



**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 DE INNOVACIÓN Y SU INFLUENCIA EN  
LA MEJORA DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA  
YURIMAGUAS – MUNICHIS, PROVINCIA DE ALTO  
AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE LORETO”**

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

**ASESOR:**

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

**AUTORES:**

**PISCOYA VARGAS, José Daniel**

**REATEGUI VELA, Víctor Gally**

**TARAPOTO – PERÚ**

**2021**

# DEDICATORIA

La presente tesis fue realizada con esfuerzo y compromiso. En principio dedico esta investigación a Dios por darme dirección en cada momento y permitir que logre esta meta, por poner en mi camino a las personas correctas y cubrirme con su manto cuando más lo necesitaba, a mis padres, que jamás desmayaron en su apoyo incondicional, quienes me enseñaron sobre la perseverancia, honestidad, amor y que cuando uno se propone cualquier cosa en la vida, lo puede lograr, jamás voy a poder compensarlos por lo importante que son en mi vida y siempre son el camino correcto a seguir, a mis hermanos por brindarme sus apoyo incondicional en cada momento. A Aquellas personas muy especiales que están presentes en mi vida. A mis familiares y mejores amigos, con quienes compartí momentos perdurables a través del tiempo.

A cada Docente que nos brindaron su conocimiento, enseñanzas, experiencias profesional y personal siempre con el único objetivo de que seamos buenos profesionales y personas de bien con mucha ética.

**Víctor Gally, Reátegui Vela**

A Dios, A mis padres José Piscoya Senmache y Carmen Vargas quienes dan la vida por sus hijos y confiaron en mí brindándome educación, por su apoyo incondicional y sus consejos para ser una persona de bien, me enseñaron que el esfuerzo tiene su recompensa y a luchar por mis metas.

A mis hermanos Luis Piscoya y Manuel Piscoya por estar siempre ahí para mí, con su motivación.

A mis docentes que nos brindaron sus conocimientos y su valioso tiempo, nos enseñaron de sus experiencias profesionales y personales, Siempre con la intención de que seamos buenos profesionales.

A mis verdaderos amigos que siempre estuvieron con su apoyo moral incondicional.

**José Daniel, Piscoya Vargas**

# AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Dios por darnos la vida y ser el camino, para tomar las decisiones correctas.

Asimismo, agradezco a mis Padres Ulices Reategui y Selmith Vela, que siempre me brindador su amor y apoyo incondicional tanto en lo moral y lo económico para poder culminar mis estudios y que estuvieron siempre pendientes de mí en este arduo camino de enseñanza y aprendizaje durante mi vida universitaria.

A mis hermanos por su apoyo, motivación y consejos en cada momento para encaminarme en mis estudios universitarios y llegar a ser un profesional con buena moral y ética.

A nuestro Asesor de Tesis por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a las sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles durante mi vida universitaria y profesional.

**Víctor Gally, Reátegui Vela**

A mis padres José Piscoya Senmache y Carmen Vargas por su amor incondicional, moral y económico, para poder lograr culminar mis estudios universitarios.

A mis hermanos por su motivación y consejos para culminar mis estudios universitarios y ser un buen profesional.

A nuestro asesor de tesis, por su por valioso tiempo y enseñanzas para poder culminar este proyecto de tesis.

A mis docentes por brindarme de su valioso, único e irrecuperable tiempo, con sus enseñanzas, siempre con el único objetivo de que seamos buenos profesionales y personas de bien, por enseñarnos a través de sus experiencias en su vida laboral.

**José Daniel, Piscoya Vargas**

## 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:

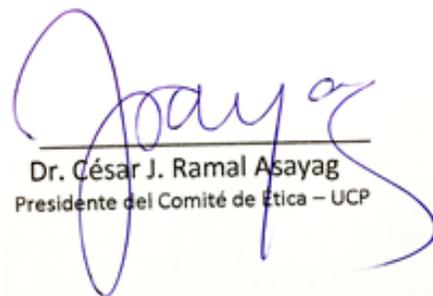
La Tesis titulada:

**"PROPUESTA DE INNOVACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA MEJORA DE LA  
SUBRASANTE DE LA CARRETERA YURIMAGUAS – MUNICHIS, PROVINCIA DE  
ALTO AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE LORETO"**

De los alumnos: **PISCOYA VARGAS JOSÉ DANIEL Y REATEGUI VELA VÍCTOR  
GALLY**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la  
revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **18% de plagio**.

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

San Juan, 4 de junio del 2021.



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

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** UCP\_INGENIERÍACIVIL\_2021\_TESIS\_VICTORREÁTEGUI JOSÉPISCOYA\_V1 (D107252255)  
**Submitted:** 5/31/2021 7:46:00 PM  
**Submitted By:** revision.antiplagio@ucp.edu.pe  
**Significance:** 18 %

### Sources included in the report:

UCP\_INGENIERÍACIVIL\_2021\_TESIS\_DEYVINALTAMIRANO\_NOELIOROMÁN\_V1.pdf (D107252252)  
UCP\_INGENIERIACIVIL\_2021\_TESIS\_FREDYHIDALGO\_JOSEHIDALGO\_V1.pdf (D94425216)  
6. Castro Inga. Rev. 1.pdf (D54439723)  
Tesis Bruno Yadin Ramirez Ponce.docx (D39151794)  
UCP\_INGENIERIA\_2019\_TSP\_DICKLEONARDOJARAMILLO\_VF.pdf (D55250174)  
10646-Castro Cuadra Axel Franco\_.pdf (D37638630)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx (D54926490)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx (D54926256)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (ÚLTIMO).docx (D54943378)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TERMINADO (FINAL).docx (D54970209)  
UCP\_INGENIERIA\_2019\_TSP\_DICKLEONARDOJARAMILLO\_VF.pdf (D55270824)  
UCP\_ING.CIV\_2020\_T\_JAIMEVASQUEZ\_CHRISTIANMARIN\_V1.pdf (D75816608)  
Urkung - Final.pdf (D53427747)  
Tesis\_silvestre.docx (D31585051)  
UCP\_ING. CIVIL\_2021\_TESIS\_MERCYRAMOS\_STHEFANYROBLEDO\_V1.pdf (D96809080)  
INFORME FINAL FEDU 2019-Rosa LLique.pdf (D83075154)  
Proyecto C. Tirado.docx (D12904534)  
1832-Pérez Collantes, Carolina Alejandra.pdf (D98990005)  
Tesis 50% OK Firmado.pdf (D92044772)  
Tesis 50% OK Firmado.pdf (D92044159)  
Tesis - ALVAREZ.docx (D101044447)  
14579--Ramírez Ponce, Bruno Yadin.pdf (D57703432)  
TESIS ANDRE CASTILLO2.pdf (D12824668)  
TITULACION\_(CASTILLO\_ENRIQUEZ).pdf (D62957473)  
Tesis - ALVAREZ.docx (D101168668)  
Tesis - ALVAREZ-comprimido.pdf (D105264910)  
ad931893-5d38-4472-8e96-22a2d6c98e31  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23685/Tantaquilla%20Otiniano%20Edson%20Wilmer%20-%20Valdivia%20Julca%20Freiser%20Anderzon.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 007-2021-UCP-FCEI del 13 de enero de 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 Ríos Vargas, M. Sc.      | Presidente |
| • Ing. Joel Padilla Maldonado, 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 18:00 horas del día sábado 16 de octubre del 2021, 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 INNOVACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA MEJORA DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA YURIMAGUAS – MUNICHIS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, DEPARTAMENTO DE LORETO".

Presentado por los sustentantes:

### VICTOR GALLY REÁTEGUI VELA Y JOSÉ DANIEL PISCOYA VARGAS

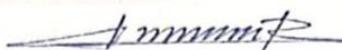
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

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 QUINCE (15)**.

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



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú  
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú  
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640  
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compañon 933

Universidad Científica del Perú  
www.ucp.edu.pe

CS Escaneado con CamScanner

## **APROBACIÓN**

Tesis sustentada en acto público el día 16 de octubre del 2021 a las 06.00 p.m.



---

**M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS**  
PRESIDENTE DEL JURADO



---

**M.Sc. Ing. JOEL PADILLA MALDONADO**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

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



---

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

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1 Introducción.....	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	17
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES .....	20
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES .....	23
2.2 BASES TEÓRICAS .....	24
<b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>44</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	44
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	44
3.2.1 PROBLEMA GENERAL .....	44
3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS .....	44
3.3 OBJETIVOS .....	45
3.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	45
3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	45
3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.5 LIMITACIONES .....	47
3.6 HIPÓTESIS .....	48
3.7 VARIABLES .....	48
3.7.1 Identificación de las variables .....	48
3.7.2 OPERACIONALIZACIÓN DE 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
4.1.2.DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	50
4.2. UNIDAD DE ESTUDIO .....	50
4.3. POBLACIÓN.....	50
4.3.1.MUESTRA .....	51
4.4. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	52

4.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: OBSERVACIÓN .....	52
4.4.2. INSTRUMENTO: GUÍA DE OBSERVACIÓN .....	53
4.5. MÉTODOS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	54
4.6. PROCEDIMIENTO .....	55
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO FINO: .....	83
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>100</b>
6.1. DISCUSIÓN .....	100
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>123</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	123
7.2 RECOMENDACIONES.....	124
<b>CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>125</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Composición química de la arcilla .....	25
Ilustración 2: Reacción química por ionización .....	32
Ilustración 3: Estructura tradicional del pavimento.....	36
Ilustración 4: Difracción de rayos X .....	39
Ilustración 5: Sección transversal impropia .....	40
Ilustración 6: Drenaje inadecuado .....	41
Ilustración 7: Ondulaciones .....	41
Ilustración 8: Generación de Polvo en la vía.....	42
Ilustración 9: Presencia de baches en la vía.....	42
Ilustración 10: Ahuellamientos.....	43
Ilustración 11: Perdida de agregados .....	43
Ilustración 12: Resumen de Guía de Observación .....	53
Ilustración 13: Inspección visual de la vía.....	55
Ilustración 14: Ensayo de compresión simple no confinada.....	58
Ilustración 15: Curva Granulométrica de suelo fino .....	62
Ilustración 16: Curva Granulométrica de la Hidrometría .....	64
Ilustración 17: Resultados del Límite Líquido .....	66
Ilustración 18: Carta de Plasticidad .....	71
Ilustración 19: Curva de compactación.....	76
Ilustración 20: Gráfico del CBR vs Densidad Seca.....	78
Ilustración 21: Curva de la Compresión Simple no Confinada .....	80
Ilustración 22: Curva Granulométrica de la calicata 4 estrato 1 .....	100
Ilustración 23: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Posteos.....	102
Ilustración 24: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Calicatas .....	102
Ilustración 25: Análisis de resultados del Índice de Grupo de los Posteos. Clasificación AASHTO .....	103
Ilustración 26: Análisis de resultados del Índice de Grupo de las Calicatas. Clasificación AASHTO .....	103
Ilustración 27: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 1 .....	106
Ilustración 28: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 2.....	107
Ilustración 29: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 1 .....	107
Ilustración 30: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 2.....	108
Ilustración 31: Densidad a una Temperatura de 20° .....	109
Ilustración 32: Curva de Proctor Modificado de la calicata 8.....	110

Ilustración 33: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID .....	111
Ilustración 34: Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos .....	112
Ilustración 35: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS .....	112
Ilustración 36: Relación de Soporte California (CBR) .....	113
Ilustración 37: CBR del suelo natural .....	114
Ilustración 38: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido.....	115
Ilustración 39: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido + Cemento .....	116
Ilustración 40: Comparación del CBR de acuerdo a las dosificaciones.....	116
Ilustración 41: Resistencia a Compresión del suelo natural.....	118
Ilustración 42: Análisis de resultados de la Resistencia a la Compresión no Confinada con el Aditivo Líquido .....	119
Ilustración 43: Análisis de resultados de la Resistencia a la Compresión no confinada con el Aditivo Líquido + Cemento .....	120
Ilustración 44: Comparación de la Resistencia a la Compresión no confinada de acuerdo a las dosificaciones .....	121

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador .....	27
Tabla 2: Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabiliza. .	28
Tabla 3: Tipos de Estabilización de Suelos .....	29
Tabla 4: Subrasante .....	37
Tabla 5: Hipótesis .....	48
Tabla 6: Operacionalización de variables .....	49
Tabla 7: Matriz de diseño de Variable Independiente .....	50
Tabla 8: Población de probetas .....	51
Tabla 9: Número de Calicatas para Exploración de Suelos .....	51
Tabla 10: Numero de ensayos CBR .....	52
Tabla 11: Formato de contenido de humedad .....	60
Tabla 12: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas.....	61
Tabla 13: Formato de Granulometría de agregados .....	61
Tabla 14: Formato del Análisis Granulométrico por Hidrómetro .....	63
Tabla 15: Formato del Límite Líquido y el Límite Plástico.....	65
Tabla 16: Determinación cualitativamente el potencial expansivo del suelo .....	66
Tabla 17: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad .....	68
Tabla 18: Prefijos y sufijos para cada tipo de suelo .....	68
Tabla 19: Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo .....	69
Tabla 20: Clasificación SUCS (ASTM D-2487).....	70
Tabla 21: Clasificación del suelo según Índice de Grupo.....	73
Tabla 22: Clasificación AASHTO M-145.....	73
Tabla 23: Formato de la Gravedad Específica de Sólidos .....	74
Tabla 24: Tabla de Resumen de los Cálculos para la Gs .....	75
Tabla 25: Formato del Ensayo de CBR vs Densidad Seca.....	77
Tabla 26: Calificación de la consistencia del suelo .....	79
Tabla 27: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los Posteos Estrato 1 .....	83
Tabla 28: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los posteos para los estratos 2.....	83
Tabla 29: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 1 .....	84
Tabla 30: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de las Calicatas Estrato 2. ....	84
Tabla 31: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 1 .....	85
Tabla 32: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad posteos Estrato 2.....	85
Tabla 33: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 1 .....	86
Tabla 34: Cuadro de resumen del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad calicatas Estrato 2. ....	86
Tabla 35: Cuadro de resumen del ensayo de Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro .....	87
Tabla 36: Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 1 .....	87
Tabla 37: Clasificación SUCS y AASHTO para los posteos estrato 2.....	88

Tabla 38: Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 1. ....	88
Tabla 39: Clasificación SUCS y AASHTO para las calicatas estrato 2 .....	88
Tabla 40: Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Posteos para los estratos 1 y 2 .....	89
Tabla 41: Cuadro de resumen del ensayo de Contenido de Humedad de Calicatas para los estratos 1 y 2 .....	89
Tabla 42: Cuadro de resumen del ensayo de Gravedad Específica de las Calicatas en el estrato 1 .....	90
Tabla 43: Cuadro de resumen del ensayo de Proctor Modificado sin aditivo .....	90
Tabla 44: Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquido .....	91
Tabla 45: Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos Proes y Conaid con Cemento Portland Tipo MS.....	92
Tabla 46: Cuadro resumen del ensayo CBR sin aditivo.....	92
Tabla 47: Cuadro de resumen del ensayo de CBR con los Aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos .....	93
Tabla 48: Cuadro de resumen del ensayo de CBR de los Aditivos PROES y CONAID con Cemento Portland Tipo MS.....	94
Tabla 49: Cuadro de Resumen de los resultados del ensayo de Compresión no confinada sin aditivo.....	94
Tabla 50: Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos sólo Líquidos PROES y CONAID .....	95
Tabla 51: Cuadro de Resumen del Ensayo de Compresión Simple no Confinada de los Aditivos Líquidos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS .....	96
Tabla 52: Análisis de EDS.....	97
Tabla 53: Prueba de Normalidad Aditivos Líquidos .....	97
Tabla 54: Análisis de Varianza (ANOVA) de Aditivos Líquidos .....	97
Tabla 55: Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos.....	98
Tabla 56: Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos .....	98
Tabla 57: Análisis de Varianza (ANOVA) de Aditivos Líquidos + Cemento.....	98
Tabla 58: Homogeneidad de Varianzas de Aditivos Líquidos + Cemento.....	98
Tabla 59: Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos + Cemento .....	99
Tabla 60: Comparaciones Múltiples de Aditivos Líquidos + Cemento.....	99

## 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 suelos no cuentan con las propiedades mecánicas adecuadas de la subrasante.

En la presente tesis 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.

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 Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

Asimismo, compararlas para determinar cuál de los dos presenta un mayor incremento en las propiedades mecánicas del suelo. Para las muestras obtenidas se realizaron posteos y calicatas en la vía perjudicada que esta 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 de la Consultora y Constructora ROA, siguiendo las Normas Técnicas Peruanas.

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. Finalmente, 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 la sub rasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento Loreto.

**Palabras claves:** Aditivos, suelos, sub rasante, capacidad portante.

# 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 soils they do not have the adequate mechanical properties of the subgrade.

In this thesis, the effect on the physical-mechanical properties of the soil has been investigated with two chemical stabilizers most used by different companies in the field 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.

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 Yurimaguas - Munichis highway, Alto Amazonas province, department of Loreto.

Likewise, compare them to determine which of the two presents a greater increase in the mechanical properties of the soil. For the samples obtained, posts and pits were made on the damaged road that is paved, physical and mechanical tests were carried out for natural soil, on the soil with liquid additives (PROES and CONAID) and on the soil with solid additives (PROES + CEMENTO and CONAID + CEMENTO). All the tests were carried out in the Soil Mechanics Laboratory of the Consultant and Constructor ROA, following the 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 inadequate 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. Finally, it is concluded that both solid additives PROES and CONAID improve the mechanical properties, which taking into account that the CONAID additive was used because less dosage was applied and it is cheaper to stabilize the subgrade

of the Yurimaguas - Munichis highway, province of Alto Amazonas, Loreto department.

**Keywords:** Additives, subgrade, bearing capacity.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción

Esta investigación se desarrolló en la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto, teniendo como finalidad aplicar los aditivos PROES y CONAID, en los suelos arcillosos para obtener suelos mejorados a nivel de subrasante, el objetivo es utilizar los propios materiales de la zona y evaluar las propiedades físicas y mecánicas.

Realizamos una investigación aplicada con ensayos del CBR y resistencia a la compresión simple en laboratorio con certificación garantizada para determinar la resistencia del suelo natural y estabilizado, donde nuestro principal componente es la aplicación de los aditivos PROES y CONAID.

El diseño para emplear es experimental son para los tramos de mejoramiento de la sub rasante en los tramos críticos de la vía antes mencionado, la cual fue considerada por la investigación como vulnerable, afín de poder determinar la estabilidad de la sub rasante. La técnica empleada para la recolección de datos enfocado primordialmente en la observación directa in situ; demostrando que los instrumentos utilizados son los adecuados y sugeridos en el manual de suelos y pavimentos del MTC. 2014, y otras referentes a la estabilización de suelos con los aditivos, seguido de ello el laboratorio de suelos y herramientas manuales.

Ullate (2017) menciona que el empleo de estos aditivos estabilizadores se presenta como una opción para el uso de los materiales o suelos existentes y así mejorar la transitabilidad en las vías no pavimentadas en condiciones húmedas y reducir la generación de polvo en condiciones secas. En Perú, en el año 1995, se comienza a utilizar estabilizadores químicos con necesidad de mejorar las características físico mecánicas de los suelos para subrasantes de carreteras, inicialmente en tramos experimentales evaluados en laboratorio. (Jiménez, 2014).

Botasso, Fensel y Ricci (2003) establecen que los estabilizantes iónicos son productos con uso definido en suelos arcillosos. Asimismo, estas fueron

empleadas inicialmente en la industria petrolera canadiense y sudafricana. Estos se clasifican en dos grupos, los estabilizantes derivados del petróleo, emulsionados o sulfonados y por otro los estabilizadores con base polimérica (Botasso, Fensel, & Ricci, 2003).

Actualmente, existen empresas que brindan productos químicos estabilizadores, los cuales ofrecen su producto como una opción indispensable, donde muestran que su elaboración tiene un mejor comportamiento en servicio. Además, dan diferentes promociones en sus costos si es que el interesado opta por el producto. Dos de ellos, son los aditivos PROES y CONAID, siendo estos productos innovadores y que vienen creciendo en el mercado nacional, como una confiable opción para la problemática que se tiene.

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 DEL ESTUDIO

Una desventaja que tienen los pueblos aledaños a las ciudades cercanas, son el escaso medio de comunicación vial terrestre en los diferentes lugares de nuestro país, especialmente en la zona de selva y ceja de selva, que continuamente se ven involucrados en el mal estado de nuestras carreteras, esta problemática no solamente se da en este sector sino también en la zona de sierra y costa. La población de estos sectores se las ingenia para habilitar kilómetros de carreteras con el fin de tener un camino o vía de transporte que garantice la mejora de sus economías.

Por lo general, los proyectos de carreteras de conectividad a los pueblos, donde permitan platear desarrollo para su mejoramiento, ya que en la zona de selva los suelos son conocidos por ser arcillosos con alta plasticidad y capacidad de soporte bajo, la cual es uno de los grandes problemas para la construcción de caminos vecinales, por lo que, los Gobierno locales se ven obligado a ejecutar estudios para realizar estos trabajos con materiales provenientes de las únicas canteras calificadas que existen dentro de la provincia o del distrito, cuyas ubicaciones de estas canteras se encuentran muchas veces alejados de los lugares donde se desea construir, lo que en ocasiones torna inejecutable estos proyectos, puesto que el transporte del material eleva notablemente el costo de la construcción de las vías.

La presente investigación se centra en analizar una propuesta de innovación y su influencia en la mejora de la sub rasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto, para su estabilización de la sub rasante de suelos arcillosos mediante aditivos PROES y CONAID, aplicado en el tramo que necesita mejoramiento de sub rasante. Esto en la medida que dicha carretera presenta en épocas de invierno una baja transitabilidad debido al mal estado de la vía donde presentan; ahuellamientos y deterioro de la misma, ocasionando pérdidas económicas a los pueblos aledaños beneficiarios de esta vía por tener dificultades para llevar sus cosechas al mercado de manera oportuna, así

mismo se perjudican los transportistas que se arriesgan a transitar esta ruta debido a los desperfectos mecánicos que sufren por las condiciones del trayecto, también se contempla que las condiciones de deterioro de la vía de la carretera Yurimaguas – Munichis, el cual generan un alto riesgo de accidentes que pone en peligro las vidas de las personas y pérdida de mercaderías transportadas.

