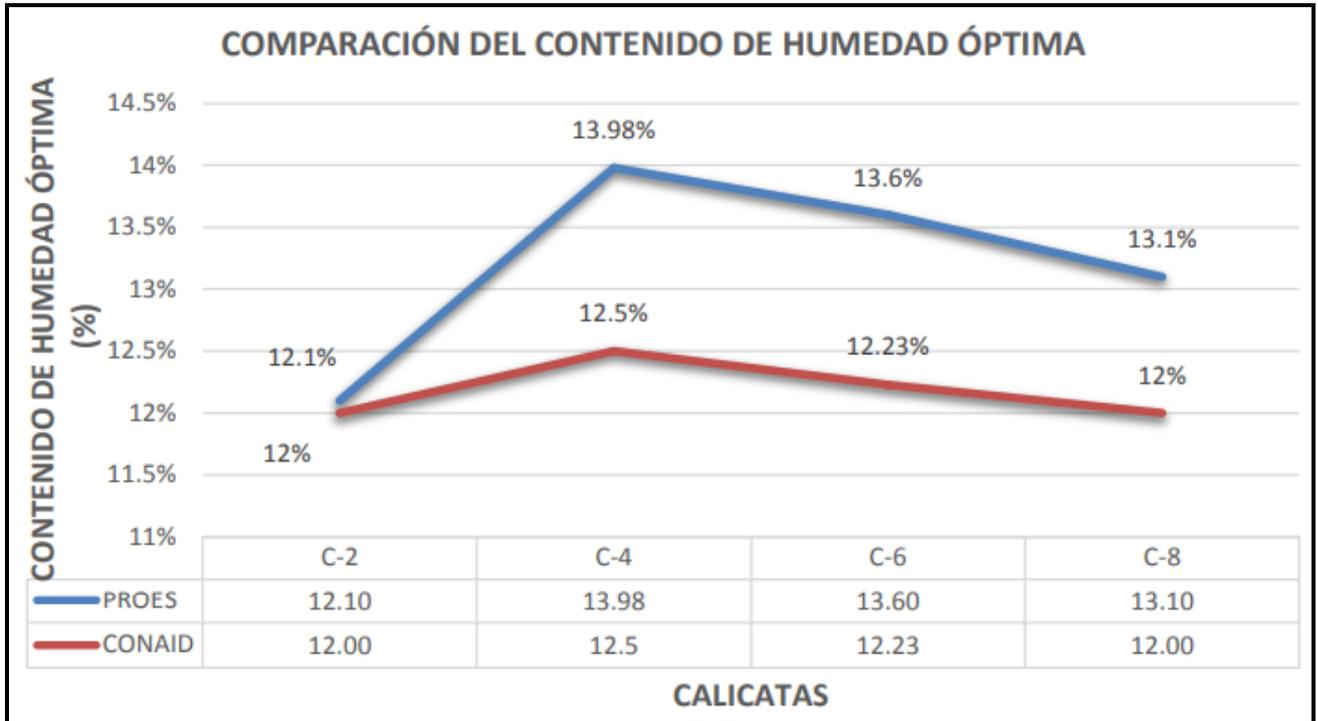
La Figura N°21 se muestra la comparación de la máxima densidad seca de los aditivos líquidos PROES y CONAID, se nota la diferencia que existe entre los dos aditivos en las diferentes calicatas. Además de ello, teniendo un porcentaje de diferencia desde 0.487 hasta 4.276 g/cm<sup>3</sup> porque se tiene el mismo tipo de suelo. De igual manera la Figura N°22 muestra la comparación de los contenidos de humedad óptima de los aditivos líquidos PROES y CONAID, donde se muestra que la humedad varía desde 0.830 hasta 11.178%. Asimismo, para las dosificaciones del aditivo PROES y CONAID con la incorporación del Cemento Portland Tipo Ms como se indica en la Figura N°23 acerca de la máxima densidad seca se tiene un porcentaje de diferencia de 2.151 hasta 3.738 g/cm<sup>3</sup> y en la Figura N°24 el porcentaje de diferencia del contenido de humedad óptima varía desde 0.419 hasta 7.585%.

**Ilustración 21: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID**



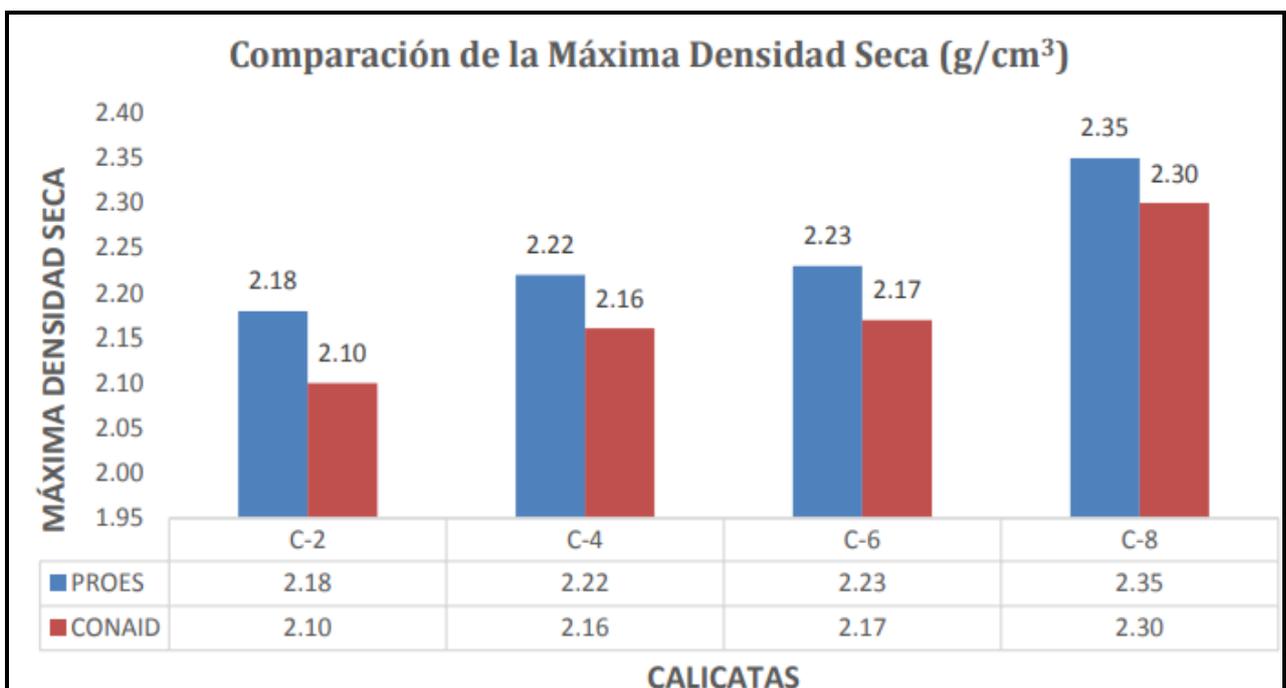
Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 22: Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos**



