



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
INGENIERIA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE
INGENIERIA CIVIL**

TESIS

**“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUBRASANTES DE SUELOS
ARCILLOSOS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN
SELVA BAJA. APLICACIÓN DE ADITIVOS TERRASIL Y
PROES EN VÍA DE ACCESO “MORALILLOS”, LORETO,
2018”.**

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

AUTOR (es): FREDY ROLAND HIDALGO REATEGUI

JOSE HIDALDO REATEGUI

ASESOR (es): LIC. NEREA GALLARDO SÁNCHEZ, Mg.

CO-ASESOR (es): ING. LUCIO MARTIN RODRIGUEZ GOMEZ

San Juan Bautista - Loreto – Maynas – Perú 2020

DEDICATORIA

Este Proyecto de investigación se lo dedicamos en primer lugar a Dios, a nuestros padres Fredy Hidalgo y Ines Reategui que siempre estuvieron de nuestro lado apoyandonos a lograr nuestros objetivos, a nuestros amigos en general y entidades que intervinieron en este Proyecto.

F.R.H.R y J.H.R

AGRADECIMIENTO

- En primer lugar, a Dios por que es el quien nos da toda la motivación y fuerza.
- A la Universidad Científica del Perú por ser nuestra alma mater, y ser parte de nuestra formación profesional.
- A los ingenieros que intervinieron en este proyecto de innovación.
- A nuestro asesor: Mg. Lic. Nerea Gallardo Sánchez por su aportación a la investigación del proyecto.
- A nuestros jurados de tesis nos ayudaron como guías en este proyecto de tesis.

**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:

El Trabajo de Suficiencia Profesional titulado:

**"ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUBRASANTES DE SUELOS ARCILLOSOS EN
CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN DE
ADITIVOS TERRASIL Y PROES EN VÍA DE ACCESO "MORALILLOS", LORETO,
2018"**

De los alumnos: **FREDY ROLAND HIDALGO REATEGUI Y JOSE HIDALDO
REATEGUI**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la
revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de 21% de plagio.

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

San Juan, 2 de febrero del 2021.

Dr. César J. Romal Asayag
Presidente del Comité de Ética - UCP

QW/ta
10-2021

Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP_INGENIERIA CIVIL_2021_TESIS_FREDY HIDALGO JOSE HIDALGO_V1 (D94425216)
Submitted: 2/2/2021 3:46:00 PM
Submitted By: revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Significance: 21 %

Sources included in the report:

UCP_ING_CIV_2020_T_JAIMEVASQUEZ_CHRISTIANMARIN_V1.pdf (D75816608)
1195-CRISTOBAL CALDERON, MIGUEL ANGEL_.pdf (D31995481)
<https://docplayer.es/82591488-Facultad-de-ingenieria-y-arquitectura.html>
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6963/Huancollo_Humpiri_Yunior_Jos%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y
http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/721/3/Rocio_Cynthia_Tesis_bachiller_2016.pdf
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13798/Castillo%20Brice%C3%B1o%2C%20Paola%20Emperatriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

41

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°620-2018-UCP-FCEI de fecha 12 de octubre de 2018 y modificada con Resolución Decanal N°172-2020-UCP-FCEI de fecha 04 de julio de 2020, 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. Carmen Patricia Cerdeña del Águila, Dra. Presidente
- Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc. Miembro
- Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio Miembro

Como Asesora: Lic. Nerea Gallardo Sánchez, Mg y como co-asesor Ing. Lucio Martín Rodríguez Gómez.

En la ciudad de Iquitos, siendo las 10.00 horas del día 02 de junio del 2021, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por la Secretaria Académica del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **"ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUBRASANTES DE SUELOS ARCILLOSOS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN DE ADITIVOS TERRASIL Y PROES EN VÍA DE ACCESO "MORALILLOS", LORETO, 2018"**.

Presentado por los sustentantes:

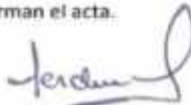
JOSÉ HIDALGO REÁTEGUI
Y
FREDY ROLAND HIDALGO REÁTEGUI

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 UNANIMIDAD**

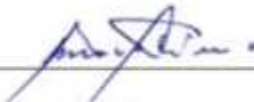
En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



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

MIEMBROS DEL JURADO



ING. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL AGUILA. DRA



ING.FELIX WONG RAMIREZ, M.SC.