En este proyecto de investigación nos apoyamos en otras investigaciones relevantes.

### 2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- o (Rodríguez, 2016), en su tesis "**Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (TerraSil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de Los Ríos**", tuvo como objetivo determinar el % adecuado del aditivo para la estabilización del suelo limo arcilloso, luego cotejar los resultados del suelo natural versus el resultado del suelo con el aditivo TerraSil. El diseño empleado fue experimental por lo que las muestras fueron manipuladas In-Situ. Del cual realizo ensayos considerando 0.5 litros de aditivo terraSil para 1 m<sup>3</sup> de suelo en 7.87 litros de agua. Concluyendo que, al adicionar aditivo Terrasil al suelo, el CBR incrementa en 14% a los 7 días de realizado el ensayo; al mismo tiempo el % de humedad y capacidad de absorción disminuye en 27.86%.
- o (Quiran, 2015), en su tesis "Estabilización de suelos con productos Enzimáticos, como alternativa a la carencia de bancos de préstamo de material en el departamento de Guatemala" tuvo como objetivo evaluar el aditivo multienzimatico, a base de enzimas orgánicas como opción a la escasez de materiales de préstamo para proyectos viales. Donde se realizó el ensayo del CBR al 95% del suelo natural obteniendo un 11.2%, en seguida al añadir arena en 15%, el valor CBR incremento a 16.7%, finalmente a este resultado al adicionar el aditivo enzimático logro a los 7 días el valor de 21.9%, a los 14 días

34.4% y a los 21 días 40.1%. corroborando la eficiencia al utilizar la nueva técnica de estabilización de suelo. concluyendo que, el uso del aditivo adecuadamente minimiza el costo de mantenimiento y reparación, de igual forma concluye que, esta será posible únicamente en suelos que poseen como mínimo un 20% de suelo arcilloso.

- o (Sánchez, 2014), en su tesis "**Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Calcical del Cantón Tosagua Provincia de Manabí**", estableció como objetivo estabilizar suelo expansivo aplicando cal y cemento, con la finalidad de reducir su potencial de expansión. Concluyendo que la clasificación del suelo según SUCS corresponde a un suelo altamente plástico (CH) y según AASHTO arcilla plástica (A-7-5), de igual forma afirma que, con el 9% de cemento logró obtener el menor valor en el IP, deduciendo a un 36% respecto al estado natural, aumentando el LL en un 8% y el LP aumentando en un 61%. En el mismo sentido afirma que, con el 3% de cemento logró reducir el % de hinchamiento en un 57%, y con el 5% de cemento redujo en un 74%, y con el 7% logro una disminución de 87%.
- o (Antonio, 2009), en su investigación "**Rigidez a baja deformación de mezcla de Suelo de la formación pampeano y Cemento Portland**" tuvo como objetivo determinar los efectos en la estabilización del suelo de deformación pampeano incorporando cemento portland en 4, 6, 8, y 10%; El suelo utilizado fue el Limo de baja Plasticidad, donde midió la resistencia a compresión simple, rigidez para bajas deformaciones y su progreso al transcurrir del tiempo en distintas dosificaciones del cemento. Concluyendo que, para este tipo de suelo la resistencia al desgaste abrasivo bajo periodos de congelamiento y deshielo progresó con el contenido del cemento y las perdidas en peso seco luego de 12 ciclos para dosificación de cemento entre 6% y 9% fueron menores al 8%. De igual forma afirma que, la resistencia a la compresión simple progresó con la adición del cemento de forma

secuencial a la raíz cuadrada para edades tempranas y un incremento de forma casi lineal para periodos largos en tiempos de curado.

- o (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

- o Castillo (2018) En su tesis 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**” tuvo como objetivo determinar la influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada. Para ello, realizó los ensayos de caracterización de propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo. Concluye que, con el aditivo PROES, se mejora las propiedades mecánicas del suelo con la dosificación de 0.27 L/m<sup>3</sup> con cemento Portland, debido que con este aumentó significativamente la capacidad de soporte al 100% respecto al suelo en estado natural. Finalmente, demostró que el aditivo químico Proes con el cemento Portland, aumenta la capacidad de soporte del suelo cohesivo, garantizando un buen resultado en la estabilización de suelo para un adecuado funcionamiento de un pavimento. Esta tesis aporta en mi investigación, ya que nos da referencia de una dosificación óptima para mejores resultados en sus propiedades mecánicas del suelo en Calamarca- Huaso.

- o 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 e uniformiza las características físicas y mecánicas.
  
- o 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.
  
- o Núñez (2015) En su tesis titulada como **“Análisis de la Estabilización del Material de Cantera Km 02+700 de la Ruta CU-123 San Jerónimo Mayubamba, con la Adición de Estabilizante Iónico”** tuvo como objetivo determinar la variación de plasticidad, grado de compactación, capacidad de soporte (CBR) y costo del material de la cantera Km 02+700 de la ruta CU-123 San Jerónimo-Mayubamba adicionando estabilizante iónico (CON-AID). concluye que, demostró que al adicionar el aditivo iónico modifica la plasticidad y mejora el grado de compactación. Además, en los porcentajes del

15%,30%,45%,60%, se incrementó la capacidad de soporte CBR al 131.97% con respecto al suelo natural del material de cantera. De esta manera, queda demostrado que el aditivo CON-AID mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo, obteniendo el correcto desempeño para obtener una estabilización adecuada al construir vías afirmadas de larga vida útil.

- o Valle (2010) En su proyecto fin de Máster titulada como **“Estabilización de Suelos Arcillosos Plásticos con Mineralizadores en ambientes Sulfatados o Yesíferos”** tuvo como objetivo analizar cuatro métodos experimentales, la estabilización con cenizas volantes bajas en calcio, clase F; estabilización con cemento sulfato resistente, tipo V; estabilización con escorias granuladas de alto horno; estabilización con cal mezclada con fibras fibriladas de polipropileno, además, analizar el producto no tan comercializado en España RBI-81 con característica mineralizadoras. Concluye que, con todos los métodos de estabilización se logra disminuir la plasticidad, hinchamiento vertical y retracción lineal, además todos los métodos incrementan la resistencia al suelo. En efecto, la estabilización más efectiva se tiene con el cemento tipo V, que incrementa la resistencia al corte, además lo que dan mejoras a este mecanismo son el intercambio de iones, floculación y las reacciones cementicias y puzolánicas. Por otro lado, se tiene como segunda mejor opción, la estabilización mixta cal más fibras fibriladas de polipropileno, que reduce la plasticidad, aumenta la resistencia, etc. Los mecanismos que dan lugar a las mejoras son la floculación, reacciones puzolanas y una mejora en la cohesión debido a la incorporación de fibras.
- o Ruano (2012) En su trabajo de graduación titulada como **“Estabilización de Suelos Cohesivos por medio de Arenas Volcánicas y Cal Viva”** tuvo como objetivo analizar la estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva. Concluye que, añadió diferentes porcentajes, lo cual según la mezcla aplicada con un 52,6% de arenas volcánicas se logra obtener un CBR de 91.5%.

Esto demuestra que la utilización de aditivos como arenas volcánicas y cal viva logran aumentar la capacidad de soporte del suelo.

### 2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

- o MARY GIOVANNA SANGAMA AMASIFUÉN, con su tema titulada **“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 MARTIN DE ALAO - PROVINCIA DEL DORADO - SAN MARTIN,** en su resumen indica lo siguiente:

La presente tesis tuvo como objetivo Aplicar el aditivo químico Con Aid Súper para atenuar los efectos de plasticidad del material granular de 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. El material a utilizar en el desarrollo del proyecto fue realizar un estudio al material granular utilizando un aditivo químico llamado CON AID SUPER para verificar el nivel de mejoramiento de la sub base del terreno, y de este modo obtener una mejora en la conservación de la superficie de rodadura, con el fin de dar el cumplimiento al método experimental.

Con los resultados obtenidos se pretende incentivar las posteriores investigaciones de la gran gamma de aditivos químicos que existen en el medio y bajo condiciones determinadas para poder proponer su utilización en el mejoramiento de suelos con alta plasticidad. Se constató según el estudio de mecánica de suelos realizado, el aumento del valor de soporte relativo y de la resistencia, además también se confirmó una mejoría en los resultados de las pruebas de CBR, logrando un aumento de hasta el 100% en el material con aditivo.

## **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).

A continuación, se describen los suelos más comunes identificados por los Ingenieros Civiles son los siguientes: (Crespo Villalaz, 2004).

### **2.2.2 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 2.00 mm.

### **2.2.3 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.

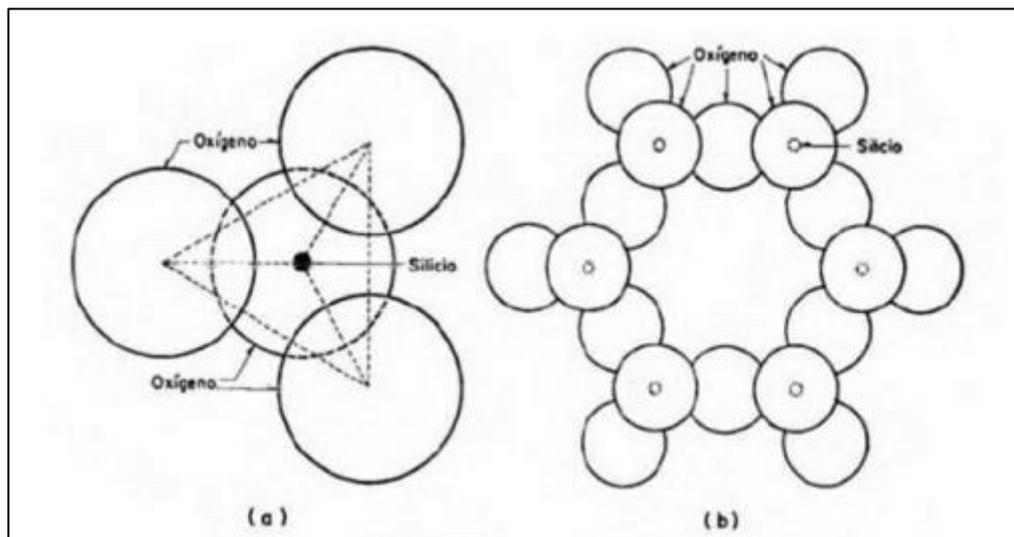
### **2.2.4 LIMOS**

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 0.005 mm. Pueden ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos.

### 2.2.5 ARCILLAS

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. Algunas entidades consideran como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm (Castillo, 2018).

*Ilustración 1: Composición química de la arcilla*



Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2017

### 2.2.6 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 (Braja M., 2015).

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 (Ministerio de Transportes, 2013).

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  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.
- 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. En la Tabla N°01 nos recomiendan seleccionar un tipo de estabilizador a partir del tipo de suelo. Una vez seleccionado el tipo de estabilizador en la Figura N°02 nos resumen algunas sugerencias para poder aplicar el tipo de estabilizador seleccionado.

**Tabla 1: 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	No debe exceder el 30% en peso 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)

**Tabla 2: Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.**

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO <sup>(1)</sup>	DOSIFICACIÓN <sup>(2)</sup>	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) <sup>3</sup>	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO <sup>2</sup> < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 20% Abrasión < 50% Dureabilidad (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) C <sub>u</sub> <sup>(4)</sup> - AFs 15% - AGs 12% Dureabilidad (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Mg - AFs 15% - AGs 18%	2-12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A-3 Pasante malla N°200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equi.Arenas < 40% CMO <sup>2</sup> < 1.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.6% Abrasión < 50% Dureabilidad (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) C <sub>u</sub> <sup>(4)</sup> - AFs 10% - AGs 12% Dureabilidad (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Mg - AFs 15% - AGs 18%	4-8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado a Illinois.
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2, A-3, A-4, A-5 y A-6 10% ≤ IP ≤ 50% CMO <sup>2</sup> < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	2-8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, A-3 IP ≤ 15% CMO <sup>2</sup> < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 3088 ASTM E534 MTC E 1109	A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO <sup>2</sup> < 3.0% Abrasión < 50%	50-80 kg/ m <sup>2</sup>	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO <sup>2</sup> < 3.0% Ph: mínimo 5 Abrasión < 50%	50-80 kg/ m <sup>2</sup>	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 3088 MTC E 1109	A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO <sup>2</sup> No debe contener Abrasión < 50% % < N°200: 10-35%	1L/30-33 m <sup>2</sup>	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Acetatos sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limas muy plásticas CMO <sup>2</sup> < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: (Ministerio de Transportes, 2013)

(1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8” Tamaño máximo:2”, debe carecer de restos vegetales Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto.

(2) CMO: Contenido de materia orgánica.

(3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: formula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado.

(4) Para altitudes mayores a 3000 msnm.

### 2.2.6.1 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

*Tabla 3: Tipos de Estabilización de Suelos*

<b>Tipos de estabilización</b>	<b>Características y Procedimientos</b>
<b>Estabilización Mecánica</b>	Este tipo de estabilización utiliza la compactación para lograr reducir el volumen de vacíos presentes en el suelo sin cambiar su estructura y composición.
<b>Estabilización por Combinación de Suelos</b>	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.
<b>Estabilización por Sustitución de suelos</b>	<p><b>Primer caso;</b> 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.</p> <p><b>Segundo caso;</b> consiste en la remoción total existente de acuerdo al espesor de reemplazo, una vez de excavar al espesor establecido, se conforma y se compacta .</p>

---

### Estabilización Química

**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.

---

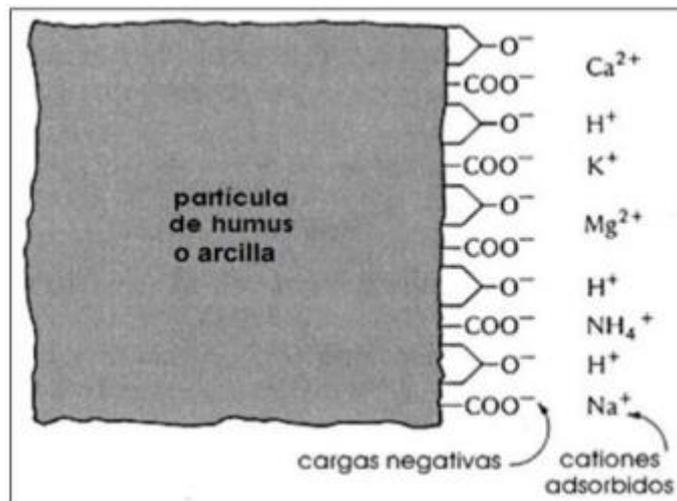
Fuente: Elaboración Propia – MINISTERIO DE TRANSPORTE - 2013

## 2.2.7 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 (Castillo,2018).

En ciertas reacciones químicas la ionización ocurre por transferencia de cationes, como se aprecia en la figura N°03:

**Ilustración 2: Reacción química por ionización**



Fuente: Castillo, 2018

Existe una gran importancia de capacidad de intercambio ya que se puede mejorar en los siguientes aspectos:

- o Interviene en los procesos de floculación.
- o dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- o Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

## **2.2.8 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 (Proestech, 2011).

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 (Proestech, 2011).

### **2.2.8.1 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

### **2.2.8.2 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.

### **2.2.9 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. (TDM, 2011).

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%

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.

### **2.2.9.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

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

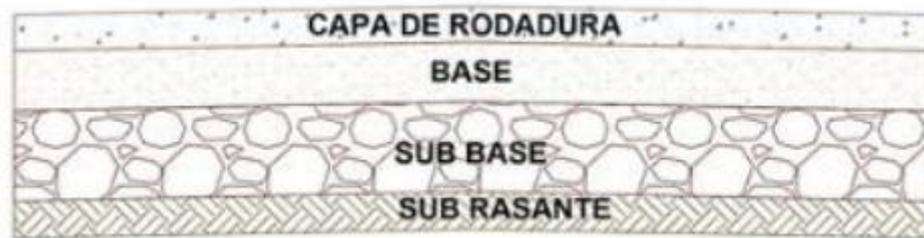
- No inflamable.
- No corrosivo.
- No peligroso.
- No tóxico.
- Biodegradable.
- Aniónico activo (%) = 23 como mínimo (Método Hyamine).
- Contenido de sólidos (%) = 24 como mínimo (a 110° C).
- PH = 0,45 ± 0,15 (No corrosivo a dilución de trabajo).

- o Viscosidad a 25° C =  $750 \pm 100$ .
- o Peso específico a 25° C =  $1,03 \pm 0,00$

### 2.2.10 PAVIMENTO

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura, las cuales se apoyan sobre el suelo natural o subrasante como se muestra en la Figura N°04 (Ministerio de Transportes, 2013).

*Ilustración 3: Estructura tradicional del pavimento*



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

#### 2.2.10.1 CAPA DE RODADURA

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

#### 2.2.10.2 BASE

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

### 2.2.10.3 SUB BASE

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento.

### 2.2.10.4 SUB RASANTE

Es la capa del suelo que deberá ser preparado y compactado previamente, para luego colocar la estructura del pavimento. La subrasante tiene como función soportar la estructura completa del pavimento; por ello, el suelo debe contar con características aceptables, el cual será compactado en capas de tal forma que constituyan un cuerpo estable en óptimo estado, con el fin de evitar que esta se vea afectada por la carga de diseño proveniente del tránsito.

Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría corresponde según la Tabla N°03

*Tabla 4: Subrasante*

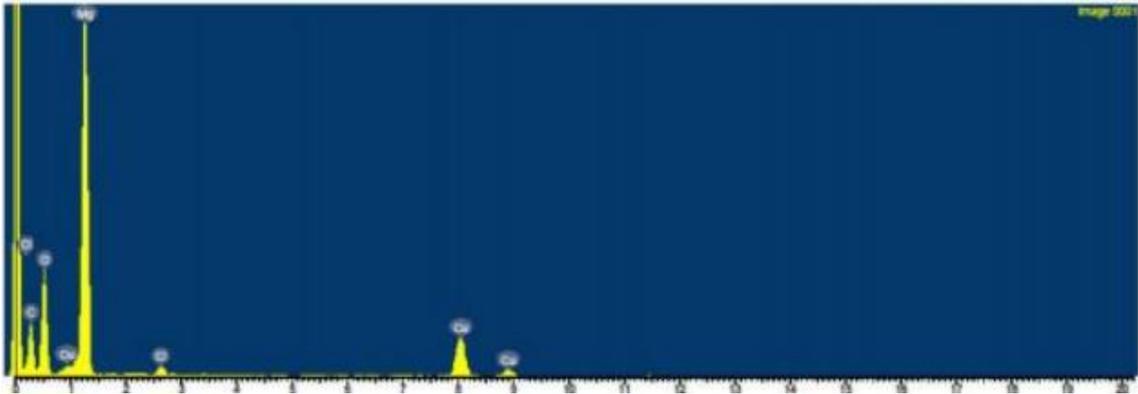
<b>Categorías de Subrasante</b>	<b>CBR</b>
$S_0$ : Subrasante Inadecuada	$\text{CBR} < 3\%$
$S_1$ : Subrasante Pobre	De $\text{CBR} \geq 3\%$ A $\text{CBR} < 6\%$
$S_2$ : Subrasante Regular	DE $\text{CBR} < 6\%$ A $\text{CBR} < 10\%$
$S_3$ : Subrasante Buena	DE $\text{CBR} \geq 10\%$ A $\text{CBR} < 20\%$
$S_4$ : Subrasante Muy Buena	DE $\text{CBR} \geq 20\%$ A $\text{CBR} < 30\%$
$S_5$ : Subrasante Excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$

### **2.2.11 ANÁLISIS QUÍMICOS POR EDS (ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X)**

(S.T.I, 2012) Explica que el EDS mide la energía de los rayos X. Los rayos X son una forma de radiación electromagnética de longitud de onda variable entre 0.02 y 100 Å. que se producen cuando partículas cargadas de alta energía, como los electrones, aceleradas a 30.000 V, colisionan con la materia. La longitud de onda de los rayos X es, en general. Mucho más pequeña que la de la luz visible y por ello tienen gran poder de penetración y son capaces de ionizar gases o ennegrecer una placa fotográfica. Los electrones son una radiación ionizante, son capaces de arrancar electrones de las capas más internas de los átomos con los que interaccionan. El espectro está formado por los picos de los rayos X característicos, superpuestos en un fondo de radiación continua.

Las arcillas y en general la mayoría de los materiales cerámicos, se presentan y usan en forma de finos polvos. Que consisten en un gran número de cristales muy pequeños. El método de la difracción de rayos X es principalmente un método para identificación de minerales. El trabajo de difracción de rayos X con minerales del grupo de las arcillas, involucra un número de dificultades mayores que para otros grupos de minerales. Los minerales del grupo de las arcillas, normalmente son pobremente cristalizados y presentan tamaño de grano extremadamente pequeño: de ahí que las reflexiones sean más amplias, las intensidades más bajas y que haya menos reflexiones medibles (se favorecen las de los planos basales, dada su estructura en hojas). La estructura de las arcillas, con frecuencia se encuentran "desordenadas", y es por ello que los registros provenientes de la difracción de los rayos X son variables y algunos tan difusos que son difíciles de interpretar. La información se registra en una cinta de papel donde se inscriben los picos de la reflexión procedentes de la muestra. En el registro es posible medir directamente el ángulo  $2\theta$  en el cual se ha producido la reflexión. La altura de los picos es directamente proporcional a la intensidad de la reflexión que los causó (Ver Figura N°05).

**Ilustración 4: Difracción de rayos X**



Fuente: García, 1997

### **2.2.12 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 (Choque, 2012).

#### **2.2.12.1 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.

- o Carreteras con superficies estabilizadas con materiales de origen industrial

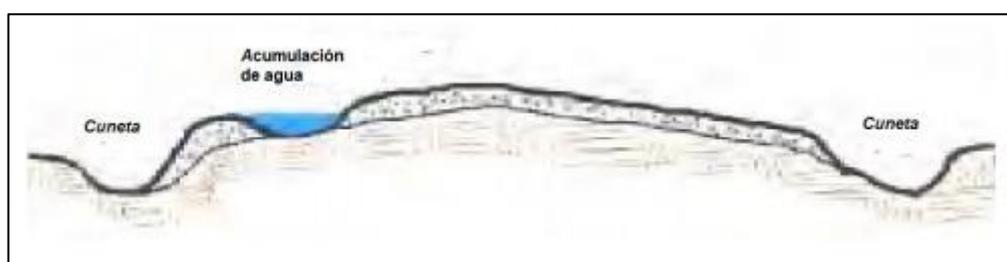
### 2.2.12.2 DETERIOROS EN CARRETERAS SIN PAVIMENTAR

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 (Choque, 2012).