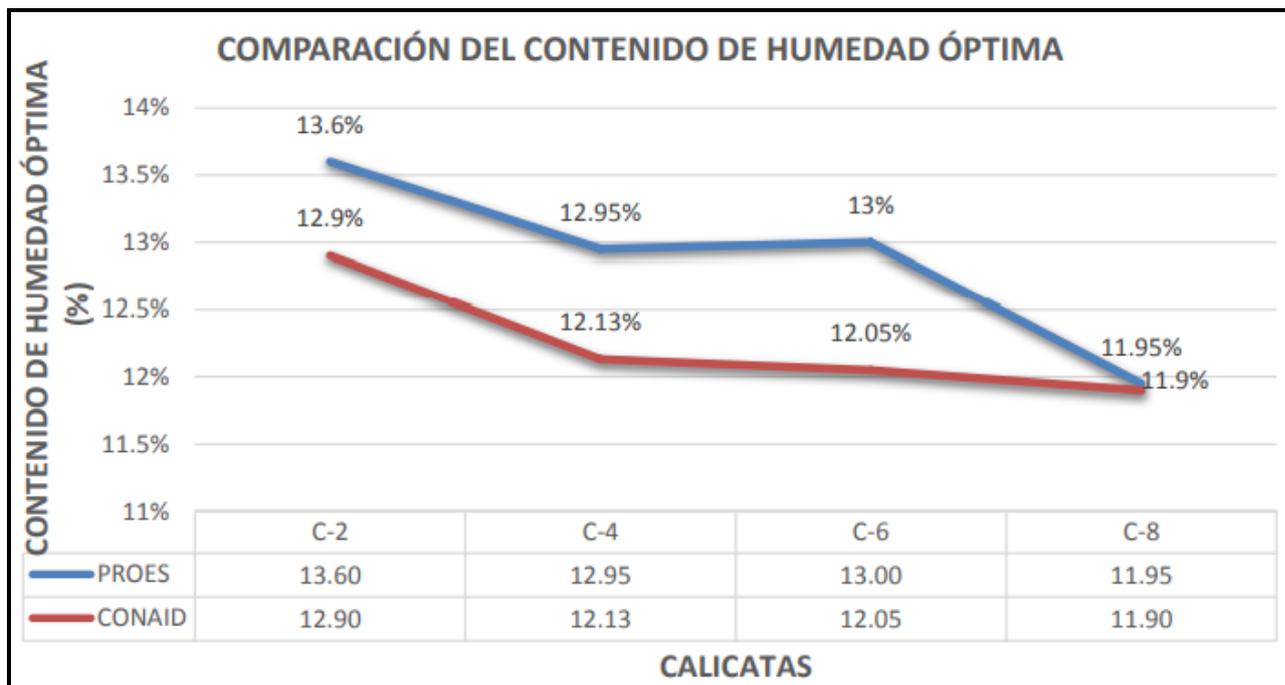
Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 23: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS**



Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 24: Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID Líquido + Cemento Portland Tipo MS.**



Fuente: Elaboración propia

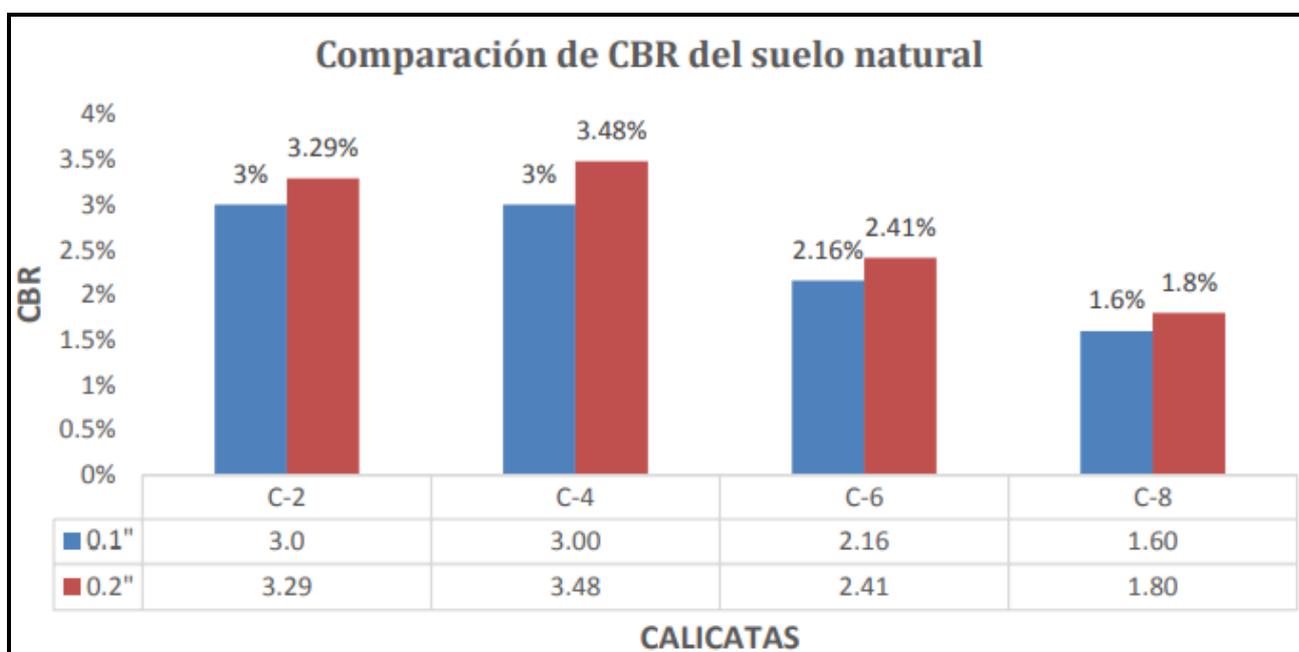
### 7.1.7. Relación de Soporte California (CBR)