ING. MIGUEL ANGEL ROBALINO OSORIO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
MIEMBROS DEL JURADO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	8
ABSTRAC	14
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Bases teóricas	27
1.2.1.1. Suelo	27
1.2.1.2. Sub rasante	27
1.2.1.3. Suelos residuales	28
1.2.1.4. Suelos sedimentarios	30
1.2.1.5. Propiedades físicas y clasificación de los suelos	31
1.2.1.6. Estabilización de suelos	43
1.2.1.7. Métodos de estabilización de suelos	44
1.2.1.7.1. Descripción de los principales métodos	44
1.2.1.7.2. Estabilización química de los suelos	49
1.2.1.8. Usos de la estabilización en obras viales	51
a. Mejoramiento de la calidad	51
b. Reducción del espesor	52
1.2.1.9. Estabilización de vías no pavimentadas	52
1.2.1.10. Estabilización de Subrasantes, Sub Bases y Bases de Carreteras	54
1.2.1.11. Estabilización de subrasantes con aditivos TerraSil y/o PROES 55	
1.2.1.11.1. Aditivo TerraSil	55
1.2.1.11.1.1. Generalidades del Aditivo TerraSil	55
1.2.1.11.1.2. Presentación del TerraSil	56
1.2.1.11.1.3. Distribución química de los Órgano- Silanos	56
1.2.1.11.2. Aditivo PROES	57
1.2.1.11.2.1. Generalidades del Aditivo PROES	57
1.2.1.11.2.2. Presentación del aditivo PROES	57
1.3. Clasificación de Carreteras	57
1.4. Sistema Vial Peruano	62

1.5. Mantenimiento de carreteras no pavimentadas.....	64
1.6. Conservación y rehabilitación de carreteras no pavimentadas.....	65
1.7. Definición de términos básicos	67
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	71
2.1. Descripción del problema	71
2.2. Formulación del problema.	76
2.2.1. Problema general.	76
2.2.2. Problemas específicos.....	76
2.3. Objetivos.....	77
2.3.1. Objetivo general.	77
2.3.2. Objetivos específicos.....	77
2.4. Hipótesis.....	77
2.5. Variables:.....	78
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
3.1. Descripción y características Del área de estudio	79
3.1.1. Ubicación geográfica	79
3.1.2. Lugar y desarrollo de la investigación	79
3.1.3. Accesibilidad	79
3.1.4. Clima	79
3.1.5. Recursos Utilizados	79
3.1.5.1. Humanos.....	80
3.1.5.2. Instalaciones	80
3.1.5.3. Equipos.....	80
3.1.5.4. Materiales	80
3.2. Metodología de la investigación.....	81
3.2.1. Tipo de Investigación.....	81
3.2.2. Diseño de Investigación	81
3.2.3. Población y Muestra	81
3.2.3.1. Población:.....	81
3.2.3.2. Muestra	82
3.2.4. Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos.....	82
3.2.4.1. Técnicas de Recolección de Datos	83
3.2.4.2. Instrumentos de Recolección de datos	83
3.2.4.3. Procedimientos de Recolección de Datos.....	83

3.2.4.4. Procesamiento de datos y análisis estadísticos	84
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	86
4.1. RECOLECCION DE MUESTRAS EN “IN SITU”	87
4.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACION	89
4.3. RESULTADOS PROES	95
4.4. RESULTADOS TERRASIL	104
4.5. CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS	113
CAPÍTULO V: DISCUSION	116
CAPÍTULO VI: CONCLUSION	118
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	119
CAPÍTULO VIII: BIOGRAFIA	119
CAPÍTULO IX: ANEXOS	122
9.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	123
9.2. PANEL FOTOGRAFICO	125

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Curva granulométrica de un suelo (Según Lambe, 1951).	36
Grafica 2 Curvas granulométricas.....	36
Grafica 3 Curva de aditivo PROES	114
Grafica 4 Curva de CBR de TERRASIL.....	115
Grafica 5 Resultado Maximo del aditivo PROES	¡Error! Marcador no definido.
Grafica 6 Resultado Maximo del aditivo TERRASIL ...	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Muestra de la calicata 1	87
Imagen 2 Muestra de la calicata 2	88
Imagen 3 Ensayo de proctor modificado.....	89
Imagen 4 Curva de Proctor	89
Imagen 5 Ensayo de CBR	90
Imagen 6 Expansion y Penetracion	90
Imagen 7 Grafico de Penetracion de CBR.....	91
Imagen 8 Determinacion de CBR	91
Imagen 9 Ensayo de Proctor Modificado muestra 2	92
Imagen 10 Ensayo de Proctor - curva.....	92
Imagen 11 CBR al estado Natural	93
Imagen 12 Expansion y Penetracion	93