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 (Ver Figura N°06)

*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  
(Ver Figura N°07)

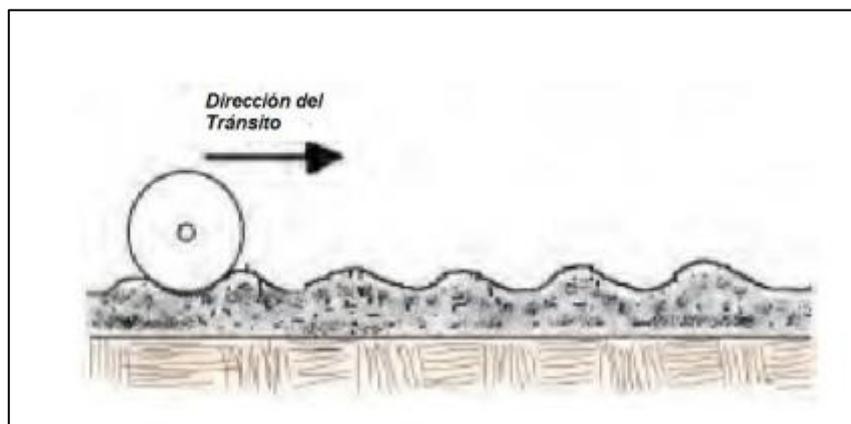
**Ilustración 6: Drenaje inadecuado**



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 (Ver Figura N°08).

**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 (Ver Figura N°09)

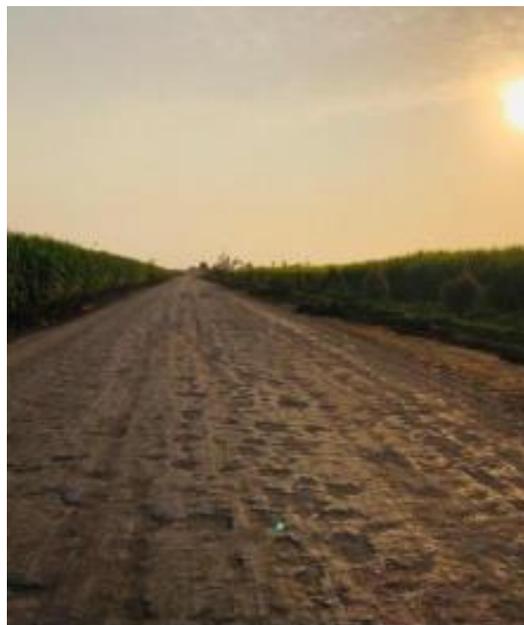
**Ilustración 8: Generación de Polvo en la vía**



Fuente: Fotografía Propia de vía

**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 (Ver Figura N°10)

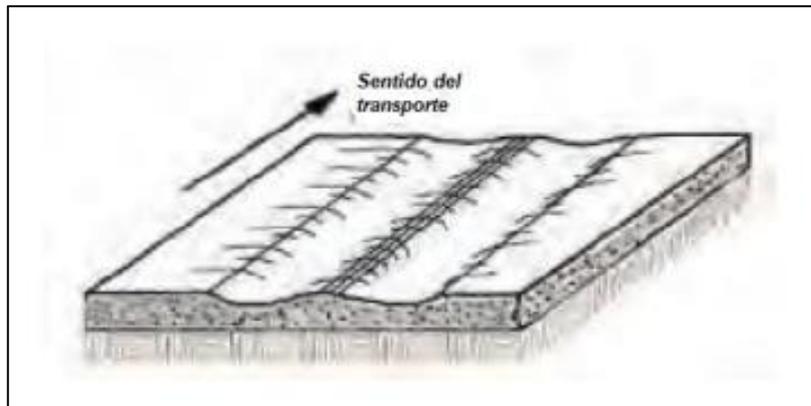
**Ilustración 9: Presencia de baches en la vía**



Fuente: Fotografía Propia de vía

**Surcos de rueda o Ahuellamientos:** son depresiones que se dan longitudinalmente al eje del camino. Este ocurre por la deformación permanente de la base o baja capacidad pórtate (Ver Figura N°11)

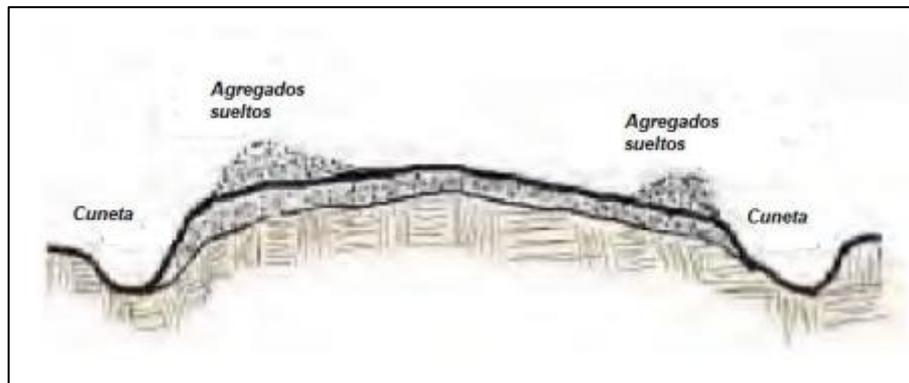
**Ilustración 10: Ahuellamientos**



Fuente: Coronado, 2000

**Segregación de agregados:** se genera por el continuo paso de los vehículos en la superficie de circulación, generando la acumulación de los agregados gruesos en los surcos de las ruedas y algunas veces en los bordes de la vía. La principal causa es la falta de aglutinantes en la composición de las mezclas en los materiales (Ver Figura N°12)

**Ilustración 11: Pérdida de agregados**



Fuente: Coronado, 2000

## **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 una propuesta de innovación y su influencia mejoraría la sub rasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto?

Aplicación de aditivos PROES y CONAID con las dosificaciones establecidas sería la propuesta de innovación.

#### **3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS**

¿De qué manera una propuesta de innovación ayudará en la disminución del costo para la mejora de la subrasante de la carretera

Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto?

¿De qué manera la propuesta de innovación ayudará en la durabilidad de la subrasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto?

### **3.3 OBJETIVOS**

#### **3.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta de innovación y su influencia para mejorar la sub rasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto.

#### **3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Elaborar una propuesta de innovación que ayude en la disminución del costo para el mejoramiento de la subrasante, de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.
- Elaborar una propuesta de innovación que ayude en la durabilidad de la subrasante, de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

Mediante el aditivo a utilizar para esta investigación de propuesta se plantea determinar el efecto de los aditivos PROES y CONAID, para mejorar la subrasante e base a su capacidad portante del material (CBR), donde se estaría evaluando y comparando los aditivos para su aumento de CBR y la resistencia para la compresión simple no confinada.

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

En el Perú son las vías rurales o vecinales las que posibilitan la conexión entre las zonas más alejadas. Siendo estas vías las que conforman el Sistema Nacional de Carreteras del país representando el 63% de la longitud

total incluida las carreteras no pavimentadas (Lazarte, 2016). Uno de los problemas más significativos que encontramos en los caminos vecinales es la presencia de suelos arcillosos, lo cual se deforman y toma consistencia plástica a los cambios de contenido de humedad (TDM Grupo, 2016). Ante este problema, se debería tomar acciones a corto plazo lo cual sería impulsar la utilización de las soluciones económicas que consiste en la aplicación de estabilizadores de suelos a fin de que la superficie de rodadura estable.

Las estabilizaciones de suelos se realizan con diversos materiales, siendo una de las más usadas la estabilización con cal, ya que logra reducir la plasticidad y es económica; por otra parte, la estabilización con cemento Portland que permite incrementar la resistencia y disminuir la plasticidad del suelo, utilizándose generalmente un gran porcentaje de este. El cloruro de sodio es otro elemento usado para la estabilización, ya que proporciona al suelo un aumento en su resistencia y tiene un buen comportamiento ante la congelación en zonas heladas, pero debido a que es una sal, este se considera poco durable (De la Cruz y Salcedo, 2016).

Por otro lado, existen otros estabilizadores químicos, los cuales de igual manera sirven para mejorar y mantener el contenido de humedad, aumentar la cohesión, impermeabilizar y ser agente estabilizador de suelos no deseados. De esta manera, se confirma que las estabilizaciones químicas mejoran las características mecánicas del suelo, asegurando su permanencia en el tiempo. Dentro de la estabilización química, existe una rama que se denomina la estabilización iónica, la cual se encarga de generar un efecto electro – químico en el suelo tratado mejorando los parámetros tratados estructuralmente del terreno.

La investigación realizada tiene como finalidad dar a conocer el funcionamiento de los aditivos iónicos PROES y CONAID, utilizando las dosificaciones indicadas en sus fichas técnicas proporcionadas por sus proveedores respectivamente. Una de las ventajas de trabajar con este tipo de aditivos, es que, mediante la compactación mecánica, se aumenta el porcentaje de CBR, impidiendo así la formación de barro, baches y polvo,

proporcionando caminos impermeables, indeformables y eliminando las mantenciones periódicas de las carreteras y reduciendo costos (RMS, s.f.).

Por otra parte se conoce que en nuestro país existen gran cantidad de vías en las que su suelo no cumple con los requisitos para su uso como estas, tal es el caso del suelo correspondiente a la vía de acceso al centro poblado Barraza, en donde se cuenta con un suelo limo – arcilloso, el cual será ensayado para obtener datos confiables y determinar que tanto se podría mejorar las propiedades físicas y mecánicas de su suelo, ya que este es apropiado para la aplicación de los aditivos anteriormente mencionados.

Para determinar las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de laboratorio como Proctor Modificado, CBR y compresión simple no confinada, los cuales nos permitirán comparar las resistencias entre la muestra de suelo natural y la muestra con los dos aditivos, obteniendo así cuál de ellos presenta mejor comportamiento y por ende mejores resultados. Se conoce que cuando se presentan subrasantes de baja capacidad portante en carreteras, generalmente solo se consideran dos opciones, una de ellas es mejorar el suelo y la otra consiste en sustituir el suelo existente, generando así mayores costos y uso de mayores tiempos en obra; yendo contrariamente a lo que actualmente se busca que es minimizar consideraciones económicas, ambientales y técnicas (Choque, 2012).

Finalmente, es importante recalcar que estos productos han sido utilizados en nuestro país por diferentes entidades públicas y privadas, demostrando efectividad en el comportamiento del suelo. Es por ello, que, al analizar el comportamiento de ambos aditivos se aportaría a las empresas el tener una alternativa de solución al encontrarse con este tipo de suelo.

### **3.5 LIMITACIONES**

- o Realizar más ensayos de CBR ya que los moldes disponibles eran limitados debido al uso continuo de otros tesis y estudiantes.
- o Insuficiente espacio y tiempo en el Laboratorio de Suelos, para realizar los ensayos, ya que existen horarios limitados para trabajar.

### 3.6 HIPÓTESIS

La propuesta de innovación contribuirá significativamente en la mejora de la subrasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

Mediante el uso de los aditivos PROES y CONAID líquido y solido (cemento portland tipo MS) se puede aumentar la Capacidad de Soporte (CBR) de la subrasante en la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

### 3.7 VARIABLES

*Tabla 5: Hipótesis*

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de Análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Mediante el uso de los aditivos PROES y CONAID líquido y solido (cemento portland tipo MS) se puede determinar el efecto en la Capacidad de Soporte (CBR) de la subrasante	1. Tipos de Aditivos. 2. Dosificación de los aditivos.	Capacidad Portante (CBR)	aumentar	Barraza, Laredo-La Libertad	2018

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.7.1 Identificación de las variables

**Variable Independiente:**

Propuesta de innovación.

**Variable dependiente:**

Mejora de la sub rasante.

### 3.7.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 6: Operacionalización de variables**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
<b>Independiente:</b> Aditivos PROES y CONAID .	<b>PROES:</b> Es un aditivo líquido que genera un ambiente ácido que permite la ionización de las partículas, aumentando la cohesión y disminuyendo el efecto del agua sobre las arcillas en forma permanente. Es aplicado con un aditivo sólido, que debe ser un filler activo como el cemento, la cal o cenizas, cumple la función de floculante y aglomerante, al incorporar cargas eléctricas de signo opuesto a las que se encuentran libres las arcillas.( CMPC, 2016)	Dosificación de Estabilizador	Aditivo Proes: 0.35 Aditivo Proes + Cemento: 0.30 + 50 kg/m <sup>3</sup>	L/m <sup>3</sup>
	<b>CONAID:</b> Estabilizador iónico de suelos, con una formulación química compleja, donde uno de los componentes activos es un aceite sulfonado que provee la reacción química para repeler el agua de los minerales de arcilla.( TDM, s.f)		Aditivo Conaid : 0.05 Aditivo Conaid + Cemento: 0.05 + 50 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Dependiente:</b> Capacidad de Soporte de la Subrasante.	<b>Capacidad Portante de la subrasante:</b> Se determina a través del ensayo de CBR que mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (NTP,1999)	Capacidad Portante del Suelo (CBR)	CBR al 0.1"	CBR

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 4.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo descriptivo

#### 4.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación corresponde a un estudio descriptivo cuyo esquema está dedicado al proceso constructivo de la carretera.

El Diseño Experimental Bifactorial, 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.

*Tabla 7: Matriz de diseño de Variable Independiente*

		a: Tipos de aditivos		
			a1	a2
Dosificación de los aditivos	0.35 L/m <sup>3</sup>	<b>b1</b>	a1b1	a2b1
	0.30 L/m <sup>3</sup> +			
	50kg/m <sup>3</sup>	<b>b2</b>	a1b2	a2b2
	0.05 L/m <sup>3</sup>	<b>b3</b>	a1b3	a2b3
	0.05 L/m <sup>3</sup> + 2000 kg/m <sup>3</sup>	<b>b4</b>	a1b4	a2b4

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2 UNIDAD DE ESTUDIO

Aditivos Iónicos.

### 4.3 POBLACIÓN

El conjunto de todas las carreteras de la provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

**Tabla 8: Población de probetas**

Aditivos	Dosificación	Ensayos mecánicos	
		CBR	Compresión Simple
Suelo Natural	0.00	4	8
Proes	0.35 L/m <sup>3</sup>	4	8
	0.30 L/m <sup>3</sup> +	4	8
	50 kg/m <sup>3</sup>	4	8
Conaid	0.05 L/m <sup>3</sup>	4	8
	0.05 L/m <sup>3</sup> +	4	8
	2000 kg/m <sup>3</sup>	4	8
Subtotal		20	40
<b>Total</b>			<b>60</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3. MUESTRA

Construcción de la carretera Yurimaguas – Munichis – Alto Amazonas – Loreto.

La muestra es no probabilística, debido a que la muestra se seleccionará a base del conocimiento y juicio de los investigadores. En la presente tesis se tomarán los criterios dados en el Manual de Carreteras. Sección Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes, 2013). En este caso se tiene la Carretera de Bajo Volumen de Tránsito, A continuación, se detalla los parámetros dados por el MTC con el objetivo de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante, en la Tabla.N°08.

**Tabla 9: Número de Calicatas para Exploración de Suelos**

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 calicata x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada

Fuente: Manual de Carreteras. Sección Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes, 2013)

Por consiguiente, se detalla las muestras que se extraerán para los ensayos de CBR según la Tabla N°09.

**Tabla 10: Numero de ensayos CBR**

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Nº CBR</b>
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq 200$ veh/día, de una calzada.	Cada 3 Km se realizará un CBR.

Fuente: Manual de Carreteras. Sección Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes, 2013)

Para la presente tesis se realizaron 8 calicatas por criterio profesional y geotécnico. Se obtienen 4 réplicas por estudio preliminar en diferentes zonas, como en la investigación se tienen dos niveles de estudio:

- o tipos de aditivo: PROES y CONAID.
- o 4 dosificaciones de los aditivos:
  - 0.35 L/m<sup>3</sup>
  - 0.30 L/m<sup>3</sup> + 50 Kg/ m<sup>3</sup> cemento Portland Tipo MS
  - 0.05 L/m<sup>3</sup>
  - 0.05 L/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> cemento Portland Tipo Ms.

## **CBR**

Nº muestras = V.I x V.D x Nº réplicas

Nº muestras = 1(4) x 1(1) x 4 réplicas

Nº muestras = 16 muestras

V.I = Variable independiente

V.D= Variable Dependiente.

## **4.2.MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **4.2.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: OBSERVACIÓN**

La observación, se realiza con el fin de conocer las características y situaciones en que se encuentra la vía donde se va a estudiar. Además,

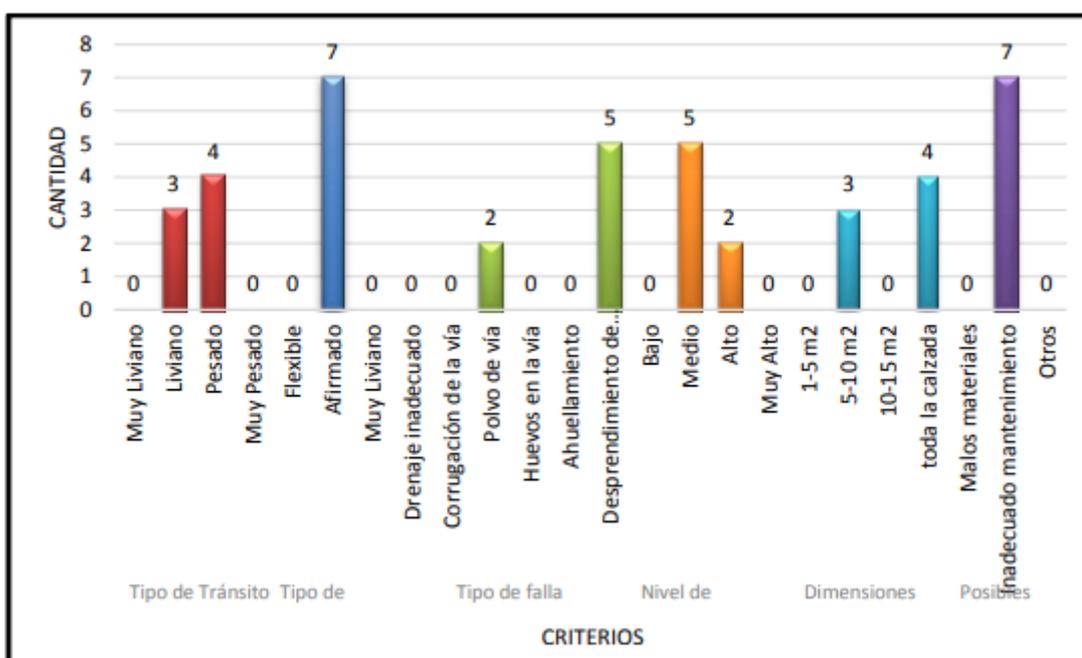
recopilar datos que permite analizar los principales problemas que afectan a la vía en estudio. Es por ello, que para la presente tesis se tomará esta técnica, para determinar los diferentes problemas que presenta la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

#### 4.2.2. INSTRUMENTO: GUÍA DE OBSERVACIÓN

Se realizó una Guía de Observación, como instrumento físico para recolectar y registrar datos, ya que de esta manera se permite mantener la información de manera ordenada.

A través de esta Guía de Observación, se puede determinar los principales problemas que presenta carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

*Ilustración 12: Resumen de Guía de Observación*

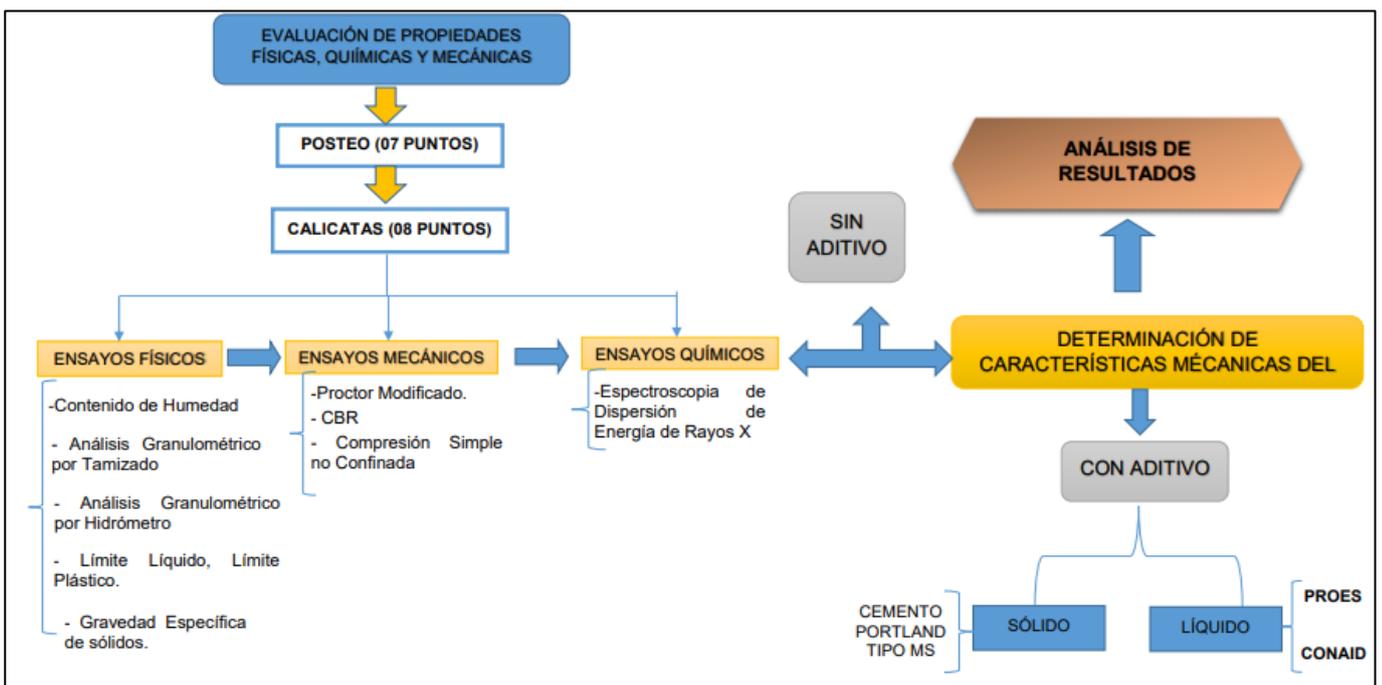


Se optó por emplear un gráfico de barras para agrupar la información recolectada ya que de esta manera podemos determinar las principales características y problemas que presenta la vía en estudio. Asimismo, este gráfico nos permite analizar más a detalle, de acuerdo a las guías de observación realizadas (Figura N°13)

Se observaron en el gráfico, lo siguiente:

- o El tipo de tránsito es liviano y pesado.
- o El tipo de pavimento se encuentra a nivel de afirmado de la carretera en estudio.
- o El tipo de falla en la mayoría es por el desprendimiento de agregados y también por polvo en la vía.
- o El nivel de severidad de fallas es medio y alto.
- o La dimensión de las fallas encontradas en su mayoría es de 5-10m2 y en toda la calzada.
- o Estas fallas generalmente son causadas por inadecuado mantenimiento. Como se puede observar, el estado actual del pavimento flexible es inadecuado por lo que es necesario un mejoramiento de la sub rasante de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto.