El ensayo de CBR se mide la resistencia al corte de un suelo bajo las condiciones de humedad y densidad controladas. Según el Manual de Carreteras (2013) el porcentaje de CBR es el valor de soporte o resistencia del suelo que está referida a una penetración de 2.54mm (0.1”) para el diseño de la subrasante. En la Tabla N°26 el ensayo de CBR se realizó al 95% de máxima densidad seca, para garantizar las propiedades óptimas buscadas. En la Figura N°25 se tomaron los valores en 0.1” de la penetración de carga donde la C-2 y C-4 presenta un CBR de 3%, seguidamente en la C-6 presenta un 2.16% y en la C- 8 siendo el más bajo presenta un valor de 1.6%. Asimismo, para la carga de penetración de 0.2” la calicata N°2 y 4 presenta un CBR de 3.29% y 3.48% siendo este el valor más alto en todas las calicatas, mientras que en la calicata N°6 presenta un 2.41% y en la calicata N°8 un 1.8% siendo este el valor más bajo. Por lo tanto, en promedio el suelo en estudio tiene un CBR de 2.5% aproximadamente.

MTC (2018) de acuerdo al Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” nos indica que el CBR menor a 3% es considerado como una subrasante inadecuada. De tal forma, que las capas de la subrasante de suelos con CBR mayor o igual a 10% son consideradas aptas. Por lo tanto, este suelo en estado natural no es apto para pavimentación, si en este previamente no se realiza una estabilización o mejoramiento.

Estos resultados obtenidos de la muestra de suelo natural, nos servirán como base para poder analizar el incremento de CBR con la aplicación de los aditivos.

Ilustración 25: CBR del suelo natural



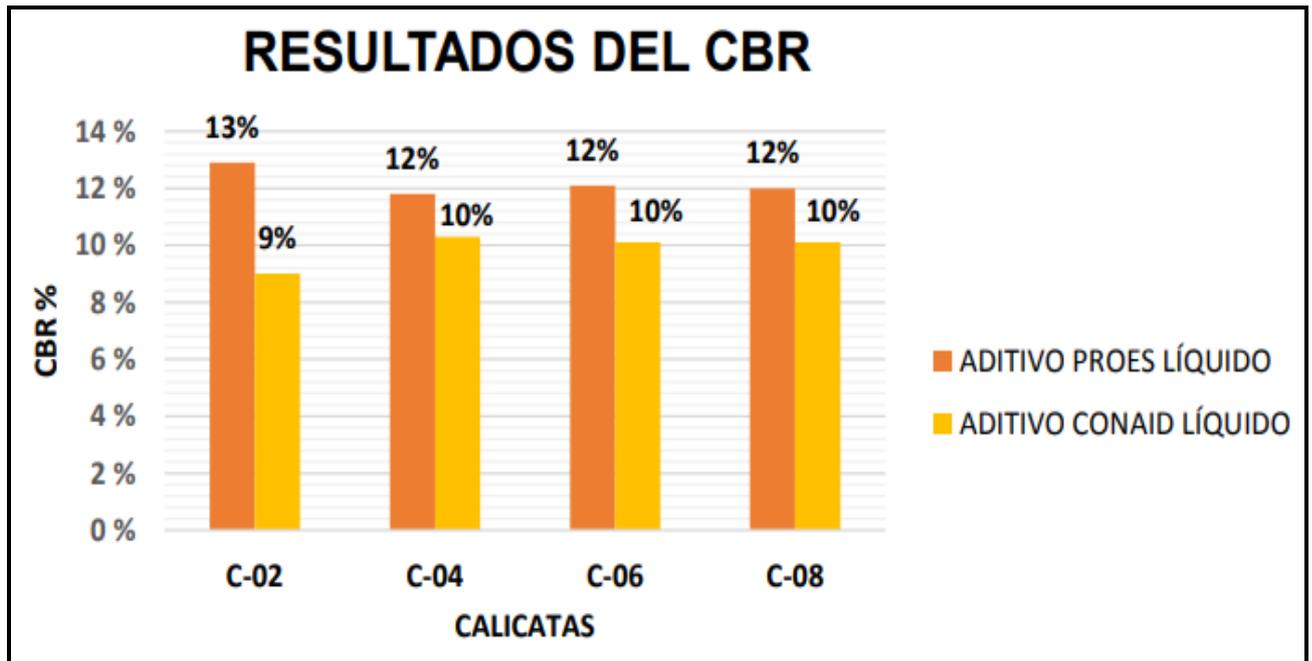
Fuente: Elaboración propia

### 7.1.8. CBR para el suelo con los aditivos PROES Y CONAID

Con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo se adicionaron los aditivos líquidos y sólidos PROES y CONAID para las calicatas N°2, 4, 6 y 8. Para el aditivo líquido PROES se utilizó 0.35 l/m<sup>3</sup> y para el aditivo líquido CONAID 0.05 l/m<sup>3</sup>. Para el aditivo sólido PROES se utilizó 0.30 l/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> y para el aditivo sólido CONAID 0.05 l/m<sup>3</sup> y 50 kg/m<sup>3</sup>. Se puede observar en las Tablas N°27 el resumen de los resultados de las calicatas.