Imagen 13 Grafico Penetracion de CBR	94
Imagen 14 Determinacion de CBR - Grafico.....	94
Imagen 15 Ensayo de proctor modificado con 5% de aditivo	95
Imagen 16 Ensayo de proctor modificado con 5% de aditivo	95
Imagen 17 CBR con 5% de aditivo	96
Imagen 18 Expansion y Penetracion con 5% de aditivo	96
Imagen 19 Grafico de CBR con 5% de aditivo.....	97
Imagen 20 Determinacion de CBR con 5% de aditivo	97
Imagen 21 Ensayo de proctor modificado con 10% de aditivo	98
Imagen 22 Ensayo de Proctor con 10% de aditivo	98
Imagen 23 Ensayo de CBR con 10% de aditivo	99
Imagen 24 Expansion y Penetracion con 10% de aditivo	99
Imagen 25 Grafico Penetracion de CBR con 10% de aditivo.....	100
Imagen 26 determinacion de CBR con 10% de aditivo.....	100
Imagen 27 Ensayo de proctor modificado con 15% de aditivo	101
Imagen 28 Grafico de Proctor con 15% de aditivo.....	101
Imagen 29 Ensayo de CBR con 15% de aditivo	102
Imagen 30 Expansion y Penetracion con 15% de aditivo	102
Imagen 31 Grafico Penetracion de CBR con 15% de aditivo.....	103
Imagen 32 Determinacion de CBR con 15% de aditivo	103
Imagen 33 Ensayo de Proctor Modificado con 5% de aditivo	104
Imagen 34 Grafico de Proctor con 5% de aditivo.....	104
Imagen 35 ensayo de CBR con 5% de aditivo.....	105
Imagen 36 Expansion y Penetracion con 5% de aditivo	105
Imagen 37 Grafico de Penetracion de CBR.....	106
Imagen 38 Determinacion de CBR con 5% de aditivo	106
Imagen 39 Ensayo de Proctor Modificado con 10% de aditivo	107
Imagen 40 Grafico de Proctor con 10% de aditivo.....	107
Imagen 41 Ensayo de CBR con 10% de aditivo	108
Imagen 42 Expansion y Penetracion con 10% de aditivo	108
Imagen 43 Grafico de Penetracion de CBR con 10% de aditivo.....	109
Imagen 44 Determinacion de CBR con 10% de aditivo	109
Imagen 45 Ensayo de Proctor Modificado con 15% de aditivo	110
Imagen 46 Grafico de Proctor con 15% de aditivo.....	110
Imagen 47 Ensayo de CBR con 15% de aditivo	111
Imagen 48 Ensayo de CBR con 15% de aditivo	111
Imagen 49 Grafico de Penetracion de CBR con 15% de aditivo.....	112
Imagen 50 Determinacion de CBR con 15% de aditivo	112
Imagen 51 Autor tesis Diego Angulo y Hember Rojas	116

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Cuadro comparativo de resultados de los aditivos.....	113
Cuadro 2 Cuadro de Contenido de Humedad con la adición de los aditivos.....	113
Cuadro 3 cuadro de resultado PROES	113
Cuadro 4 Resultado TERRASIL.....	114

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Adición de Cal.....	19
Tabla 2 Aeródromo de San Lorenzo	21
Tabla 3 Aeródromo de Sepahua	21
Tabla 4 Aeródromo San Lorenzo	21
Tabla 5 Aeródromo Sepahua	22
Tabla 6 Muestra: A-4(1).	23
Tabla 7 Muestra: Combinación A-2(4) 85% y A-7-5(9) 15%	24
Tabla 8 Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S. y O.C.H.	24
Tabla 9 Categoría de la Subrasante según su CBR indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC	28
Tabla 10 Denominaciones de la compacidad (Das, 2001).....	32
Tabla 11 Niveles de Materia Orgánica.....	39
Tabla 12 Clasificación de los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría.	41
Tabla 13 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.	42
Tabla 14 Métodos de mejoramiento de suelos	44
Tabla 15 Procedimientos para modificar un suelo natural.	45
Tabla 16 Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.....	45
Tabla 17 Clasificación de Carreteras según su Función	57
Tabla 18 Clasificación de Carreteras según su Demanda	58
Tabla 19 Clasificación de Carreteras según su Condición Geográfica	59
Tabla 20 Clasificación de Carreteras según su Tipo de Superficie de Rodadura	60
Tabla 21 Superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito.....	61
Tabla 22 Longitud de la red vial, según tipo de superficie de rodadura y sistema de carretera, periodo 2005-2008 (kilómetros).....	62
Tabla 23 Evolución de la Red Vial Peruana.....	63
Tabla 24 Características técnicas de la vía de acceso “Moralillos” (de 3.5 km aproximadamente)	75
Tabla 25 Operacionalización de Variables.....	78
Tabla 26 Equipos a utilizar para realizar el proyecto	80
Tabla 27 Materiales a utilizar para realizar el proyecto.....	80
Tabla 28 Cantidad de muestra por calicata	82
Tabla 29 Cantidad de muestras a ensayar	82
Tabla 30 Fases de recopilación de datos.	83
Tabla 31 Ensayos (estándares y especiales) a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.	84