#### 4.3.MÉTODOS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS



#### 4.4. PROCEDIMIENTO

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 (Figura n°.14). Estas referencias, se registraron en la Guía de Observación y se tomaron evidencias.

*Ilustración 13: Inspección visual de la vía*



Fuente: Fotografía de la vía

Luego, de observar las condiciones de la vía se procedió a extraer muestras del suelo en diferentes puntos de la vía, para su estudio (Figura N°15). Para ello, se utilizó la “Posteadora”, instrumento para extraer material, en total se hicieron 7 Posteos, teniendo 02 estratos con una profundidad de 1.50 m en toda la longitud de la vía, cada cierto tramo.

A las muestras extraídas a través de la Posteadora y las 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. Para ello, se hizo un cuarteo con el material de los baldes. Esta fue puesta en recipiente para secarlas en el horno a 110°C y luego lavarlas por el tamiz n°200. Se tomó 1000 gramos para Posteos y para las Calicatas 1500 gramos para proceder al tamizado manual. Se agitaron los tamices de manera

circular de 3 a 5 minutos, para luego pesar la muestra retenida en el juego de tamices.

Seguidamente, 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.

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 Óptimo 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 los 6 Km 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.

Después, de los ensayos de CBR, se procedió a hacer el ensayo de Compresión Simple no confinada, este se realizó en la Prensa Multiuso, donde la fuerza del Marco de Carga, se obtiene mediante una Ecuación de ajuste. Para hacer este ensayo se hizo el mismo procedimiento del Proctor, es decir la mezcla ya con los valores que se dieron en ese ensayo para cada

calicata, estos se hicieron con muestra natural. Asimismo, se dejaron los especímenes 7 días curar envueltas en bolsas plásticas para luego de estos días, llevar a la máquina de deformación axial y tomar muestra de su núcleo. Estos datos fueron obtenidos para las calicatas N° 2, 4, 6 y 8.

**Ilustración 14: Ensayo de compresión simple no confinada**



Seguidamente, de calcular las muestras patrón de los ensayos de Proctor Modificado, CBR y Compresión Simple No Confinada, se procedió a realizarse con los aditivos. Para ello se escogió la dosificación de la ficha técnica de los aditivos, lo cual son para PROES: 0.35 L/m<sup>3</sup> sólo aditivo y 0.30 L/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> . Con el aditivo CONAID 0.05 L/m<sup>3</sup> y 0.05 L/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> para todas las muestras. En el caso del CBR, se dejó 7 días los especímenes curar en bolsas plásticas, antes de saturar las 96 horas, de acuerdo al Diseño, Construcción, Mantenimiento y Monitoreo del Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas R.D.N° 003-2015-MTC/14.

En el caso de la Compresión Simple no Confinada se dejaron los especímenes 7 días de curando envueltas en bolsas plásticas para después deformarlo en la Prensa Multiusos. Es así, que se obtuvieron los valores para estos ensayos mecánicos con las dosificaciones dadas de acuerdo a lo establecido en el (MTC E 1104, 2016) que indica “los especímenes compactados puede mantener su temperatura y humedad relativa al 100%

en una cámara húmeda o un recipiente cubierto para un almacenamiento de 7 días”. Para este caso se utilizar bolsas plásticas.

#### **4.4.1. PROCEDIMIENTO 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.

#### **4.4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL SUELO A ESTUDIAR**

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

- o Contenido de humedad ASTM D-2216
- o Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422
- o Análisis granulométrico por Hidrómetro ASTM D-422
- o Limite Líquido ASTM D-4318
- o Limite Plástico ASTM D-4318
- o Clasificación SUCS ASTM D-2487
- o Clasificación AASHTO ASTM D-4328
- o Gravedad Específica de Sólidos en Suelos ASTM D-854
- o Proctor Modificado ASTM D-1557
- o California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883
- o Compresión Simple no Confinada ASTM D-2166

##### **4.4.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD**

Es la relación expresada como porcentaje del peso del agua al peso de los sólidos en una determinada masa del suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).4.6.2.1

Esta humedad se toma del mismo suelo en estado natural.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 1: Contenido de humedad**

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

Donde:

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

W<sub>w</sub> es el peso de agua contenido en el suelo

W<sub>s</sub> es el peso del suelo seco.

Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la Tabla N°11

**Tabla 11: Formato de contenido de humedad**

MUESTRA	TARRO N°	PESO DE TARA (Gr.)		PESO TARA (Gr.)	PESO (Gr.)		HUMEDAD %
		+SUELO HÚMEDO	+SUELO SECO		AGUA	SUELO SECO	
M1							
M2							
M3							
					<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO (%)</b>		

**4.4.2.2. 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 (Cedeño, 2013).

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 n°12)

**Tabla 12: 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 Transportes, 2013)

Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo de Granulometría en la Tabla N°13

**Tabla 13: Formato de Granulometría de agregados**

Tamiz	Abertura (mm.)	Peso Ret. (gr)	% Ret (%)	% Acumulado	% Que Pasa (%)
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.500				
N°4	4.750				
N°10	2.000				
N°16	1.180				
N°20	0.850				
N°30	0.600				
N° 40	0.425				
N°50	0.300				
N° 60	0.250				
N° 80	0.180				
N°100	0.150				
N° 200	0.075				
<b>FONDO</b>					
<b>SUMATORIA</b>					

Fuente: Elaboración Propia

Calculo el % Retenido en la siguiente:

**Ecuación 2: % de retención**

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W \text{ malla} \times 100}{W_1}$$

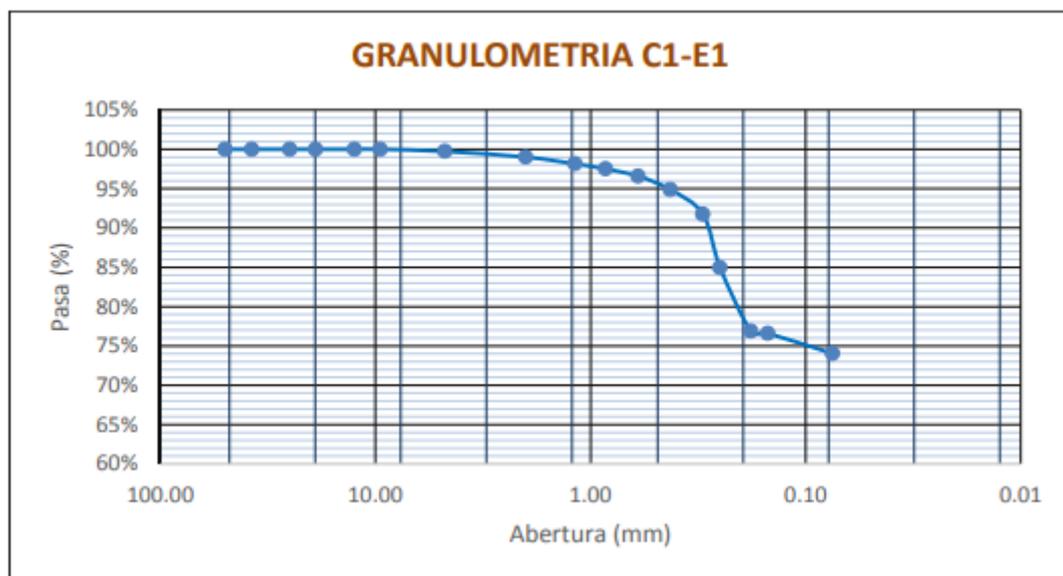
Donde:

W malla: Peso retenido por la malla

W<sub>1</sub> : Peso de la muestra secada al horno

A través del % Que pasa por las diferentes mallas se obtiene la Curva Granulométrica, por la cual en el siguiente Figura N°16 se mostrara de la C-1.

**Ilustración 15: Curva Granulométrica de suelo fino**



Fuente: Elaboración Propia

Según, Quiñones (2004) con respecto a la curva, esta es típica de una Arcilla de baja plasticidad (CL).

**4.4.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDRÓMETRO**

Este ensayo se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un

determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2,00 mm (Nº10) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Los valores son calculados:

**Ecuación 3: cálculo de valores**

$$K = \sqrt{\frac{30 \mu}{980(G - 1)\gamma_w}}$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad dinámica del agua en Poises

$G$  = peso específico de las partículas de suelo.

$\gamma_w$  = peso unitario del agua ( $gr/cm^3$ )

El formato para los cálculos obtenidos en este ensayo de acuerdo al tiempo y al % que pasa vs el diámetro (mm) se muestra en la Tabla Nº13.

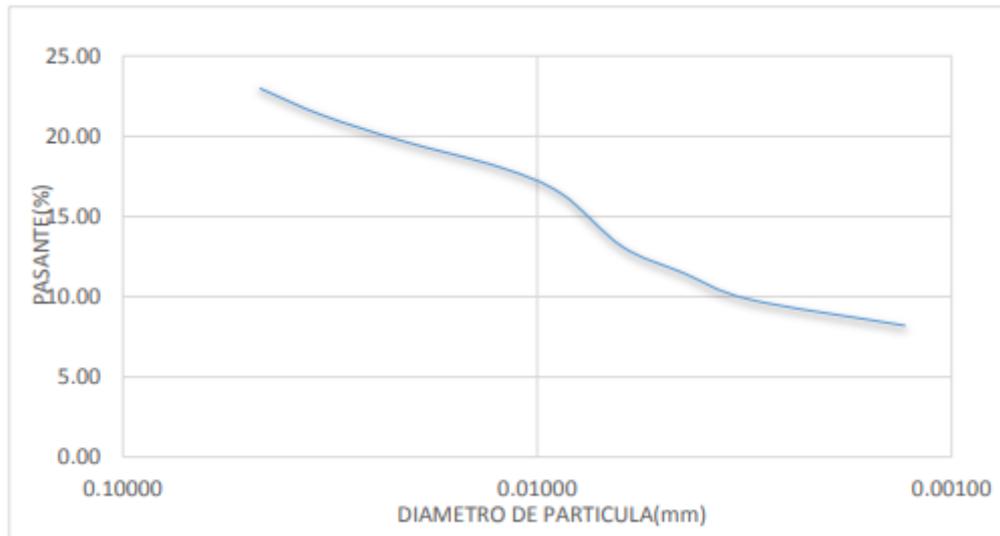
**Tabla 14: Formato del Análisis Granulométrico por Hidrómetro**

TIEMPO(min)	R'	R	T (°C)	Ct	Cd	% QUE PASA	Rcp	L	K	D(mm)
1										
2										
5										
15										
30										
60										
120										
250										
1440										

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra la gráfica del ensayo granulométrico por Hidrómetro de acuerdo al diámetro de la partícula obtenido vs el % que pasa.

**Ilustración 16: Curva Granulométrica de la Hidrometría**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.2.4. 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 (Crespo, 2004).

Los Límites 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).

**Ecuación 4: Cálculo del Límite Líquido**

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

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

A continuación, se muestra el formato para calcular el Límite Líquido y el Límite Plástico de acuerdo a los datos obtenidos en el Laboratorio

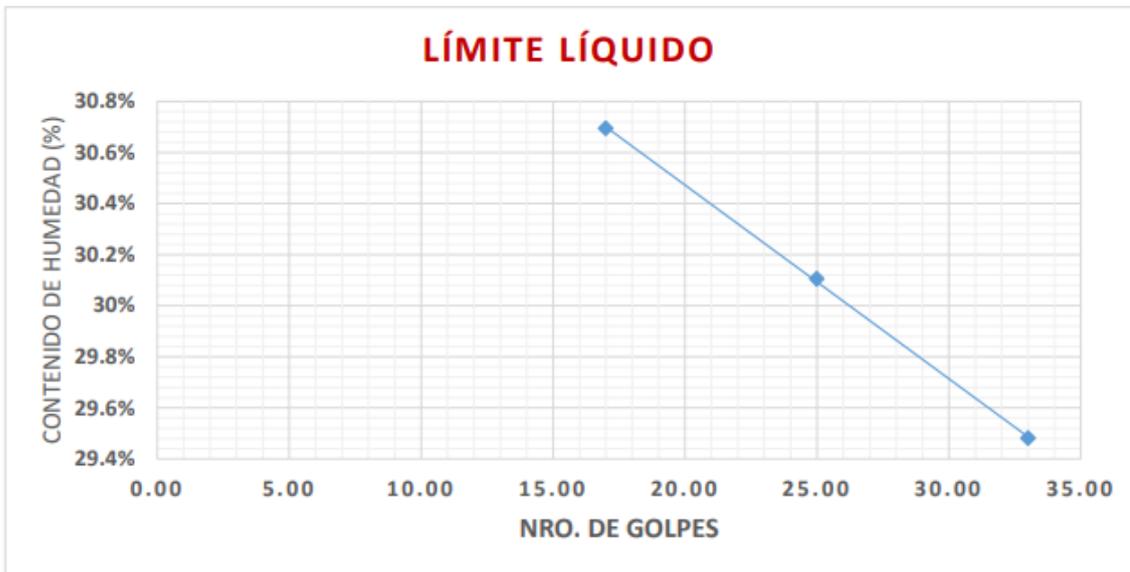
**Tabla 15: Formato del Límite Líquido y el Límite Plástico**

<b>LIMITE LÍQUIDO</b>				<b>LIMITE PLÁSTICO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND:</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
Peso de recipiente o Tara.	gr.						
Peso del recipiente o tara + Muestra húmeda.	gr.						
Peso del recipiente o tara + Muestra seca.	gr.						
Peso del agua	gr.						
Peso de la muestra seca	gr.						
Porcentaje de humedad*	%						
<b>Número de golpes</b>	<b>#</b>						
<b>LL-LP (%)</b>							
<b>INDICE DE PLÁSTICIDAD</b>							

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°17, se muestra el gráfico para hallar el Límite Líquido a los 25 golpes, interceptando en el eje X el número de golpes en diferentes rangos y en el eje Y el contenido de humedad de este ensayo.

**Ilustración 17: Resultados del Límite Líquido**



Fuente: Elaboración Propia

Además, para el potencial de expansión de un suelo puede determinarse mediante los Límites de Atterberg y la succión natural del suelo, empleando los métodos normales del INV se determinan el Límite Líquido INV E-15, Índice de Plasticidad (IP) y la succión del suelo ( $\tau_{nat}$ ) de acuerdo a la Tabla N°15

**Tabla 16: Determinación cualitativamente el potencial expansivo del suelo**

<b>Grado de Expansión</b>	<b>LL %</b>	<b>IP %</b>	<b><math>\tau_{nat}</math> (Ton/pie<sup>2</sup>)</b>
Elevado	> 60	> 35	> 4
Marginal	50 – 60	25-35	1.5 - 4
Bajo	<50	< 25	< 1.5

Fuente: (I.N.V. E - 132, s.f)

#### 4.4.2.5. 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 (Crespo, 2004).

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.

**Ecuación 5: Cálculo de Límite Plástico**

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

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.

**INDICE 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 (Dal Ré Tenreiro, 2001).

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.

**Ecuación 6: Cálculo del Índice de Plasticidad**

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP es el Índice de plasticidad

LL es el Límite Líquido

LP es el Límite plástico

El suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según la siguiente Tabla N°16.

**Tabla 17: 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 Transportes, 2013)

#### 4.4.2.6. CLASIFICACIÓN SUCS

Este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación general a su sistema propuesto en 1942 para la construcción de pistas de aterrizaje.

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 (Crespo, 2004). Estos se muestran en la Tabla N°17 y 18.

El sistema de clasificación SUCS se encuentra detallado en la Tabla N°19

**Tabla 18: 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
Órganico	O	Límite Líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite Líquido bajo (<50)	H

Fuente: (Cedeño, 2013)

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

**Tabla 19: Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo**

<b>SÍMBOLO</b>		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
GW	GRAVAS (>50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos	Bien graduada
GP		< 5%)	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, 2013)

**Tabla 20: Clasificación SUCS (ASTM D-2487)**

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupos con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de Suelos	
				Símbolo de grupo	Nombre del grupo
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla N.º 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N.º 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla N.º 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
	Gravas con finos Más del 12% pasa la malla N.º 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5% y 12% pasa malla N.º 200	Cumple con los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo	
		Cumple con los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
		Cumple con los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
		Cumple con los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas El 50% o	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla N.º 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
Arenas con finos Más del 12% pasa la malla N.º 200		IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
Arenas limpias y con finos Entre el 5% y 12% pasa malla N.º 200		Cumple con los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
		Cumple con los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
		Cumple con los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo	
		Cumple con los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla	
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla N.º 200	Limos y arcillas Limite liquido menor que 50	Inorgánicos IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
		Inorgánicos IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
		Orgánicos Limite liquido-secado al horno < 0.75 Limite liquido-no secado	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite liquido mayor que 50	Inorgánicos IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
		Inorgánicos IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos Limite liquido-secado al horno < 0.75 Limite liquido-no secado	OH	Arcilla orgánica Limo orgánico	
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro				

Fuente: Elaboración Propia - ASTM D248

## SUELOS GRUESOS

Estos suelos se encuentran las gravas (G) y las arenas (S). Si menos de la mitad de la fracción gruesa de un suelo pasa por la malla N° 4, un suelo pertenece al grupo de las gravas; en caso contrario, pertenecerá al grupo de las arenas

## SUELOS FINOS

Los suelos finos son aquellos que pasan al menos el 50% por el tamiz N° 200. Estos vendrían a estar conformados por los limos, arcillas y suelos orgánicos. Estos se dividen a su vez por

el límite líquido que posea. Si es menor de 50%, es decir si el suelo es de compresibilidad baja o media, son de baja plasticidad. Si el límite líquido es mayor al 50%, es decir, que el suelo es de compresibilidad alta, son suelos de alta plasticidad.

## CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS FINOS

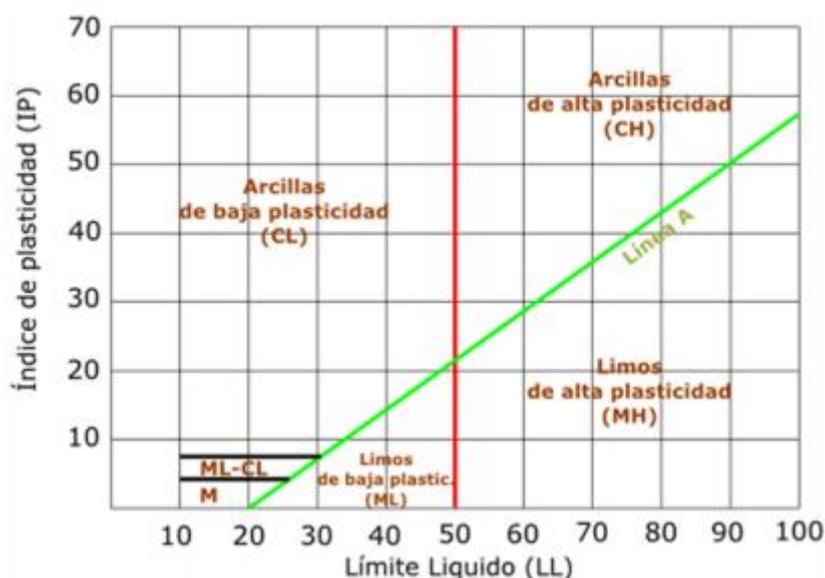
La Carta de Plasticidad de Casagrande Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites

### *Ecuación 7: Cálculo del Límite Líquido*

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

### *Ilustración 18: Carta de Plasticidad*



Fuente: Nacle2, 2012

#### 4.4.2.7. 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 en 1928. 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 (Cedeño, 2013).

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, que es un valor calculado a partir de una Ecuación N° 8:

***Ecuación 8: Cálculo de Índice de grupos***

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

Donde:

F: porcentaje que pasa por el tamiz N° 200

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos, y cuando este salga negativo, se expresará como IG = 0.

El sistema de clasificación AASHTO se encuentra detallado en la Tabla N°20 El índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice  $\geq$  a 20, un suelo no utilizable para caminos. Según la Figura N° 20.

**Tabla 21: 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 Transportes, 2013)

**Tabla 22: Clasificación AASHTO M-145**

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz N.200)							Materiales limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz N.º200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-2-7
Tamizado % que pasa											
N.º10 (2.00 mm)	50 máx.	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N.º40 (425 µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	---	---	---	---	---	---	---	---
N.º200 (75 µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite Líquido	---		---			B		40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx		N.P			B		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos de materiales característicos								Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación				Excelente a bueno				Regular a malo			

*Nota: A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.*

*" El indice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El indice de plasticidad del sugrupo A-7-6 es mayor que LL-30.*

Fuente: Castillo, 2018

#### 4.4.2.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDO EN SUELOS

El peso específico del suelo ( $\gamma_s$ ) está definido como la relación entre el peso de las partículas sólidas del suelo y el peso del agua, considerando el mismo volumen y temperatura.