Para la C-2 se obtuvo el máximo valor de CBR en el caso del aditivo líquido PROES (12.9%) y para el aditivo líquido CONAID (9%). Por otro lado, en la Tabla N°28 en la C- 8 para el aditivo sólido PROES (70%) en la C-8 siendo este el porcentaje más alto y para el aditivo sólido CONAID (58%) en la C-8.

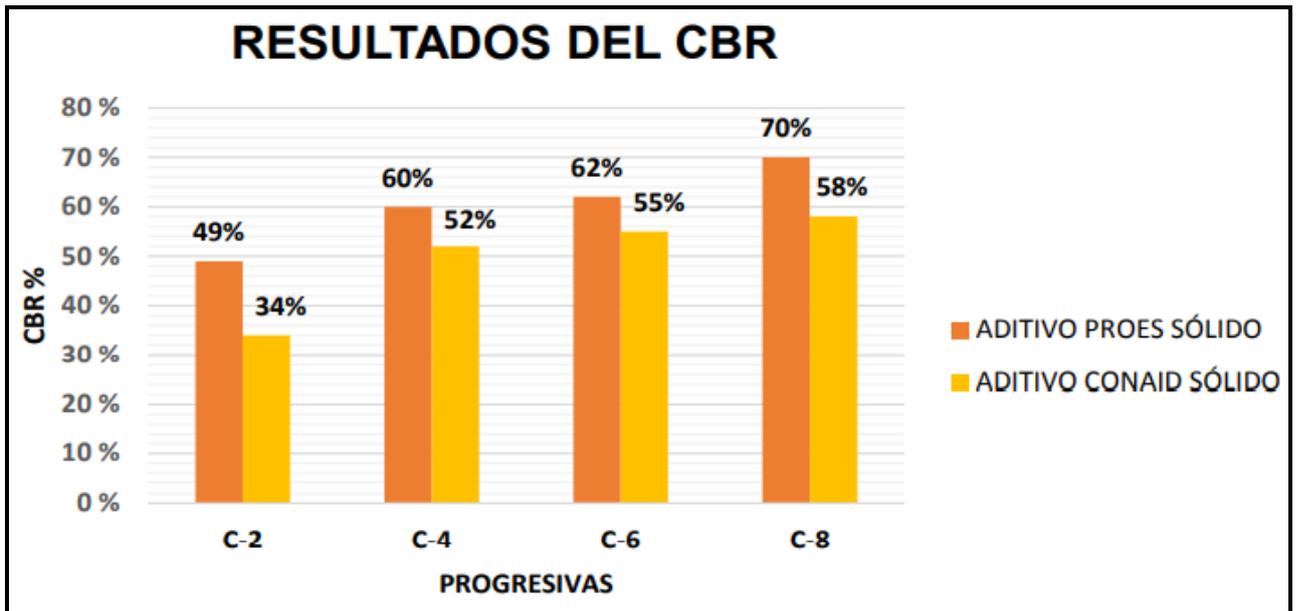
Ilustración 26: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°27 para el resultado del CBR con los Aditivos líquidos + Cemento de las cuatro calicatas, se muestra que el Aditivo PROES + 50 kg/m<sup>3</sup> de cemento existen diferencias entre 7% al 15% con respecto al Aditivo Líquido CONAID + 50 kg/m<sup>3</sup>. Demostrando así que el suelo tiene un mejor resultado con el aditivo sólido PROES + Cemento.

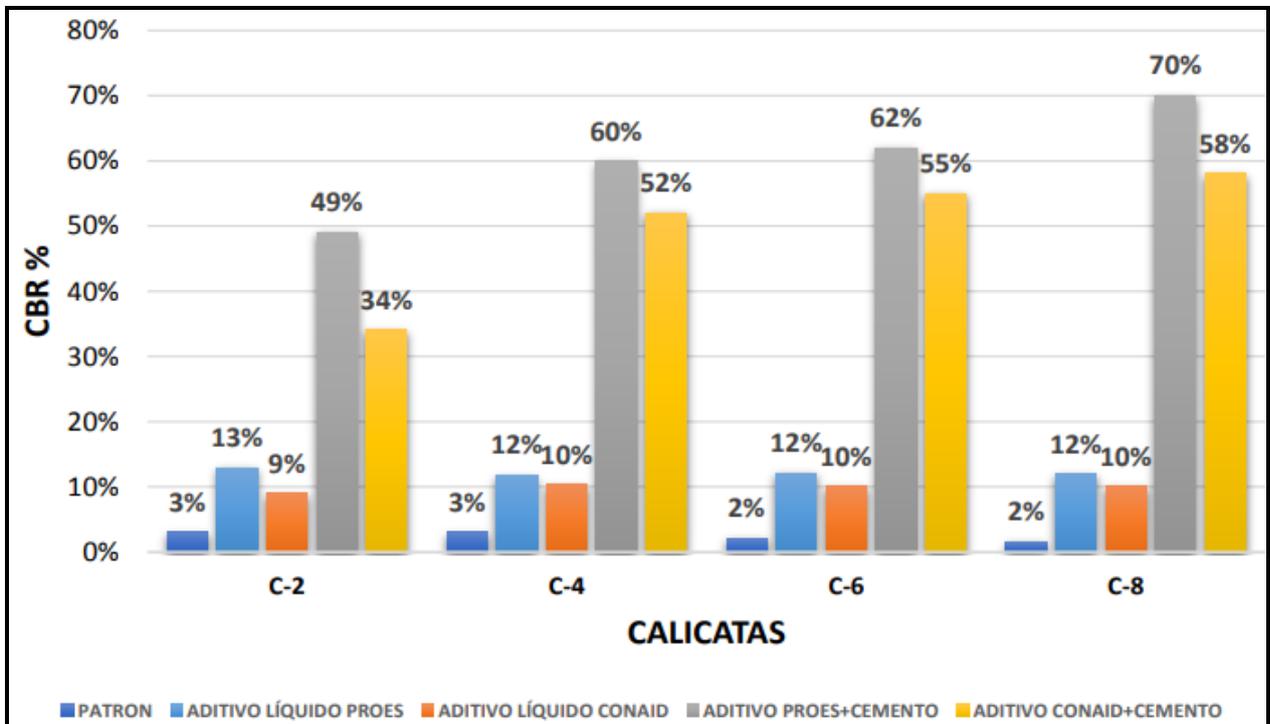
Ilustración 27: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido + Cemento



Fuente: Elaboración propia

Los CBR en las diferentes progresivas de la carretera con las diferentes dosificaciones utilizadas, se muestran en la Figura N°28.

Ilustración 28: Comparación del CBR de acuerdo a las dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, el mayor incremento de CBR se encuentra con el aditivo líquido PROES, dado que aumenta en promedio en un 10%, con respecto a la muestra de suelo natural pasando de ser una subrasante inadecuada a regular- buena. Por otro lado, para el aditivo líquido CONAID se muestra que aumenta que promedio hasta un 8 % con respecto al suelo sin aditivo lo cual clasifica a tener una subrasante regular.

Para el caso del aditivo PROES sólido se demuestra que aumenta su CBR a un 68% con respecto a la muestra de suelo natural pasando de ser una subrasante inadecuada a una subrasante excelente. Asimismo, para el aditivo sólido CONAID se muestra que aumenta hasta un 56% teniendo una Subrasante excelente según su clasificación.

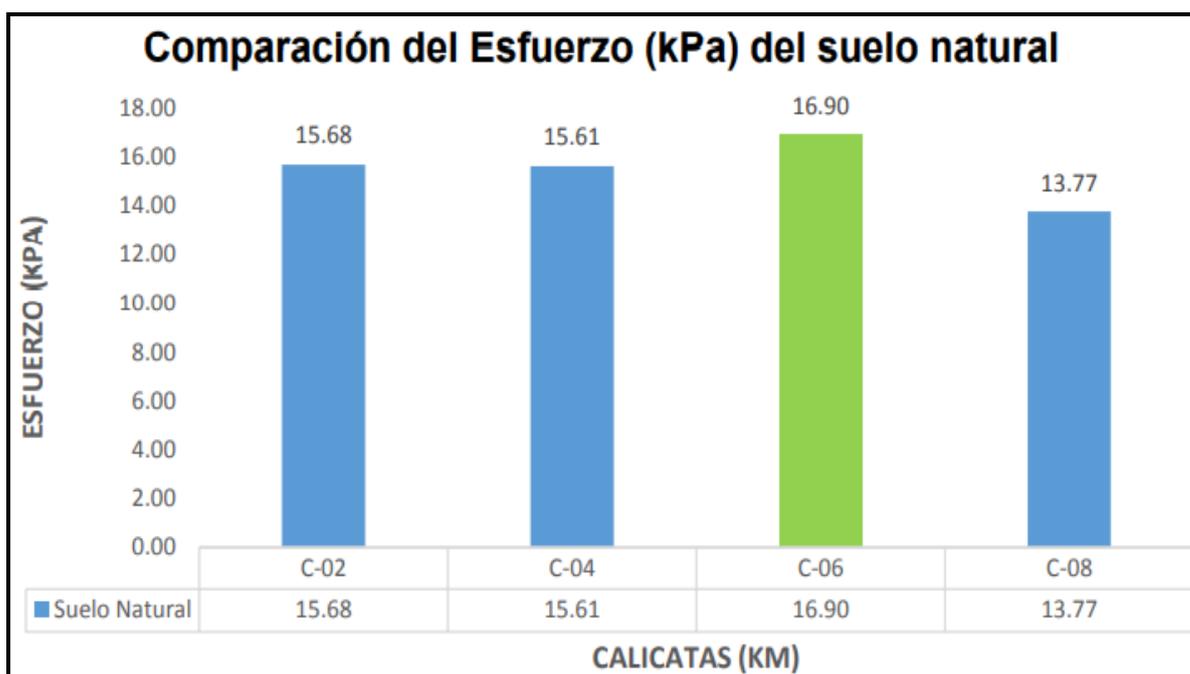
El porcentaje de CBR se determinó con los valores del contenido de humedad óptima y la máxima densidad seca del ensayo Proctor Modificado con aditivo.

En efecto, se aprecia que el mayor aumento de CBR se encuentra con la adición de 0.35 l/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> de Cemento Portland Tipo MS, por lo cual esta será la más apropiada dosificación. Por otro lado, es conveniente el aditivo PROES ya que el costo es de S/.120.00 nuevos soles sin IGV por Litro, y el otro no ya que su precio es de S/.330.00 nuevos soles por Litro. Por consiguiente, el precio del Cemento Mochica Anti-salitre es de S/ 24.46, pero también puede ser utilizado por otra marca u otro tipo.

#### **7.1.9. Compresión Simple no Confinada**

El ensayo de Compresión Simple no Confinada se realizó bajo la NTP 339.167. En la Tabla N°27 nos da la resistencia del suelo o esfuerzo a la compresión, los valores obtenidos en las calicatas ensayadas N°2, 4, 6 y 8 son C-2 15.68 kPa, C-4 15.61 kPa, C-6 16.90 kPa y C-8 13.77 kPa respectivamente. En la Figura N°29 se muestra el promedio de la resistencia a la compresión del suelo natural, los cuales serán usados como base para establecer el efecto de la incorporación de los aditivos PROES y CONAID.