La gravedad específica de un suelo ( $G_s$ ) está definido como la relación entre el peso unitario del material, en este caso del suelo, y el peso unitario de agua destilada y libre de gas a 4°C. (Castillo, 2018).

**Ecuación 9: Cálculo de la Gravedad Específica de Sólidos**

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_m}$$

Donde:

$\gamma_s$  es el peso específico de los sólidos ( $g/cm^3$ )

$\gamma_m$  es el peso específico del agua destilada a 4°C ( $g/cm^3$ )

Para este ensayo, los datos obtenidos del Laboratorio fueron calculados de acuerdo al formato (Tabla N°21).

**Tabla 23: Formato de la Gravedad Específica de Sólidos**

---

PICNÓMETRO N°
CAPACIDAD PICNÓMETRO $Cm^3$
PESO PICNÓMETRO , g.
PESO PICNÓMETRO + SUELO SECO , g.
PESO SUELO SECO , g. ( $W_s$ )
PESO PICN. + AGUA + SUELO , g. ( $W_1$ )
PESO PICN. + AGUA a C.T. , g. ( $W_2$ )
PESO PICN. + AGUA A TEMP. ENSAYO.
TEMPERATURA DE ENSAYO, ° C
GS A TEMPERATURA ENSAYO
GS A 20 ° C

---

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, se realizó la Tabla de Resumen de la Gravedad Específica (Gs) de acuerdo a las diferentes Temperaturas (T°C). (Tabla N°22).

**Tabla 24: Tabla de Resumen de los Cálculos para la Gs**

<b>DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA Y FACTOR DE CONVERSIÓN "K" PARA VARIAS TEMPERATURAS</b>					
TEMP °C	$\gamma_w$	K	TEMP. °C	$\gamma_w$	K
19					
20					
21					
22					
23					
24					

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.2.9. 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 del mismo, generando un aumento de la densidad del suelo (Castillo, 2018).

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

**Ecuación 10: Ecuación de la 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.

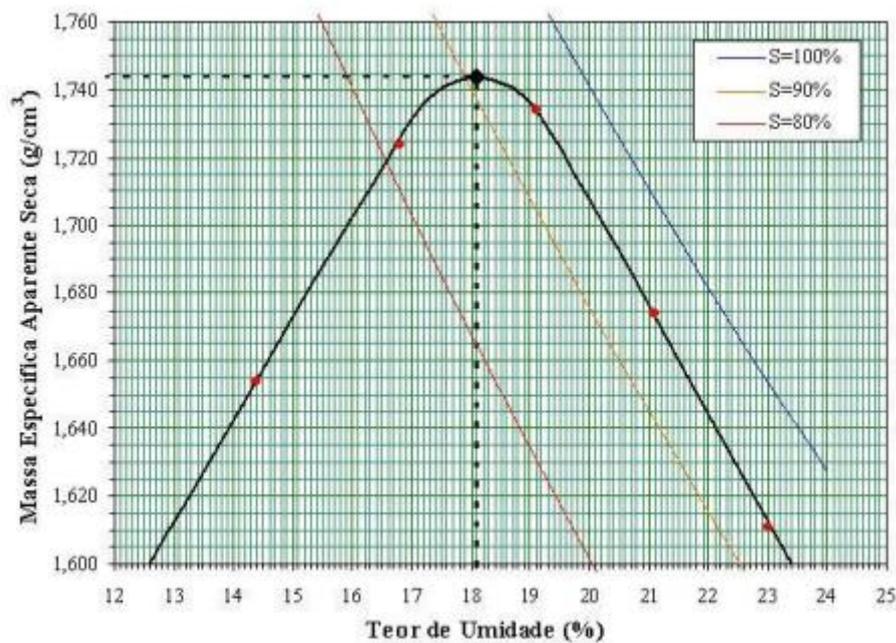
N = número de golpes aplicados por capa.

P = peso del pisón.

H = altura de caída del pisón.

V = volumen del cilindro

**Ilustración 19: Curva de compactación**



Fuente: Santana, 2009

**4.4.2.10. 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 (Castillo, 2018).

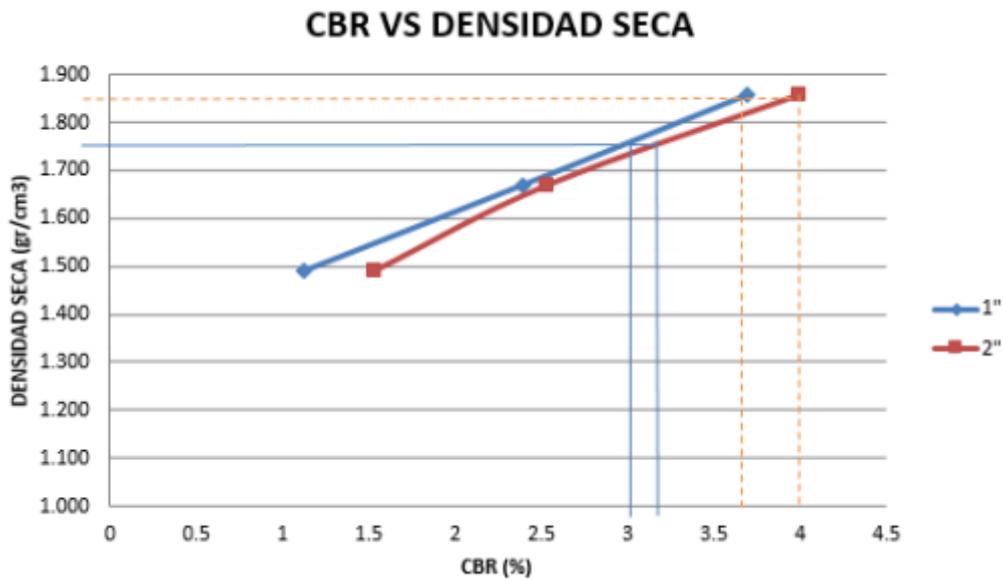
En la siguiente Tabla N°23 se muestra el formato del CBR vs la Densidad, de los datos obtenidos en Laboratorio, y en la Figura N°22 se puede observar el grafico de CBR vs densidad seca para poder determinar a un 100% y 95% cuanto de déficit que tiene el suelo a estado natural, después de obtener su esfuerzo de penetración de 0.1” y 0.2” por cada molde de 12, 25 y 56 golpes. Se tomará el resultado de 0.1” de penetración y a un 95% que es el valor de soporte o resistencia al suelo referido a la máxima densidad seca. Se logró tener un resultado de 3.68% de CBR del suelo natural calificándose como una subrasante pobre (Ministerio de Transportes, 2013).

**Tabla 25: Formato del Ensayo de CBR vs Densidad Seca**

<b>CBR VS DENSIDAD SECA</b>						
<b>ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>MOLDE N°1</b>		<b>MOLDE N°2</b>		<b>MOLDE N°3</b>	
<b>Penetración (")</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>
<b>Esfuerzo Terreno (lb/plg2)</b>	11.27	23.02	23.92	37.94	36.94	59.89
<b>Esfuerzo Patrón (lb/plg2)</b>	1000	1500	1000	1500	1000	1500
<b>CBR (%)</b>	1.13%	1.53%	2.39%	2.53%	3.69%	3.99%
<b>CBR Y DENSIDAD SECA</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>MOLDE N°1</b>		<b>MOLDE N°2</b>		<b>MOLDE N°3</b>	
<b>Penetración (")</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>	<b>01"</b>	<b>02"</b>
<b>CBR (%)</b>	1.13%	1.53%	2.39%	2.53%	3.69%	3.99%
<b>Ds (gr/cm3)</b>	1.49	1.49	1.67	1.67	1.86	1.86
			<b>100%</b>	<b>95%</b>		
Ds Max=	1.85	CBR (0.1")	<b>3.68</b>	<b>3.00</b>		
95% Ds Max=	1.757	CBR (0.2")	<b>3.99</b>	<b>3.29</b>		

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20: Gráfico del CBR vs Densidad Seca



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.2.11. COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA

Este ensayo es únicamente para suelos cohesivos, la prueba de compresión no confinada es para rápida obtención de un valor aproximado de resistencia a la compresión de suelos que poseen suficiente cohesión para poder ser ensayados en el estado no confinado.

Resistencia a la compresión no confinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

Para el cálculo del esfuerzo, con tres cifras significativas, o con una aproximación de 1 kpa (0.01 kg/cm<sup>2</sup>) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

**Ecuación 11: Cálculo de esfuerzo**

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga aplicada dada.

A = Área de la sección promedio correspondiente

En la siguiente Tabla N°24 se muestra la calificación del suelo de acuerdo a los ensayos realizados por la prensa, de acuerdo a los datos obtenidos se clasifica este ensayo.

**Tabla 26: Calificación de la consistencia del suelo**

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/ cm <sup>2</sup>	(kPa)
Muy blanda	< 0,25	( <25)
Blanda	0,25 – 0,50	(25 – 50)
Mediana	0,50 – 1,00	(50 – 100)
Firme	1,00 – 2,00	(100 – 200)
Muy firme	2,00 – 4,00	(200 – 400)
Dura	>4,00	(>400)

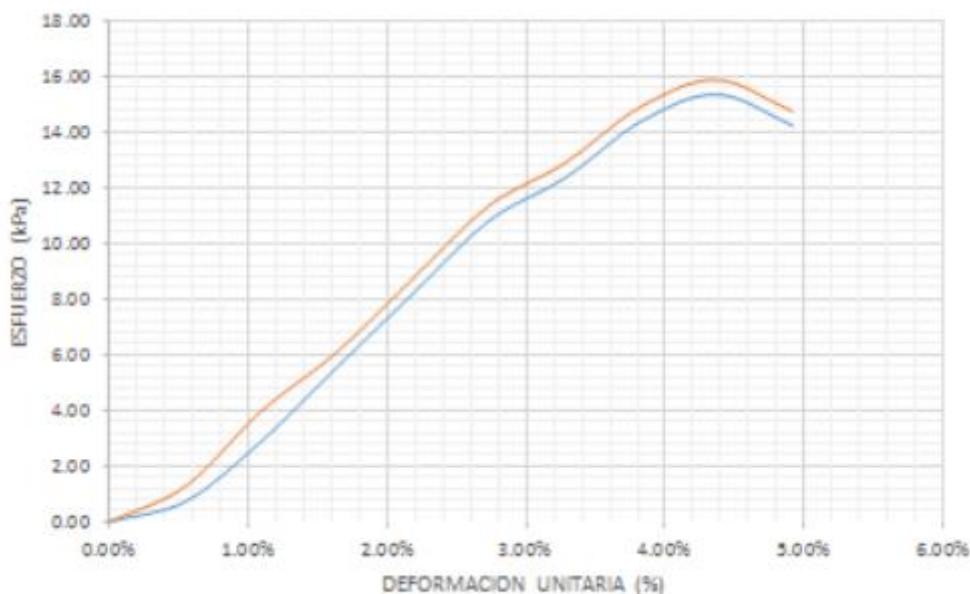
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

El Manual de Ensayos de Materiales” MTC E 121 no indica la cantidad de especímenes que se necesita para realizar este ensayo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Dicha resistencia se emplea también para calificar la consistencia del suelo como:

Mostrándose en las curvas como resultado del ensayo en laboratorio, se tiene un esfuerzo a la compresión de 15kPa definiéndola como un suelo muy blando. Esperando tener mejor resultado con aditivos llegando a una consistencia dura (Figura N°25)

**Ilustración 21: Curva de la Compresión Simple no Confinada**



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.3. 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 Anti salitre.

Las dosificaciones tomadas fueron establecidas por PROES en su ficha de dosificación

#### **4.4.4. 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.

Las dosificaciones tomadas fueron establecidas por CONAID en su ficha de dosificación.

#### **4.4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

##### **4.4.5.1. PRUEBA DE NORMALIDAD**

La prueba de normalidad es cuando los valores de la variable aleatoria dependiente siguen una distribución normal en la población a la que pertenece la muestra. Estas pruebas de hipótesis se definen de la siguiente manera:

$H_0$ = Hipótesis Nula, la variable de la población tiene distribución normal.

$H_1$ : Hipótesis Alterna, la variable de la población es distinta a la distribución normal.

Estas pruebas se utilizan de dos formas: Kolmogorov - Smirnov o Shapiro Wilk, estos se escogen por el número de muestras. En la presente tesis se tiene muestras menores a 50. Por lo tanto, se analiza a través de Shapiro Wilk.

##### **4.4.5.2. ANÁLISIS DE VARIANZA**

El análisis de varianza, o ANOVA, es un método para determinar si dos o más grupos son iguales, si los resultados son similares o parecidos. ANOVA prueba si el valor objetivo de media varía entre combinaciones de categorías de dos entradas. Si la variación es significativa, existe un efecto de interacción (Vicéns, Herrarte y Medina, 2005).

##### **4.4.5.3. HOMOGENEIDAD DE VARIANZA**

Considera la homogeneidad de varianzas, es decir que la varianza es constante (no varía) en los diferentes niveles de un factor, es decir entre diferentes grupos (Salgado, s.f).

#### **TEST DE LEVENE**

Se caracteriza, además de por poder comparar 2 o más poblaciones, por permitir elegir entre diferentes estadísticos de centralidad: mediana (por defecto), media, media truncada. Esto es importante a la hora de contrastar la homocedasticidad dependiendo de si los grupos se distribuyen de forma normal o no.

#### **4.4.5.4. PRUEBA DE TUKEY**

El método de Tukey sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia, la cual se exige que el número de repeticiones sea constante en todos los tratamientos, a través del ANOVA. Además, al realizar las comparaciones múltiples es importante considerar la tasa de error.

Para realizar este procedimiento primero se calcula el valor crítico de todas las comparaciones por pares, luego se obtiene el error estándar de cada promedio, el T (alfa), por último, se calcula la diferencia de las medias al realizar las comparaciones con el valor crítico.

Esta prueba se utiliza cuando el tamaño de muestras seleccionadas es igual en cada grupo, para comparar promedios entre dos grupos y son múltiples las comparaciones (Fallas, 2012).

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO FINO:

#### 5.1.1. GRANULOMETRÍA, CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO

En la Tabla N°26 y 27 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 posteos en los estratos 1 y 2. Por otro lado, en las Tabla N°28 y 29 se muestran los resultados de granulometría para las 8 calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 27: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los Posteos Estrato 1**

N°	CALICATA	PROGRESIVA (Km)	PROFUNDIDAD (m)	GRANULOMETRÍA % 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 28: Cuadro de resumen del ensayo de granulometría y clasificación SUCS y AASHTO, de los posteos para los estratos 2.**

N°	CALICATA	PROGRESIVA (Km)	PROFUNDIDAD (m)	GRANULOMETRÍA % 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 29: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 30: 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 – tramos críticos para mejorar

### **5.1.2. LÍMITE LÍQUIDO (LL), LÍMITE PLÁSTICO (LP) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP).**

En las Tabla N°30 y 31 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°32 y 33 se muestran los resultados para las calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 31: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 32: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 33: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 34: 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 – tramos críticos para mejorar

### 5.1.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDRÓMETRO

En la Tabla N°34 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 35: Cuadro de resumen del ensayo de Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO</b>					
<b>Nº</b>	<b>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 – tramos críticos para mejorar

#### **5.1.4. CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO**

En las Tablas N°35 y 36 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°37 y 38 para las 8 calicatas en los estratos 1 y 2.

**Tabla 36: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 37: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 38: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 39: 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 – tramos críticos para mejorar

### 5.1.5. CONTENIDO DE HUMEDAD

En la Tabla N°39 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°40 se muestra para las Calicatas estrato 1 y 2.

**Tabla 40: 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 – tramos críticos para mejorar

**Tabla 41: 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 – tramos críticos para mejorar

### 5.1.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS

En la Tabla N°41 se muestran los resultados de Gravedad Específica de sólidos (NTP 339.131) de las 7 calicatas.

**Tabla 42: 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 – tramos críticos para mejorar

### 5.1.7. PROCTOR MODIFICADO

En la Tabla N°42 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 43: 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 – tramos críticos para mejorar

### 5.1.8. ADICIÓN DEL ADITIVO PROES Y CONAID: RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO CON LA DOSIFICACIÓN

La Tabla N°43 se muestra los resultados del ensayo de Proctor Modificado con los aditivos PROES (0.35 L/ m3) y CONAID (0.05 L/ m3) sólo Líquido en las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8). Asimismo, en la Tabla N°44 para los Aditivos Líquidos PROES (0.30 L/ m3 + 50 kg/m3) y CONAID (0.05 L/ m3 + 50 kg/m3) de Cemento Portland Tipo Ms.

**Tabla 44: 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/cm3)	2.08	2.03	2.433
		Hum. Optima	12.10	12.00	0.830
C-4	2+608	Máx (gr/cm3)	2.06	2.05	0.487
		Hum. Optima	13.98	12.5	11.178
C-6	4+416	Máx (gr/cm3)	2.09	2.06	1.446
		Hum. Optima	13.60	12.23	10.608
C-8	5+783	$\rho$ (gr/cm3)	2.15	2.06	4.276
		Hum. Optima	13.10	12.00	8.765

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 45: Cuadro resumen del Ensayo Proctor Modificado acorde a los Aditivos Proes y Conaid con Cemento Portland Tipo MS**

<b>CALICAT A</b>	<b>PROGRESI VA</b>	<b>PARÁMETR OS</b>	<b>PROES Líquido + Cemento</b>	<b>CONAID Líquido + Cemento</b>	<b>% DE DIFERENC IA</b>
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

### 5.1.9. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

En la Tabla N°45 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 46: 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

### 5.1.10. ADICIÓN DEL ADITIVO PROES Y CONAID: RESULTADOS DE CBR CON LA DOSIFICACIÓN

La Tabla N°46 se muestra los resultados del ensayo de CBR con los aditivos PROES (0.35 L/ m3) y CONAID (0.05 L/ m3) sólo Líquido en las 4 calicatas (C-2, C-4, C-6 y C-8). Asimismo, en la Tabla N°47 para los Aditivos Líquidos PROES (0.30 L/ m3 + 50 kg/m3) y CONAID (0.05 L/ m3 + 50 kg/m3).

**Tabla 47: 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 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 al 95% a 0.1"	%	12	10	13.575
		CBR al 95% a 0.2"		12	12	2.490
C-6	4+416	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 al 95% a 0.1"	%	12	10	17.195
		CBR al 95% a 0.2"		14	12	18.898

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 48: 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

### 5.1.11. COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA

En la Tabla N°48 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 49: 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

### 5.1.12. ADICIÓN DEL ADITIVO PROES Y CONAID: RESULTADOS DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA CON LA DOSIFICACIÓN

La Tabla N°49 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°50 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 50: 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

**Tabla 51: 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

### 5.1.13. ANÁLISIS QUÍMICO POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE EDS (ESPECTROSCOPIA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X)

De acuerdo a la Tabla N°51, se ha considerado tomar el suelo natural de la Calicata N°3 ubicada en el km 1+500 para el análisis de este ensayo. Se realizó la mezcla del suelo natural con aditivo PROES + Cemento y CONAID + Cemento siendo estas las más favorables en los ensayos de CBR y Compresión no Confinada.

**Tabla 52: Análisis de EDS**

ELEMENTO	ÓXIDO	% ÓXIDO		
		SUELO NATURAL	SUELO +PROES+ CEMENTO	SUELO +CONAID+ CEMENTO
C	CO2	29.79	32.21	53.65
O				
Na	Na2O	1.33	1.07	0.85
Mg	MgO	1.75	1.71	1.45
Al	Al2O3	15.7	15.38	10.88
Si	SiO2	40.54	39.65	25.87
K	K2O	1.25	1.31	0.97
Ca	CaO	1.6	2.15	1.54
Ti	TiO2	0.72	0.59	0.46
Mn	MnO	0.19	0.15	-
Fe	FeO	7.13	5.78	4.33
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: Universidad Nacional de Trujillo

#### 5.1.14. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ANÁLISIS DE DATOS

**Tabla 53: 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: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 54: 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: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 55: Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos**

Líquido				
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: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 56: 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: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 57: Análisis de Varianza (ANOVA) de Aditivos Líquidos + Cemento**

ANOVA		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cemento	Grupos	18571.000	2	9285.500	89.880	.000
	Error experimental	2169.500	21	103.310		
	<b>Total</b>	<b>20740.500</b>	<b>23</b>			

**Tabla 58: Homogeneidad de Varianzas de Aditivos Líquidos + Cemento**

		Prueba de Levene de calidad de varianzas	
		F	Sig.
VAR00001	Se asumen varianzas iguales	.008	.930
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 59: Prueba de Tukey de Aditivos Líquidos + Cemento**

Cemento			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Suelo Natural	8	2.5000	
CONAID	8		54.7500
PROES	8		66.5
Sig.		1.000	0.076

Fuente: Software Estadístico SPSS v 23.0

**Tabla 60: 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: Software Estadístico SPSS v 23.0

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

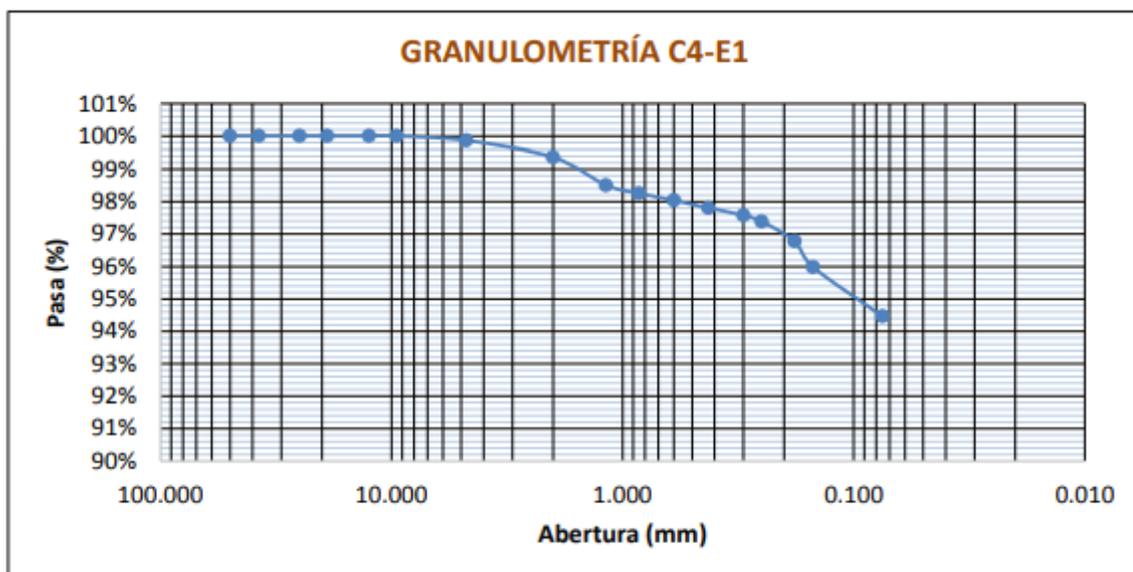
### 6.1. DISCUSIÓN

#### 6.1.1. 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 postes y calicatas en los estratos 1 a una profundidad de 1 m y en el estrato 2 a 1.50m aproximadamente.