Ilustración 29: Resistencia a Compresión del suelo natural



Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## 8.1. Conclusiones

- Se determinó que el suelo natural de la vía, según la clasificación SUCS es limo - arcilloso de baja plasticidad (ML-CL). Por otro lado, según la clasificación AASHTO estos suelos se encuentran en el grupo A-4, A-5, A-6 y A-7-6. Asimismo, se determina que el suelo de la vía presenta una plasticidad de baja a alta.
- Se determinó que los aditivos PROES Y CONAID mejoran las propiedades mecánicas del suelo, mediante los ensayos de CBR y Compresión Simple no confinada.
- Se determinó para el ensayo de CBR que el aditivo líquido PROES aumenta a un 13% teniendo mejores resultados en las propiedades mecánicas que el aditivo líquido CONAID que tiene un 10%, lo cual mejoro la subrasante inadecuada a buena.
- Se determinó para el ensayo de CBR que el aditivo sólido PROES aumenta a un 70% y el aditivo sólido CONAID a un 58%, lo cual ambos aditivos mejoraron la subrasante inadecuada a excelente.
- Se determinó para el ensayo de Compresión Simple no Confinada, que el aditivo líquido PROES obtiene mejores resultados en la resistencia a compresión teniendo un 61.42 kPa que el aditivo líquido CONAID que tiene 56.03 kPa, lo cual ambos aditivos mejoraron el suelo blando a un suelo mediano.
- Se determinó para el ensayo de Compresión Simple no Confinada, que el aditivo sólido PROES obtiene mejores resultados en la resistencia a compresión teniendo un 208.16 kPa que el aditivo sólido CONAID que tiene 138.43 kPa, lo cual PROES mejoro el suelo blando a un suelo muy firme y CONAID a firme

## 8.2. Recomendaciones

- Se recomienda que, para el mejoramiento de esta vía, se realice la estabilización con el aditivo sólido CONAID, debido a que se generan menos costos con su implementación en la ejecución, a diferencia del aditivo PROES, el cual se podría decir que consta de un precio menor, pero requiere mayor dosificación.
- Comparar los aditivos PROES y CONAID utilizando la misma dosificación para determinar cuál obtiene mejores resultados en el CBR y resistencia a la Compresión Simple no Confinada.
- Evaluar y comparar otros aditivos comercialmente disponibles que mejoren las propiedades físicas y mecánicas del suelo, para encontrar el aditivo más adecuado para suelos arcillosos.
- Se recomienda a las empresas, municipalidades controlen e implementen el uso de aditivos estabilizadores al realizar una obra de pavimentación, ya que esto ayuda a que el suelo como subrasante obtenga mejores resultados y se llegue a tener una resistente capa de rodadura.

## CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Angulo Roldan & Rojas Escajadillo. (2016). "Ensayo de fiabilidad con aditivo Proes para la estabilización del suelo en el AA.HH. El Milagro, 2016". Iquitos: Universidad Científica del Perú.
- Bada Alayo, D. F. (2016). Aplicación del aditivo químico CONAID para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera Tauca- Bambas (Km73+514-Km132+537) de la ruta nacional Pe-3na". Trujillo.
- Palomino Terán, K. E. (2016). Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador MAXXSEAL 100. Cajamarca- Perú: Universidad Privada del Norte.
- TDM. (2011). Estabilizador de Suelo- "Estabilización de Suelo con CON-AID". TDM-Tecnología de Materiales.
- Ullate. (2017). Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales. (PITR- Lanamme UCR ed., Vol. 8). San José: Universidad de Costa Rica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Paz Bellido, C. A. (2014). Estabilización de Suelos Con Aditivo Con-Aid.
- Ravines, M. A. (2010). Pruebas con un Producto Enzimático Como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Piura.
- Ugaz, R. M. (2006). Estabilización de Suelos y su Aplicación en el Mejoramiento de Subrasante. (Tesis Volumen I para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad nacional de Ingeniería, Lima.
- BADA, Flor. Aplicación del aditivo químico CON - AID para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera Tauca-Bambas (km73+514-km123+535) de la Ruta Nacional PE- 3NA. Tesis (Maestro

en Transporte). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela de Postgrado, 2016.

- CARRANZA, Antonella y FERNÁNDEZ, Delia. Aplicación de los aditivos Proes y CON - AID para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante en la vía de acceso al C.P. Barraza, Laredo, la libertad-2018. Tesis (Ingeniera Civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2018.
- FREZZA, Bruno. Estabilização de solo arenoso com aditivo CON-AID® CBR-PLUS®. Artículo (Engenheiro Civil). Brasil: Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Civil, 2015.

# ANEXOS

## Anexo 1: Dosificación del aditivo PROES



### FICHA TÉCNICA



#### i. Tecnología PROES

El proceso PROES® de estabilización química de suelos (patentado) trata el suelo natural transformándolo en una base impermeable, resistente (CBR > 100%) y flexible.

Este proceso ocupa:

- El suelo natural con plasticidad
- El aditivo líquido PROES, que actúa por ionización y ordena las partículas del suelo.
- Aditivo sólido que sirve como aglomerante.

La base generada con PROES aporta toda la capacidad estructural necesaria, por lo que requiere de una carpeta de rodado sólo como protección de la abrasión producida por el tráfico y según el estándar de operación esperado.

#### ii. Consideraciones de uso.

- Se deben asegurar condiciones de homogeneidad y composición adecuada en el suelo a tratar de acuerdo a estudios y especificaciones de acuerdo a PROES.
- Al suelo a tratar se debe agregar un aditivo sólido, el cuál consiste en cemento u otro filler gestionable localmente.
- El aditivo líquido PROES se agrega al suelo en dosis de 0,30 a 0,35 lt/m<sup>3</sup> de suelo estabilizado. La aplicación se realiza utilizando un camión aljibe, donde se diluye el aditivo PROES en agua previo a su aplicación.
- La finalización del proceso contempla revolver y extender el suelo tratado con motoniveladora, y luego el compactado con rodillo vibratorio. Este proceso debe realizarse en las 4 horas inmediatamente posteriores al riego.

#### iii. Condiciones de transporte del aditivo líquido

**Envase** : Estanque HDPE anillado de 55 galones 200 litros, sellado, diámetro 595 mm, altura 888 mm (ver ilustración adjunta).

**Transporte:** : los estanques se movilizan en pallets de 1000mm x 1200 mm.



#### iv. Condiciones químicas del aditivo líquido

**División de riesgo** : Clase 8 - Líquido corrosivo  
**Código UN** : NU 3256  
**Estado físico** : líquido de color oscuro y apariencia oleosa  
**Peso específico** : 1,15  
**pH** : 1 a 1,5 en estanque, 4 a 6 en aplicación según dilución.  
**Estabilidad** : producto estable a temperatura ambiente, mantener bajo 100°C  
**Fecha de caducación** : no tiene

Proes Tech Perú SAC 2 de Mayo 826, oficina 001, Miraflores, Lima, Perú. Fono: +56 1 445 9676  
; www.proestech.com

## Ensaye de Proctor Modificado y CBR

### 1. Toma de Muestras

La toma de muestras se realizará al material (suelo natural o mezcla de suelo natural y otro material especificado) que se estabilizará químicamente con Tecnología **PROES<sub>MR</sub>**. Todos los muestreos de materiales se realizan de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Conservación y transporte de muestras de suelos. (ASTM D-4220)
- Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo. (AASHTO T248)
- Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas. (ASTM D-421 ASTM D-2217 AASHTO T87)
- Preparación de muestras húmedas de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas. (ASTM D-2217)

### 2. Ensayes de Laboratorio

Las muestras se someten a los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado. (ASTM C-136)
- Determinación del límite líquido de los suelos. (ASTM D-4318 AASHTO T89)
- Determinación del límite plástico e Índice de plasticidad. (ASTM D-4318 AASHTO T90)
- Proctor modificado. (ASTM D-1557)

Con las dosis de aditivos entregadas en certificados de dosificación se realizan los ensayos de CBR y Proctor modificado.

Antes de realizar los ensayos se debe calcular la cantidad de aditivo líquido **PROES<sub>MR</sub>** y aditivo sólido a utilizar. Esto se hará según la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de Aditivo Sólido} = \frac{A \times \text{Dosis Óptima de Aditivo Sólido}}{\text{Proctor Modificado}}$$

$$\text{Cantidad de Aditivo Líquido} = \frac{A \times \text{Dosis Óptima de Aditivo Líquido}}{\text{Proctor Modificado}}$$

Dónde:

**A** = Peso de material para realizar el ensayo.

**Proctor Modificado** = Se refiere a Proctor Modificado suelo natural.

El aditivo sólido se adiciona a la muestra de suelo a tratar, la cual se encontrará ya pesada en un bol o paila adecuada.

Se homogeniza la mezcla y se incorpora agua hasta una humedad de alrededor de 4% debajo de la óptima.

El aditivo líquido se disolverá en el agua faltante para llegar a la óptima, más un 1% debido a la absorción de agua por el aditivo sólido.

Se mezcla agua – aditivo líquido a la muestra de suelo con aditivo sólido, se homogeniza y se deja reposar ½ hora antes de la confección de las probetas.

Una vez confeccionadas las probetas se cubren con un plástico y arena o aserrín humedecido y se dejan en curado en lugar fresco y seco por 7 días, 5 días tapadas con el plástico y luego 2 días destapadas a una temperatura media de 20°C.

A continuación se sigue el procedimiento indicado en la norma ASTM D1883 AASHTO T193.

## Ensaye de Compresión no confinada

### 1. Toma de Muestras

La toma de muestras se realizará al material (suelo natural o mezcla de suelo natural y otro material especificado) que se estabilizará químicamente con Tecnología **PROES<sub>MR</sub>**. Todos los muestreos de materiales se realizan de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Conservación y transporte de muestras de suelos. (ASTM D-4220)
- Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo. (AASHTO T248)
- Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas. (ASTM D-421 ASTM D-2217 AASHTO T87)
- Preparación de muestras húmedas de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas. (ASTM D-2217)

### 2. Ensayes de Laboratorio

Las muestras se someten a los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado. (ASTM C-136)
- Determinación del límite líquido de los suelos. (ASTM D-4318 AASHTO T89)
- Determinación del límite plástico e Índice de plasticidad. (ASTM D-4318 AASHTO T90)
- Proctor modificado (ASTM D-1557)

Con las dosis de aditivos entregadas en certificados de dosificación se realizan los ensayos de Compresión no confinada

Antes de realizar los ensayos se debe calcular la cantidad de aditivo líquido **PROES<sub>MR</sub>** y aditivo sólido a utilizar. Esto se hará según la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de Aditivo Sólido} = \frac{A \times \text{Dosis Óptima de Aditivo Sólido}}{\text{Proctor Modificado}}$$

$$\text{Cantidad de Aditivo Líquido} = \frac{A \times \text{Dosis Óptima de Aditivo Líquido}}{\text{Proctor Modificado}}$$

Donde:

- A** = Peso de material para realizar el ensayo
- Proctor Modificado** = Se refiere a Proctor Modificado suelo natural

El aditivo sólido se adiciona a la muestra de suelo a tratar, la cual se encontrará ya pesada en un bol o paila adecuada.

Se homogeniza la mezcla y se incorpora agua hasta una humedad de alrededor de 4% debajo de la óptima.