*Ilustración 22: 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.

#### 6.1.2. LÍMITE LÍQUIDO (LL), LÍMITE PLÁSTICO (LP) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

En las Tablas N°29 y 30 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 postes 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°29). Lo mismo ocurre con el P-6 del estrato 2. (ver Tabla N°30).

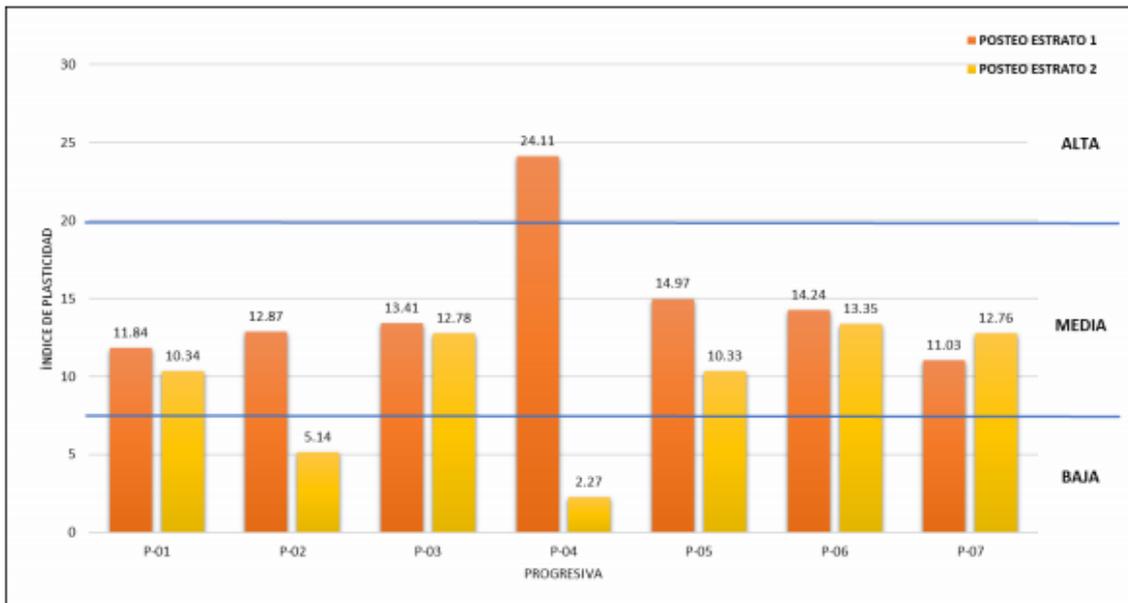
En las Tabla N°31 y 32 se muestran los resultados de los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico) y la diferencia de estos dos, el Índice de Plasticidad. Para las 8 calicatas de los estratos 1 y 2, respectivamente. Como puede observarse en el estrato 1 la C-4 es la que presenta el mayor índice de plasticidad siendo 23.91%, indicando que es el tramo más desfavorable en términos de las propiedades mecánicas (ver Tabla N°31). Lo mismo ocurre con la C-5 del estrato 2. (ver Tabla N°32)

En la Figura N°31 y 32, se muestra el Índice de Plasticidad de los posteos y calicatas estrato 1 y 2 de acuerdo a la Figura N°05.

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.

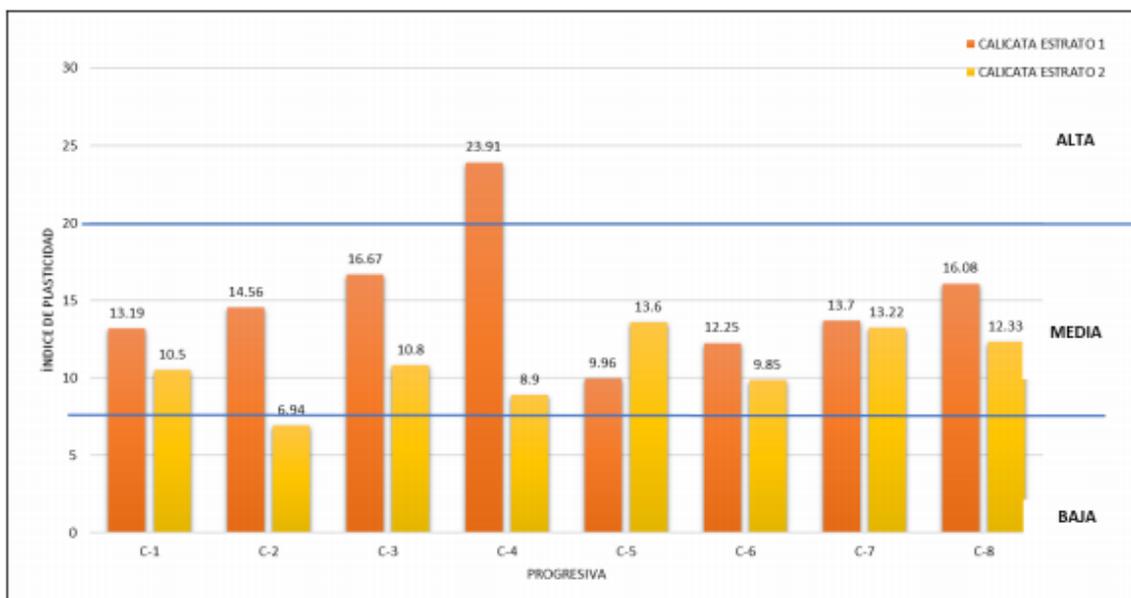
De acuerdo a las Figuras N°32 y 33 los resultados demuestran que para el estrato 1 se tiene una plasticidad de media a alta. Sin embargo, para el estrato 2 se tiene una plasticidad de baja a media.

**Ilustración 23: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Posteos**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 24: Análisis de resultados del Índice de Plasticidad para Calicatas**

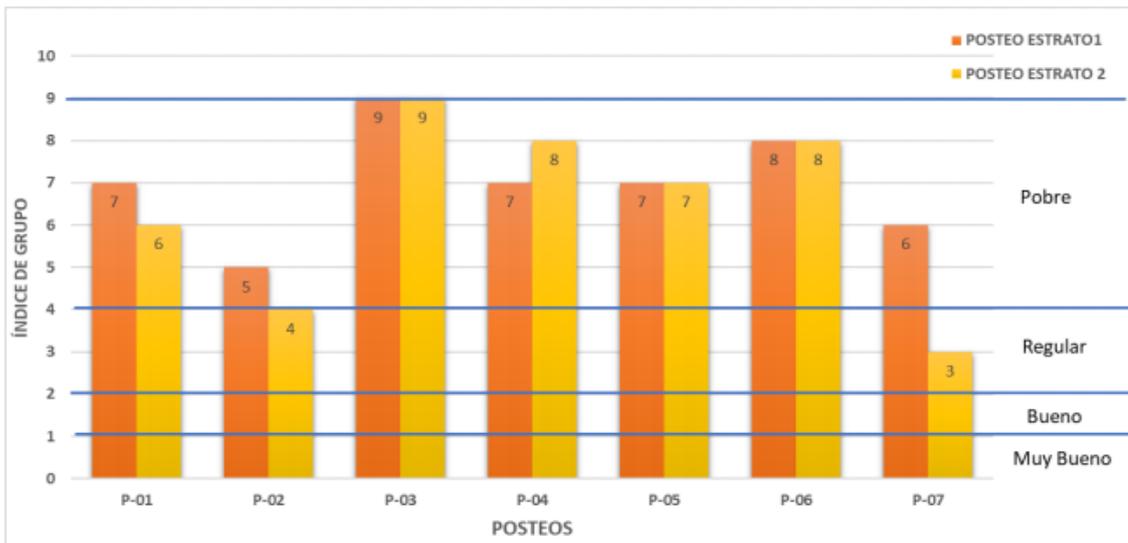


Fuente: Elaboración Propia

Además, el índice de grupo fue calculado para la Clasificación AASHTO. En las Figuras N°34 y 35° 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.

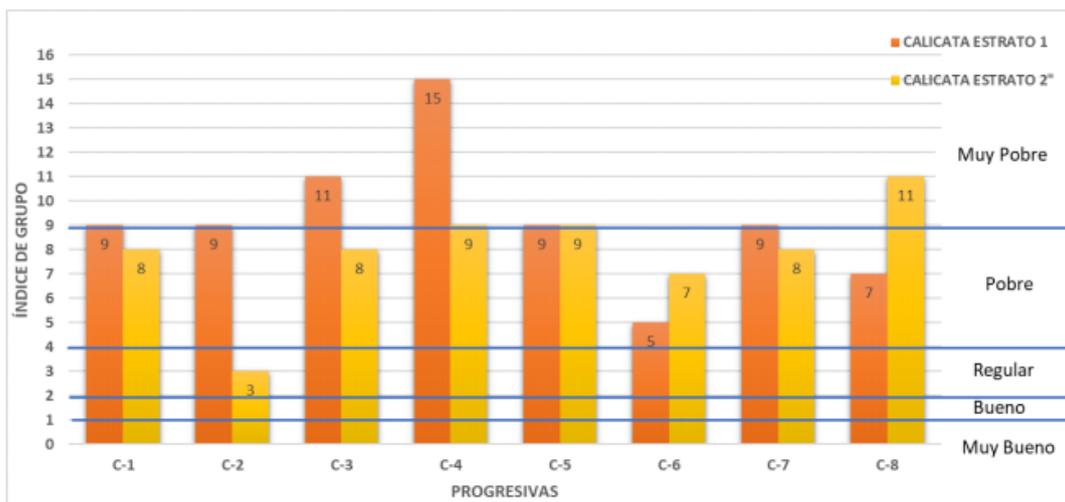
Los resultados obtenidos según índice de grupo dado por el Ministerio de Transporte (MTC 2013), el IG está en el rango de 2 a 4 obteniéndose un suelo de subrasante regular, del rango de 4 a 9 es un suelo pobre y mayor a 9 es un suelo de subrasante muy pobre, las muestras de suelo en las calicatas se 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 25: Análisis de resultados del Índice de Grupo de los Posteos. Clasificación AASHTO**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 26: Análisis de resultados del Índice de Grupo de las Calicatas. Clasificación AASHTO**



Fuente: Elaboración Propia

### **6.1.3. 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.

En base a los resultados obtenidos de los suelos de la vía de Barraza, Laredo para el método SUCS, son tipo CL en el estrato 1 (ver Tablas N°34 y 36), lo cual indica que se tiene una arcilla de baja plasticidad. Por otro lado, para el estrato 2 según el método SUCS se tiene CL y ML (ver Tablas N°35 y 37), lo cual indica que son arcillas de baja plasticidad y limos de baja plasticidad.

Según el método de clasificación AASHTO, el estrato 1 se encuentra dentro del grupo, A-5, A-6 y A-7-6, lo cual indican un suelo tipo arcilloso (ver Tablas 34 y 36). Además, para el estrato 2 se encuentran en el grupo A-4, A-5, A-6 lo que indica que se tiene un suelo tipo limo- arcilloso (ver Tablas N°35 y 37).

Para confirmar el tipo de suelo en el estrato 1 se realizó la prueba de Análisis Granulométrico por Hidrómetro (ver Tabla N°33). En base a SUCS el tamaño máximo de la arcilla es menor 0.002 y Limo de 0.002 a 0.075 mm. Para AASHTO, el diámetro máximo de la arcilla es de 0.005mm y el mínimo 0.001 mm y el limo tiene de 0.005 mm a 0.075 mm. Como puede observarse en la Tabla N°33 los diámetros para todas las calicatas van desde 0.00111mm hasta 0.00130mm, lo cual demuestra que se tiene suelo arcilloso en el estrato 1.

### **6.1.4. 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 (Ministerio de Transportes, 2013). 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 posteos y 8 calicatas. En las Figuras N°35 y 37 se muestran los valores promedios del contenido de humedad de los posteos 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°36 y 38 se muestran los valores promedios del contenido de humedad de los posteos 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.

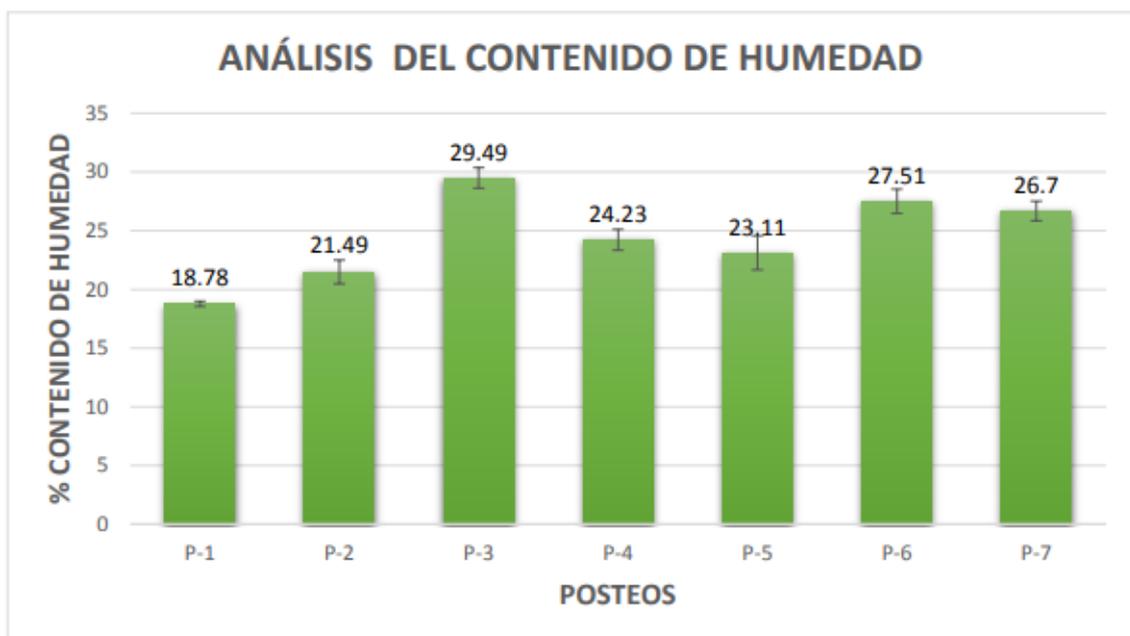
Castillo (2018), dentro de su investigación en la carretera Calamarca – Huaso, encontró un suelo limo- arcilloso que presenta contenidos de humedad entre el 4% y 7%, lo cual demuestra que no todos los suelos limo- arcillosos presentan similares contenidos de humedad. Cabe resaltar que los porcentajes de contenido de humedad obtenidos en el presente trabajo son mayores a los presentados por Castillo (2018).

La vía estudiada en este trabajo presenta un alto contenido de humedad del suelo debido a la existencia de un canal que recorre ciertos tramos de la misma pasando cerca de la calicata 3. Este canal tiene una profundidad de 1.20 m aproximadamente, como se muestra en el plano de ubicación de

calicatas en el Apéndice n°03. Debido a la presencia de vacíos en el suelo arcilloso, el agua del canal se filtra y aumenta el contenido de humedad del suelo.

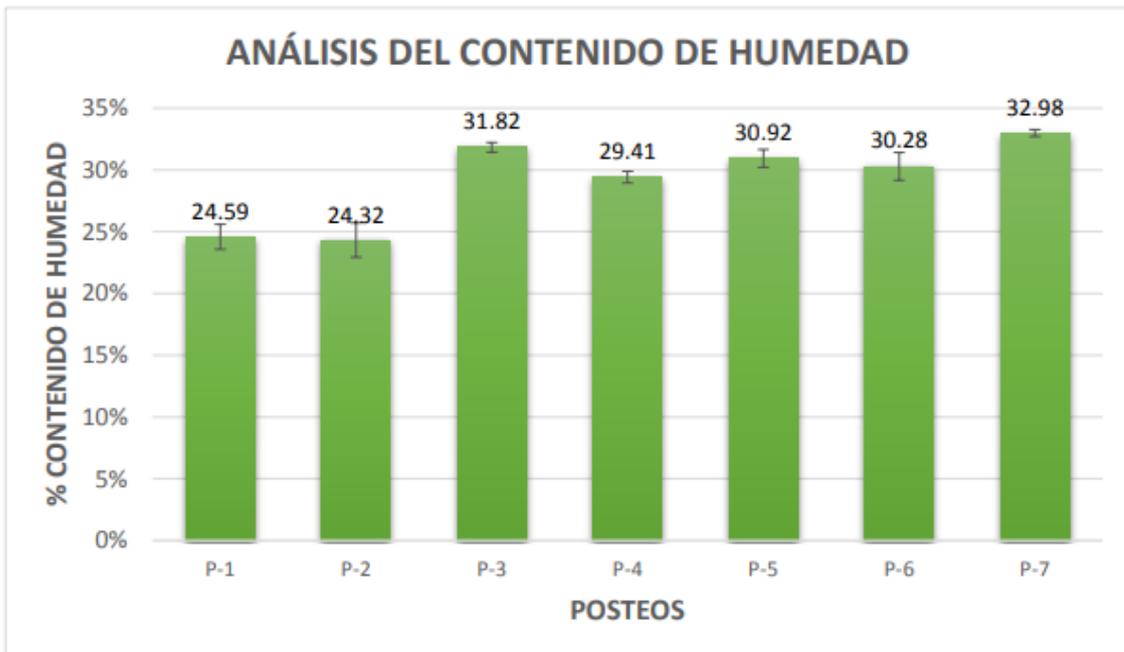
Esto es confirmado por el aumento significativo del porcentaje de contenido de humedad para los postes P-1 y P-3 y para calicatas C-1 y C-7 en el estrato 1. Asimismo, el aumento significativo del porcentaje de contenido de humedad para los postes P-2 y P-7 y para las calicatas C-2 y C-8 en el estrato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

**Ilustración 27: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 1**



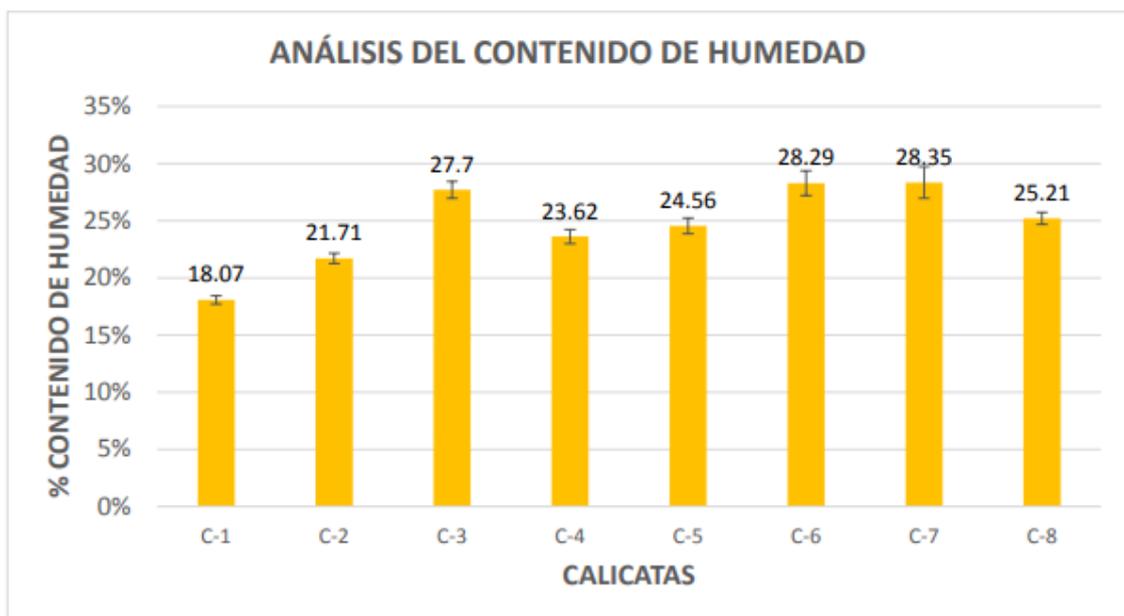
Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 28: Contenido de Humedad para Posteos Estrato 2**



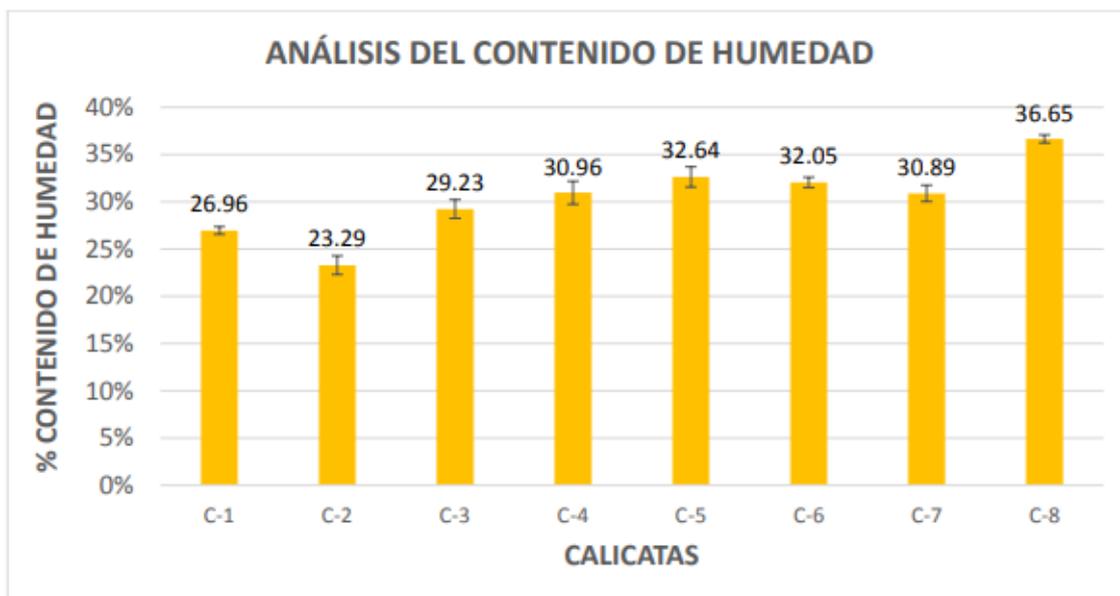
Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 29: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 1**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 30: Contenido de Humedad para Calicatas Estrato 2**



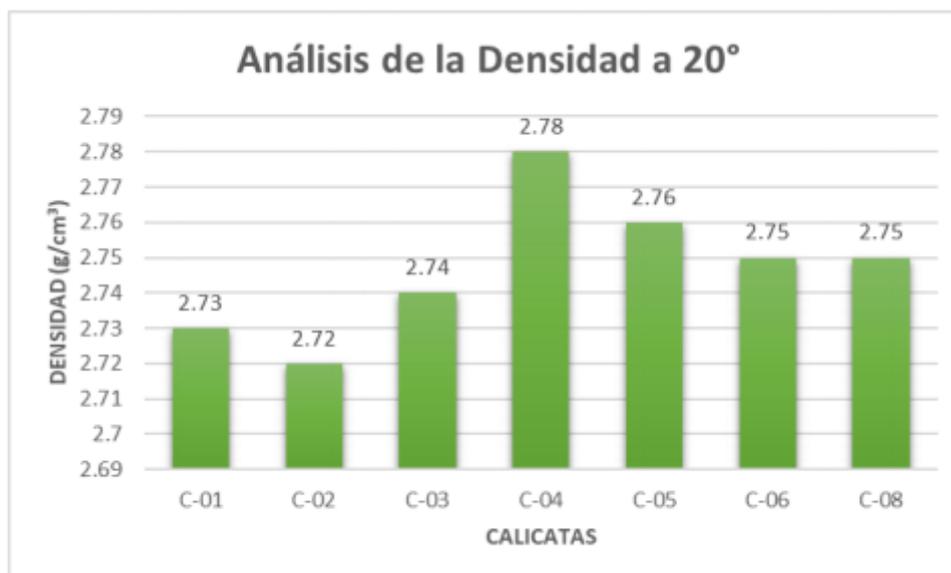
Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS**

La gravedad específica de los sólidos se utiliza para determinar las propiedades del suelo. Este ensayo debe realizarse antes de hacer el ensayo de hidrometría, porque el valor de la gravedad específica es un dato de entrada para el ensayo.

En la Tabla N°40, se muestran los resultados del ensayo de gravedad específica. Podemos notar que la gravedad específica varía entre el valor de 2.72 a 2.78. En la Figura N°39 se muestra la densidad para diferentes calicatas a 20°C, teniendo la mayor densidad en la calicata 4, lo cual sugiere que el suelo en ese tramo se encuentra más compactado que las demás.

**Ilustración 31: Densidad a una Temperatura de 20°**



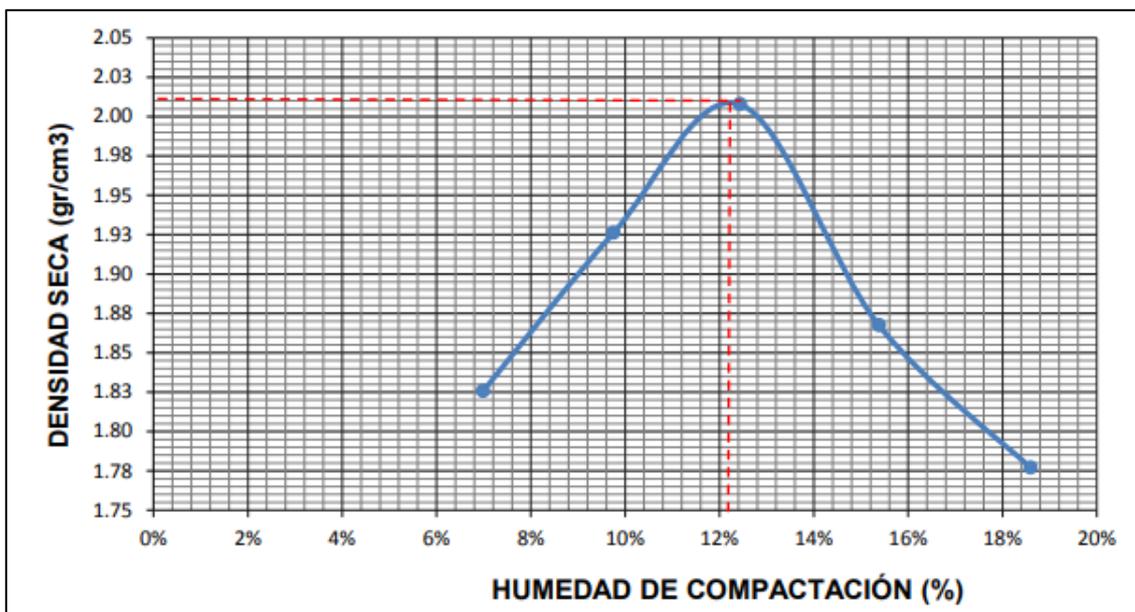
Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.6. 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°41 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°40). 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 32: Curva de Proctor Modificado de la calicata 8.**



Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.7. 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.

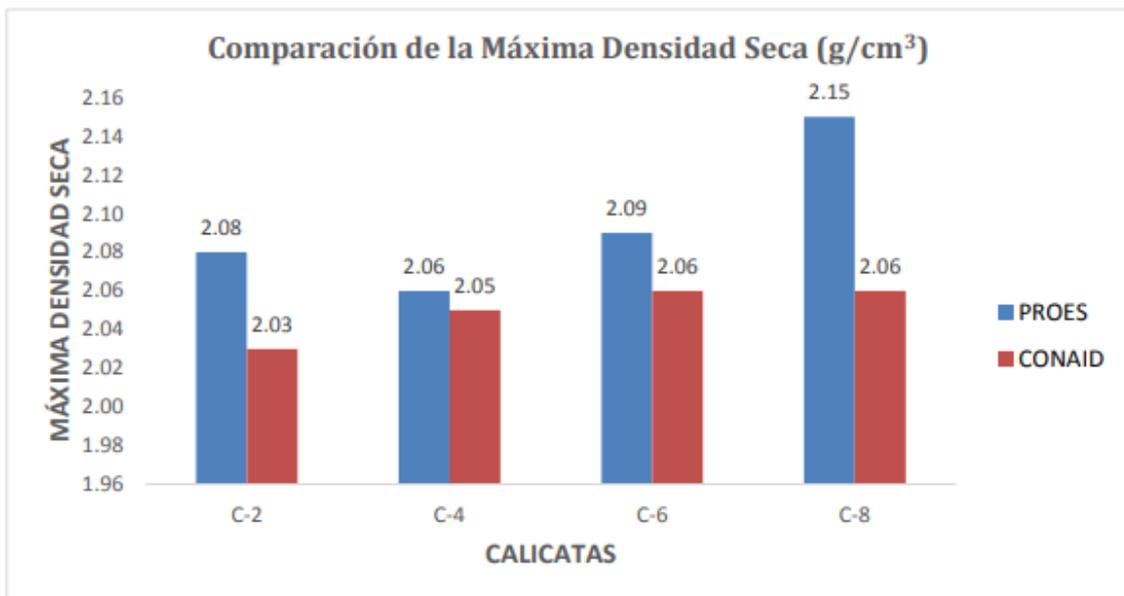
Los resultados en la Tabla N°42 demuestran que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad para el aditivo líquido PROES (0.35 L/m<sup>3</sup>) es mayor que para el aditivo CONAID (0.05 L/m<sup>3</sup>) en todas las calicatas estudiadas. Por otro lado, se muestra en la Tabla n°43 la máxima 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°34 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°42 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°43 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°35 el porcentaje de diferencia del contenido de humedad óptima varía desde 0.419 hasta 7.585%.

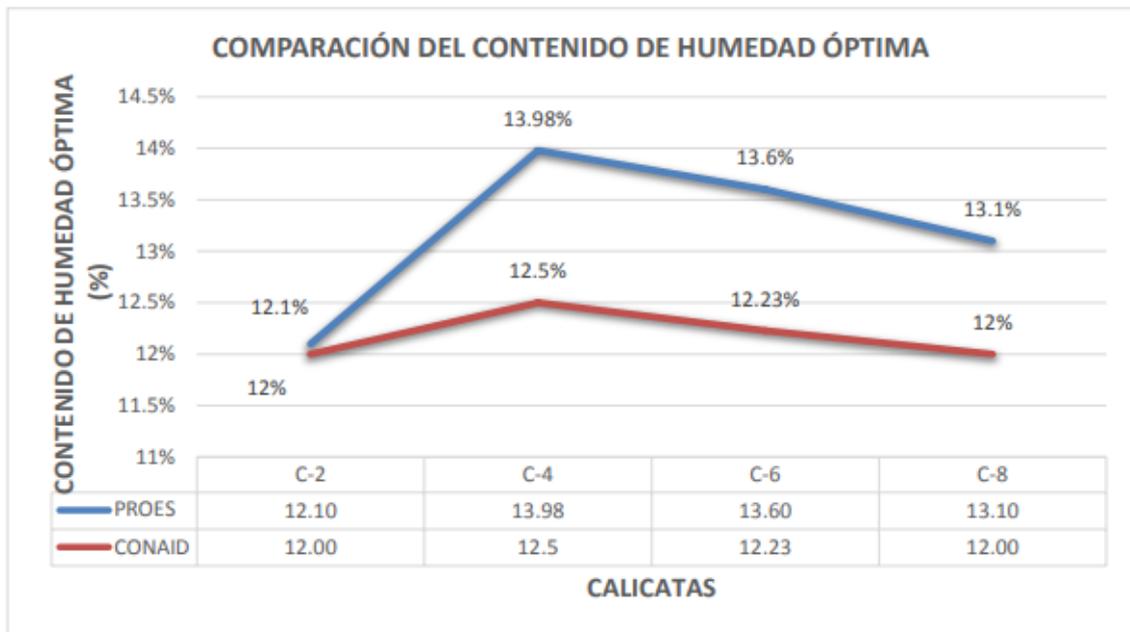
Se escogió el cemento ya que es un aglomerante que aumenta la resistencia y disminuyendo la plasticidad del suelo. Cabe resaltar que los suelos de Limo o Arcilla requieren un mayor porcentaje de cemento para lograr los resultados esperados (De la Cruz y Salcedo, 2016).

**Ilustración 33: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID**



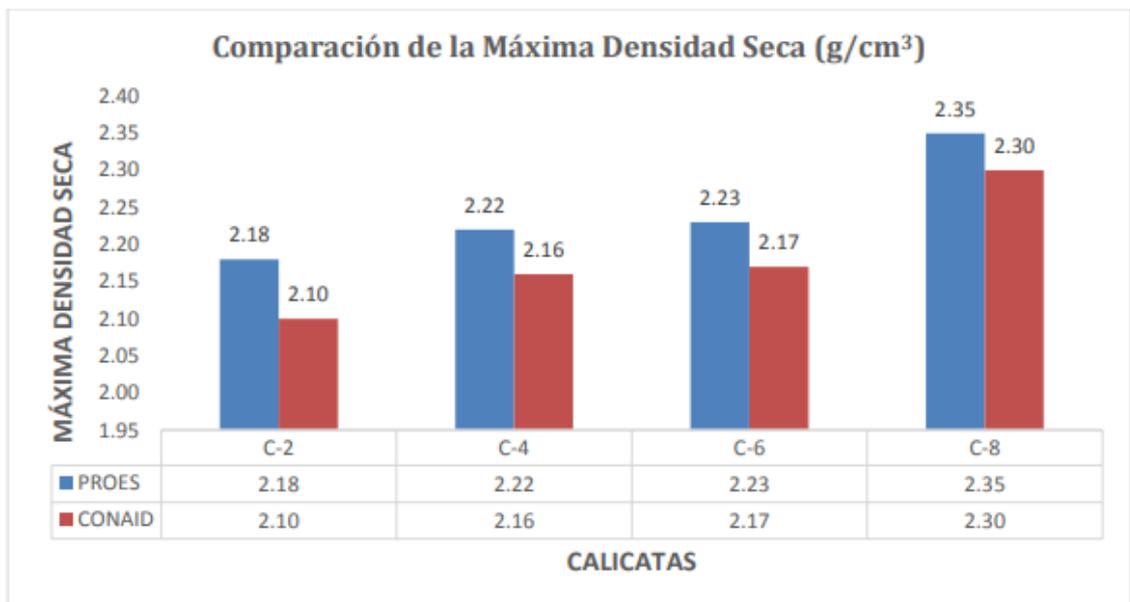
Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 34: Comparación del Contenido de Humedad Óptima de los aditivos PROES y CONAID sólo Líquidos**



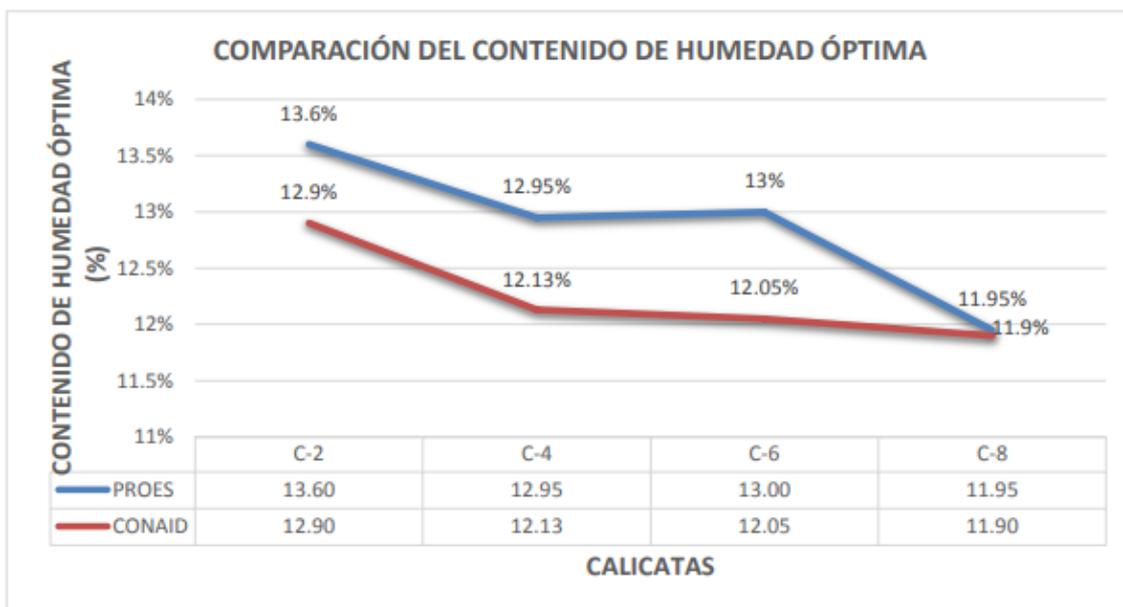
Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 35: Comparación de la Máxima Densidad Seca entre los aditivos PROES y CONAID + Cemento Portland Tipo MS**



Fuente: Elaboración Propia

**Ilustración 36: Relación de Soporte California (CBR)**



Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.8. 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°44 el ensayo de CBR se realizó al 95% de máxima densidad seca, para garantizar las propiedades óptimas buscadas. Se realizó el ensayo de CBR bajo la NTP 339.145 a las calicatas N°2, 4, 6 y 8 que tienen como progresiva los kilómetros 0+934, 2+608, 4+416, 5+783, obteniendo como resultados.

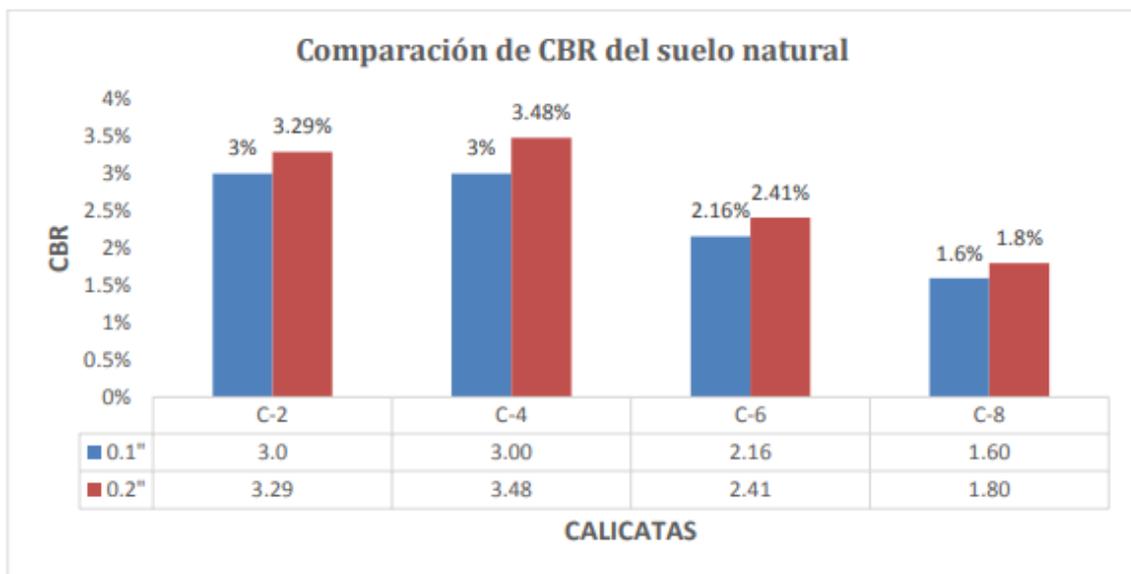
En la Figura N°36 se tomaron los valores en 0.1” de la penetración de carga donde la C2 y C-4 presenta un CBR de 3%, seguidamente en la C-6 presenta un 2.16% y en la C- 8 siendo el más bajo presenta un valor de 1.6%. Asimismo, para la carga de penetración de 0.2” la calicata N°2 y 4 presenta un CBR de 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 (2013) 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 37: CBR del suelo natural**



Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.9. 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>.

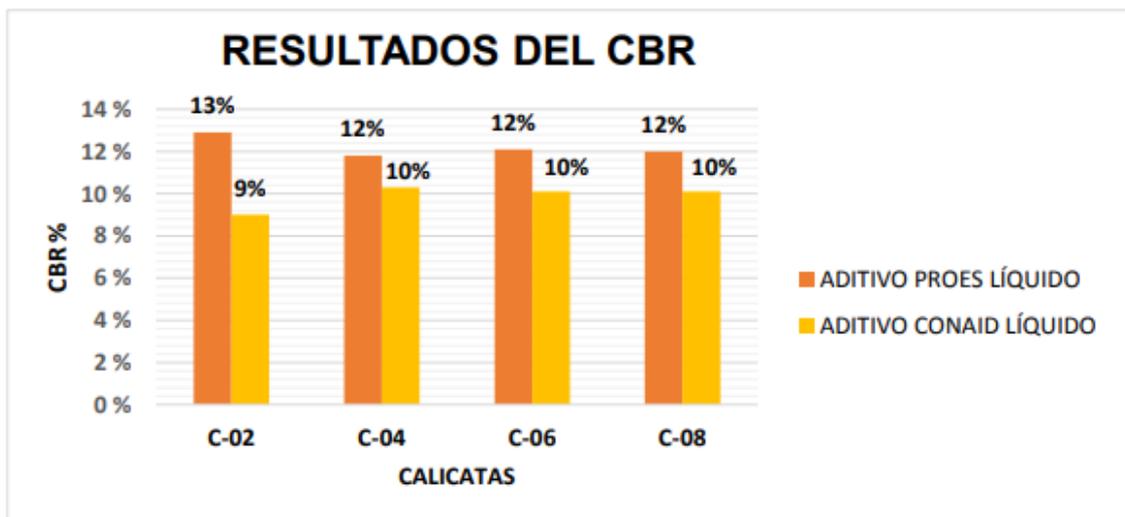
Se puede observar en las Tablas N°38 el resumen de los resultados de las calicatas. Para la C-2 se obtuvo el máximo valor de CBR en el caso del aditivo líquido PROES (12.9%) y para el aditivo líquido CONAID (9%).

Por otro lado, en la Tabla N°36 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.

En la Figura N°36 los resultados de las cuatro calicatas del ensayo CBR con el aditivo líquido PROES y CONAID, se muestran que existen diferencias entre 2% al 4% a favor del aditivo líquido PROES, demostrando así que este aditivo es mejor que el aditivo CONAID.

Castillo (2018) concluye que al utilizar 0.27 L/m<sup>3</sup> de aditivo PROES se llega a un buen resultado teniendo un CBR promedio de 113% cumpliendo así con la mejora de la subrasante.

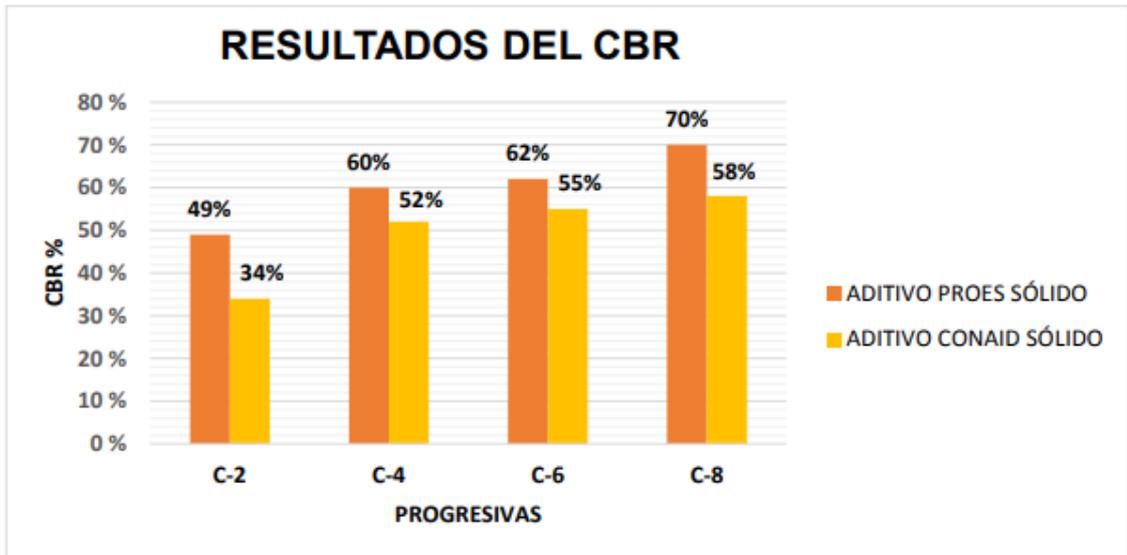
**Ilustración 38: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°40 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.