El aditivo líquido se disolverá en el agua faltante para llegar a la óptima, más un 1% debido a la absorción de agua por el aditivo sólido.

Se mezcla agua – aditivo líquido a la muestra de suelo con aditivo sólido, se homogeniza y se deja reposar ½ hora antes de la confección de las probetas.

Una vez confeccionadas las probetas se cubren con un plástico y arena o aserrín humedecido y se dejan en curado en lugar fresco y seco por 7 a 14 días, a temperatura mayor a 12°C.

A continuación se sigue el procedimiento indicado en la norma ASTM D2126 AASHTO T208.

## Anexo 2: Dosificación del aditivo CONAID



### **Ensayos en laboratorio con la adición de CON-AID Súper®**

(Para calcular Límites de Atterberg, Proctor , Valor Soporte y Rcs)

#### **Etapas en la Estabilización Iónica:**

- **Mezclado del estabilizador en agua de compactación**
- **Difusión iónica**
- **Compactación**
- **Curado**
- **Consolidación final (tránsito, solo en campo)**

#### **Mezclado y difusión:**

- Realizar la mezcla de suelo con la solución agua-producto (como las dosificaciones son muy pequeñas, hay que crear una solución con agua, tal de que los valores de dosificación resulten de fácil medición por unidad de peso del suelo a ensayar – **Ver :Dosificación de Con-Aid Súper**) en un contenido de humedad superior en 1 ó 2% por sobre la humedad óptima del mismo suelo sin adición del estabilizador. Se sugiere mezclar todo el suelo necesario para la totalidad de los ensayos previstos.
- Dejar **reposar la mezcla** (suelo-solución agua/producto) aproximadamente 48 hs. dentro del laboratorio sin tapar, manteniendo el contenido de la humedad en un entorno cercano a la óptima (agregando mas agua sola si observara un secado muy rápido).
- Recién luego **realizar los ensayos de clasificación y Proctor** para compararlos con los del mismo suelo sin estabilizar.

### Valor Soporte Relativo:

- **Moldear** las probetas a densidad y humedad calculadas con Proctor del suelo estabilizado.
- Dejar las probetas moldeadas “curar” durante 7 días dentro de una bolsa plástica.
- Embebido durante 96hs y ensayo.
- **Notas:**
  - De no poder contar con los valores del Proctor con el estabilizador, se podrá realizar en forma aproximada con los valores de Proctor sin aditivar.
  - Se aconseja realizar además del procedimiento normalizado con suelo natural (sin curado), otra serie con el **mismo proceso de curado que las probetas con Con-Aid.**
  - En esta metodología, **faltaría reflejar la acción del tránsito**, muy positivo para la consolidación final. Ya para esto habría que modificar la norma de ensayo, con todo lo que esto implicaría para justificar luego los buenos resultados.

### Resistencia a la Compresión Simple Inconfinada

- Una vez conformada la probeta según norma, también con valores del Proctor con Con-Aid, realizar el mismo procedimiento de curado que en V.S.R., solo que solo 5 días en lugar de 7.

### **Dosificación de CON-AID Súper:**

1) Diluir la cantidad de estabilizador determinada (suministrada **Con-Aid Argentina S.A.** en cada caso – con un rango de **2,5 a 4cm<sup>3</sup>**–) en **1000 cm<sup>3</sup>** de agua potable. Esta solución agua-producto formada, será el total a aplicar en **100kg** de suelo seco.

2) Es decir, que por **cada Kg. de suelo seco** a ensayar se deberán aplicar **10cm<sup>3</sup> de esta solución.**

3) Esto formara parte del agua total necesaria para llevar el suelo a la humedad de compactación (Proctor en suelo mas estabilizador). Se recomienda humedecer primero con agua sola hasta aproximarse a dicha humedad y finalizar con la adición de la solución agua-producto conformada, según los kgs. que se están preparando.

**Nota:** La dosificación en laboratorio entre 2,5 a 4cm<sup>3</sup>, representa una dosificación en campo de entre **0,006lts/m<sup>2</sup> a 0,008 lts/m<sup>2</sup> (0,15m de espesor)**, considerando un valor de Proctor promedio de 1300kg/m<sup>3</sup>. Este es el rango de dosificación mas usual.

#### **Recomendaciones:**

- Se recomienda poner todo el suelo (de una misma clasificación), necesario para realizar todos los ensayos (clasificación, Proctor y CBR, etc.), y dosificarlo todo junto (siempre 1 o 2% por encima de la optima). Con esto se minimizara mas aun el error de dosificación.
- Preparar una nueva solución agua-producto, para cada tipo de suelo, y no a partir de una solución sobrante utilizada anteriormente.

## **Resultados esperables:**

### **A) Límites de Atterberg:**

- **L.L.:** Reducción en 99% de los casos (mas notorio en suelos A-7 y A-6).
- **L.L > 50%** → 15-30% menos.
- **L.L < 50%** → 10% menos.
  
- **L.P.:** Sin mayores cambios, con un comportamiento disperso. Puede subir ó bajar muy poco → 1-5%
  
- Luego, a consecuencia de lo anterior hay una reducción del I.P. (Reducción más drástica en suelos expansivos, muy activos).

### **B) Proctor:**

- **Dens. Seca Max.:** Aumenta hasta un 15%. En promedio lo hace entre un 5 y 8 %.
- **Cont. Óptimo de Humedad:** Se registra, en general, una leve disminución.

### **C) Valor Soporte:**

- Suelos **A7-5 – A7-6:** Se registran aumentos entre un 300 a 400%.
- Suelos **A6 – A4.** Aumentos del orden del 100%.

### **D) Compresión Inconfinada:**

- Se registran aumentos de entre un 70-90%, en promedio.

**Nota:** No se observaran modificaciones en la granulometría de los suelos estabilizados.