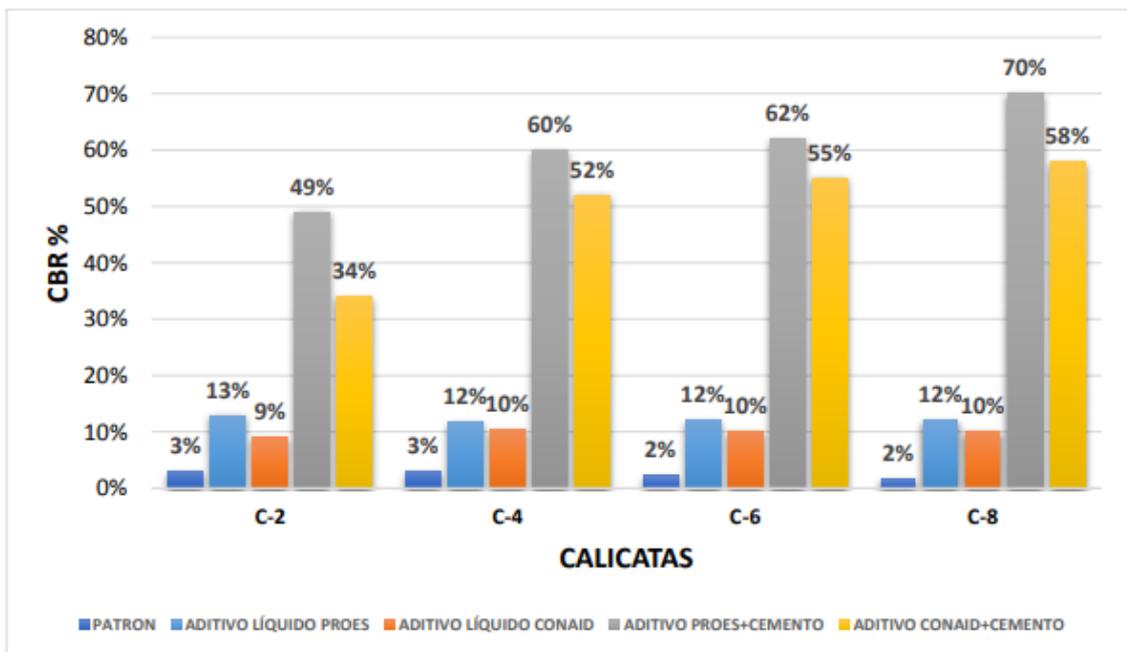
**Ilustración 39: Análisis de resultados de CBR con el Aditivo Líquido + Cemento**



Fuente: Elaboración Propia

Los CBR en las diferentes progresivas de la carretera con las diferentes dosificaciones utilizadas, se muestran en la Figura N°41.

**Ilustración 40: 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.

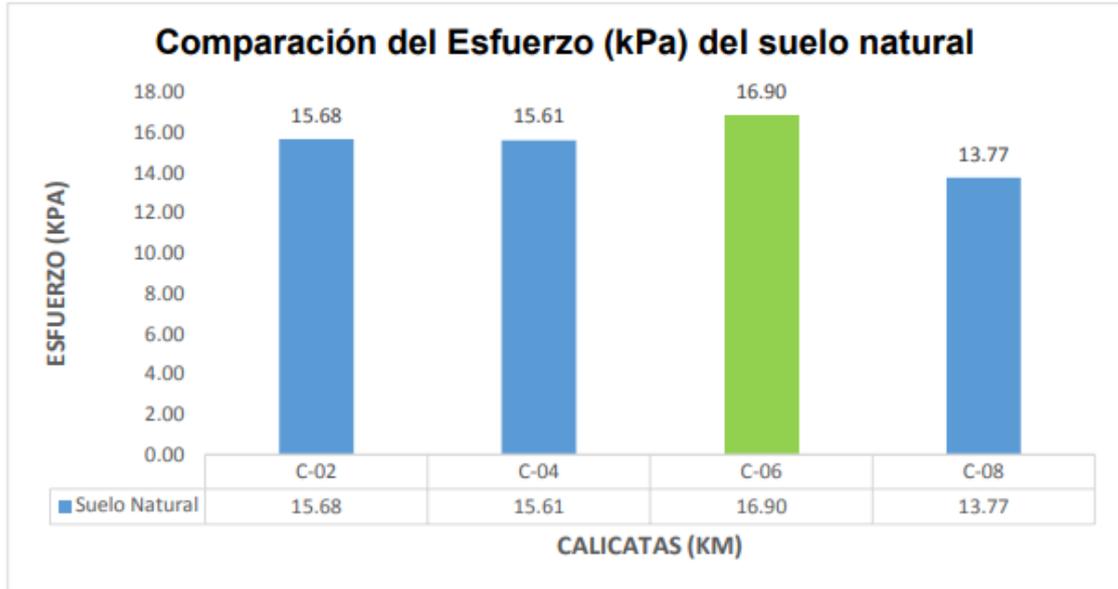
En efecto, se aprecia que el mayor aumento de CBR se encuentra con la adición de 0.35 l/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> de Cemento Portland Tipo MS, por lo cual esta será la más apropiada dosificación. Por otro lado, es conveniente el aditivo PROES ya que el costo es de S/.120.00 nuevos soles sin 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.

#### **6.1.10. COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA**

El ensayo de Compresión Simple no Confinada se realizó bajo la NTP 339.167. En la Tabla N°41 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. De acuerdo a la Tabla N°24 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" podemos concluir que para todos los casos tenemos un suelo muy blando, lo cual es consistente con los ensayos previos realizados al suelo natural.

En la Figura N°49 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 41: Resistencia a Compresión del suelo natural**



Fuente: Elaboración Propia

**6.1.11. COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADA PARA EL SUELO CON LOS ADITIVOS PROES Y CONAID.**

Dados los resultados anteriores en los ensayos de Compresión Simple no Confinada de las calicatas N°2, 4, 6 y 8 con las cuales se adicionó el aditivo Líquido PROES en proporción de 0.35 l/m<sup>3</sup> y el aditivo sólido PROES en proporción de 0.30 l/m<sup>3</sup> + 50kg/m<sup>3</sup> de cemento. De igual manera para el aditivo líquido CONAID en proporción 0.05 l/m<sup>3</sup> de suelo y aditivo sólido CONAID en proporción de 0.05 l/m<sup>3</sup> + 50kg/m<sup>3</sup> de cemento.

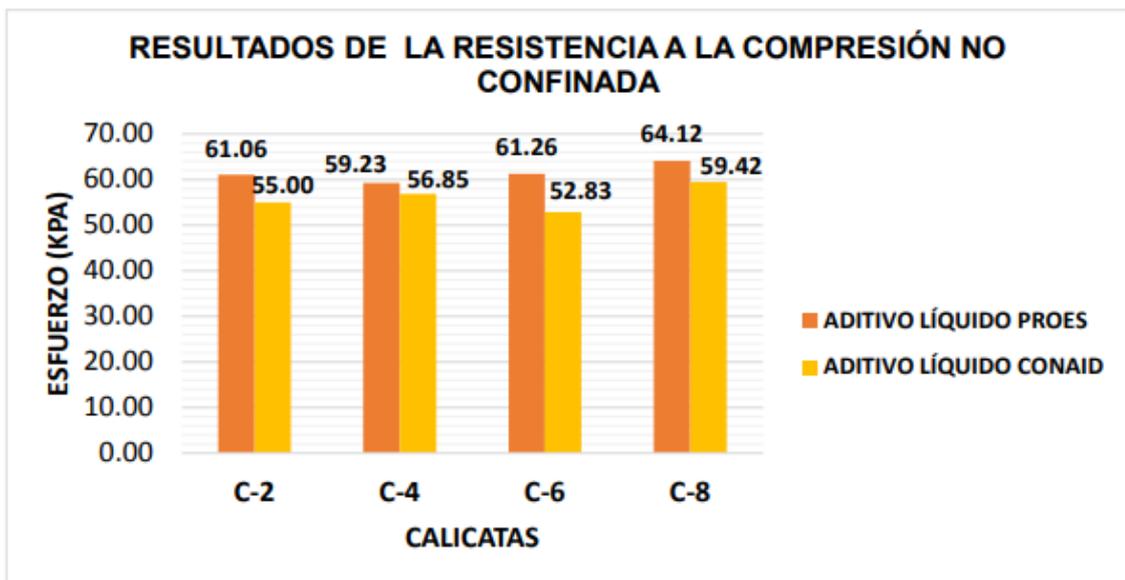
Se puede observar en la Tabla N°41 los resultados de la resistencia a la compresión simple no confinada para todas las calicatas estudiadas, para el caso de la C-8 se obtuvo el máximo valor en ambos aditivos. Usando el aditivo líquido PROES se obtuvo el valor de 64.12 kPa y para el aditivo líquido CONAID se obtuvo 59.42 kPa.

Por otro lado, en la Tabla N°42 en el caso de la C- 2 se obtuvo el máximo valor con el aditivo sólido PROES + cemento con un valor de 226.03 kPa y

para el aditivo sólido CONAID tiene el máximo valor en la C-6 con un valor de 138.43 kPa.

En la Figura N°43 los resultados de las cuatro calicatas del ensayo de compresión simple no confinada con el aditivo líquido PROES y CONAID, se muestran que existen diferencias entre 4.10 kPa hasta 14.78 kPa a favor del aditivo líquido PROES, demostrando así que este aditivo es mejor que el aditivo CONAID.

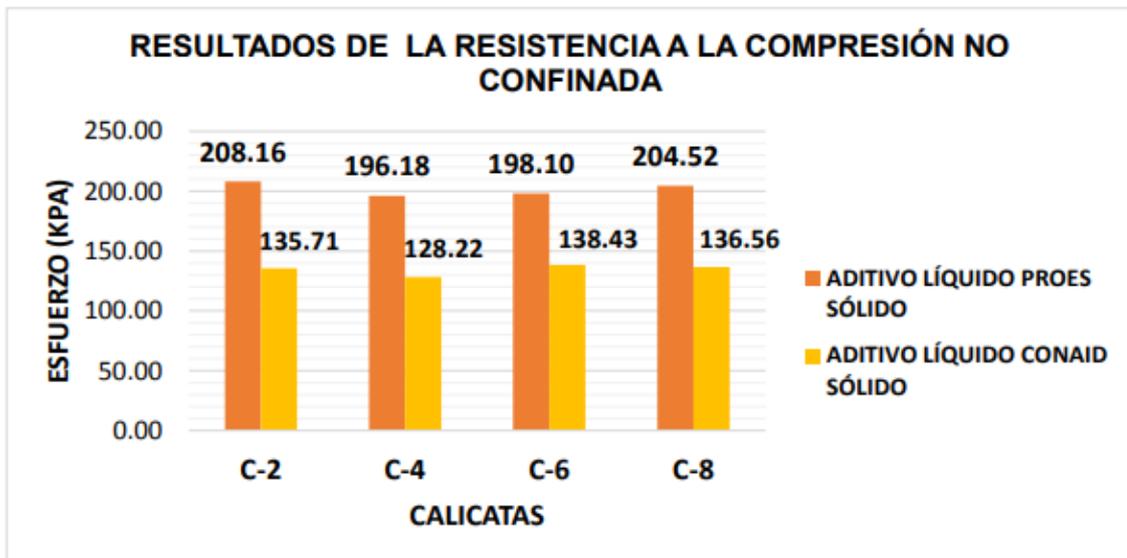
**Ilustración 42: Análisis de resultados de la Resistencia a la Compresión no Confinada con el Aditivo Líquido**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°44 para el resultado de la compresión simple no confinada con los Aditivos líquidos + Cemento de las cuatro calicatas, se muestra que el Aditivo sólido PROES muestra mejor resultados en este ensayo que el aditivo sólido CONAID. Cabe resaltar que los dos aditivos sólidos mejoran el suelo natural siendo para el aditivo sólido Proes inicialmente un suelo muy blando a un suelo muy firme en promedio. Por otro lado, con el aditivo sólido CONAID se tiene inicialmente un suelo muy blando que pasa a ser suelo firme.

**Ilustración 43: Análisis de resultados de la Resistencia a la Compresión no confinada con el Aditivo Líquido + Cemento**

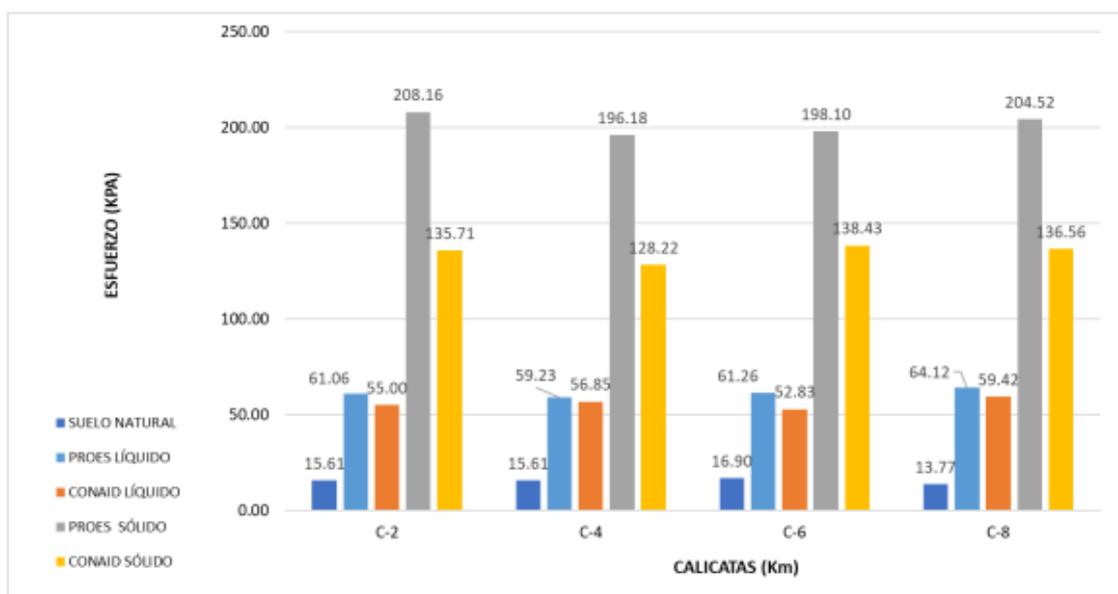


Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó anteriormente, se aprecia que el mayor aumento de la Resistencia a la Compresión no confinada se encuentra con el aditivo líquido PROES, dado que como el suelo natural se tiene 15.49 kPa y aumenta a 45.95 kPa en promedio del suelo estabilizado. Por otro lado, para el aditivo líquido CONAID aumenta a 40.56 kPa en promedio.

Además, para el aditivo sólido PROES se tiene un aumento a 186.27 kPa en promedio. Por otro lado, para el aditivo sólido CONAID se tiene un aumento de 119.26 kPa. Según la Tabla N°24 del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en la sección de suelos y pavimentos nos indica que es un suelo muy blando y con los aditivos líquidos PROES y CONAID se tiene una consistencia de suelo mediana. Para los aditivos líquidos PROES y CONAID + cemento se logró llegar a un suelo entre firme y muy firme.

**Ilustración 44: Comparación de la Resistencia a la Compresión no confinada de acuerdo a las dosificaciones**



Fuente: Elaboración Propia

En efecto, en la Figura N°45 se aprecia que el mayor aumento de la resistencia a la compresión se encuentra con la adición del aditivo sólido PROES de 0.35 l/m<sup>3</sup> + 50 kg/m<sup>3</sup> de Cemento Portland Tipo MS con respecto a las 4 calicatas

### 6.1.12. ANÁLISIS QUÍMICO POR EDS

Las partículas de arcilla tienen una carga neta negativa y cuando entran en contacto con moléculas de agua (H<sub>2</sub>O), que son dipolos, se alinean formando cadenas, creando capas alrededor de las partículas de tierra. El agua que absorbe la arcilla actúa como lubricante entre las partículas de tierra y, por ende, genera una baja capacidad de soporte y alta expansión. El aditivo rompe las moléculas de agua en iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. La partícula de tierra se vuelve eléctricamente neutra con la capa de H<sup>+</sup> e iones positivos de metal. El OH<sup>-</sup> restante y los iones de metal libres, se remueven mediante compactación mecánica, gravedad y evaporación. El aumento de iones H<sup>+</sup> en la partícula de arcilla explica el aumento de la acidez en el suelo. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973).

Para el ensayo químico (Tabla N°40), se puede observar hay una reducción en aluminio (Al) como en el silicio (Si). Trabajos previos demuestran que al añadir cemento al suelo incrementa la sílice (Si) por tener componentes

puzolánicos (De la Cruz y Salcedo, 2016), lo cual permite concluir que son los aditivos que derivan de los hidrocarburos los causantes de la disminución de estos componentes.

### **6.1.13. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ANÁLISIS DE DATOS**

#### **6.1.13.1. PRUEBA DE NORMALIDAD**

La prueba Shapiro Wilk, se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea de la siguiente manera:

$H_0$ = La muestra aleatoria tiene una distribución normal.

$H_1$ = La muestra aleatoria no tiene una distribución normal.

De la Tabla N°41, el suelo natural, Proes\_Líquido, Proes\_cemento no tienen distribución normal 0.05.

#### **6.1.13.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE VARIANZA**

De los resultados obtenidos en la Tabla N°43 y 45, se encontró una significancia de 0.000 que es menor a 0.05, lo cual indica que existe diferencia significativa en los valores promedios de CBR entre los diferentes niveles de dosificación, es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Para los aditivos líquidos. En la Tabla N°45, se observa que la significancia es  $<0.05$ .

#### **6.1.13.3. PRUEBA DE TUKEY**

En la Tabla N°44, El Programa lo agrupo en tres grupos, cada uno se encuentra en grupos diferentes, lo cual quiere decir que entre ellos hay diferencia significativa. Es decir, el suelo natural no es igual al aditivo líquido Proes, ni al Aditivo líquido Conaid. En efecto, sería mejor el que tiene mayor efecto, lo cual es el Proes.

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 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 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.

## 7.2 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 VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Altamirano Navarro, G. J., & Díaz Sandino, A. E. (2015). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE CAL EN LAS VÍAS DE LA COMUNIDAD DE SAN ISIDRO DEL PREGÓN, MUNICIPIO POTOSI-RIVAS. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- 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.
- Atarama Mondragón, E. A. (2015). "EVALUACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO ESTABILIZADOS CON ADITIVO PROES. Piura.
- 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.
- Botasso, Fensel, & Ricci. (2003). Estabilizantes iónicos de suelos para la construcción. La Plata-Argentina.
- Brack, & Mendiola. (2004). Componentes modificadores del color del suelo.
- Braja M. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica IV Edición. México: CENGAGE Learning.
- Castillo, P. E. (2018). Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Cajamarca- Huaso, La Libertad,2018. Trujillo-Perú: Universidad Privada del Norte.
- Castro Cuba Valencia, M. E. (1992). Suelos Expansivos en Talara. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Ccoillo, I. (2017). Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria La Molina-2016. Lima-Perú: Universidad César Vallejo.
- Cedeño Plaza, D. G. (2013). Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub- rasante de la avenida Quitumbe- Ñan, Cantón Quito. Quito Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Choque. (2012). Evaluación de Aditivos Químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Francisco, L. (2014). Análisis y propuestas de mejora de sistema de gestión de almacenes de un operador logístico (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- CMPC. (2016). Oportunidades de Estabilizador a través del caso Proes.
- CON-AID ARGENTINA. (s.f). <http://www.conaid.com.ar/empresa.html>.
- CON-AID CBR PLUS. (2018). Estabilización Química en Suelo.
- CORTES OLANO, C. M., & FERNANDEZ CARVALLO, M. A. (2015). Influencia de las zeolitas y biopolímeros en el mejoramiento de la resistencia de suelos del sur, este y norte de Lima para vías a nivel de afirmado. LIMA: Universidad Ricardo Palma.
- Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México: Limusa.
- Dal Ré Tenreiro, R. (2001). CAMINOR RURALES- Proyecto y Construcción. Ediciones Mundi - Prensa
- De la Cruz, L., & Salcedo, K. (2016). Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian- Huancayo- Junín. Huancayo: Universidad Peruana los Andes.

- Fernández, H. W. (2017). Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasante en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca. Cajamarca -Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- García. (1997). Algunos Análisis Físico- Químicos para la Identificación de los minerales Componentes de una Arcilla. Medellín: Universidad Nacional de Colombia
- Grupo TDM. (2010). Pavimentación, estabilización en vías del proyecto Perú Chachapoyas, Cajamarca. Cajamarca.
- I.N.V. E - 132. (s.f). Determinación de Suelos Expansivos.
- Jiménez, M. E. (2014). Diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Jones, D., & Surdahl, R. (2014). A New Procedure for Selecting Chemical Treatments or Unpaved Roads. University of California Davis, University of California Pavement Research Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Davis, CA.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). Mecánica de suelos tomo I Fundamentos de la Mecánica de suelos. Editorial Limusa: pag.8.
- MTC. (2011). Servicios de gestión y conservación por niveles de servicio de la carretera EMP. PE – 22B (Puente Raither) – Puente Paucartambo – Villa Rica – Puerto Bermúdez – Von Humboldt y Puente Paucartambo -Oxapampa. Junín-Pasco: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC E 1104. (2016). Humedecimiento y Secado de Mezclas de suelo + cemento compactadas. Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- NORMA CE.020. (2012). SUELOS Y TALUDES.