RESUMEN

En esta tesis se investiga el comportamiento que tiene el suelo con la adición de los aditivos PROES y TERRASIL para la estabilización de suelos. Inicialmente se trabajó con porcentajes graduales de los aditivos obteniendo comportamientos diferentes, el PROES como aditivo tiene mejor comportamiento en dar un buen resultado de CBR en su 95% y su 100%, en cambio el TERRASIL tiene a variar en cuanto más se adiciona el aditivo. Esto llega a un resultado positivo en su mayoría, pero se opta por trabajar con el aditivo PROES.

La investigación concluye que existe viabilidad técnica y económica para el uso de los aditivos en suelos arcillosos y en pavimentos o mejoramientos de trochas carrozables ya que ayuda en elevar o mejorar el CBR de los suelos en las cuales se pretende trabajar permitiendo en esto dar más opción de estabilizantes , esta investigación se determina por porcentajes de adición de aditivos en los suelos que se quiera trabajar.

PALABRAS CLAVES: Estabilización de suelos, CBR, PROES, TERRASIL.

ABSTRAC

This thesis investigates the behavior of soil with the addition of PROES and TERRASIL additives for soil stabilization. Initially, the work was done with gradual percentages of the additives obtaining different behaviors, the PROES as an additive has better performance in giving a good result of CBR in its 95% and its 100%, on the other hand, TERRASIL has to vary the more the additive is added . This comes to a mostly positive result, but it is decided to work with the PROES additive.

The research concludes that there is technical and economic feasibility for the use of additives in clay soils and in pavements or improvements of carriageways since it helps to raise or lower the CBR of the soils in which it is intended to work, allowing in this to give more option of stabilizers, this investigation is determined by percentages of addition of additives in the soils to be worked.

KEY WORDS: Soil stabilization, CBR, PROES, TERRASIL.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Según el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo tránsito del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), la capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de subrasante y del afirmado, deberá estar de acuerdo a los valores de diseño; no se admitirán valores inferiores. En consecuencia, si los materiales a utilizarse en la carretera no cumplen las características generales previamente descritas, se efectuará la estabilización correspondiente del suelo. De esta forma, se podrán utilizar suelos de características marginales como subrasante o en capas inferiores de la capa de rodadura y suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente (CBR menor al mínimo requerido) en la capa de afirmado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú).

Gutierrez (2010), en su trabajo de Tesis “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio”, evaluó técnica, económica y ambientalmente las ventajas y desventajas de la estabilización química de suelos utilizando Bischofita y cloruro de calcio (producto a base de cal) considerando su uso en bases y subbases de las carreteras no pavimentadas y de bajo tránsito de la costa peruana; y, en su Informe Final de Tesis, efectúa una serie de precisiones, algunas de las cuales se presenta en las Bases Teóricas del presente Anteproyecto.

Vásquez (2010), en su investigación sobre “Pavimentos no tradicionales para carreteras de selva baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana – Aguas Calientes, Loreto”, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería, señala

que de los diversos métodos de estabilización de suelos existentes, se elige el pertinente en función al tipo de suelo, procedimientos constructivos, costos y a las condiciones que deberá soportar la vía durante su vida de servicio. Para conocer las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante en su estado natural, como trabajo de campo se ejecutaron dieciocho calicatas de 1.50 m de profundidad, distanciadas entre sí un km, además se ejecutaron ensayos de penetrómetro dinámico de cono (PDC), con la que se determinó el CBR in situ y con estos resultados se sectorizó la carretera en dos sectores: el primero comprendido entre las progresivas 00+000 a 14+400 presenta suelo arcilloso de alta plasticidad; y, el segundo sector comprendido entre las progresivas 14+400 a 18+200 presenta suelos arenosos. El investigador para proceder al diseño de suelo-cal, suelo-cemento y suelo-asfalto, utilizó las dos únicas canteras estudiadas por la empresa contratista "Ghama Ingeniería, Proyecto Contamana": una de arcilla color beige, de alta plasticidad, consistencia media y 24% de humedad natural, clasificada como CH (SUCS) o A-7-6(17) (AASHTO), de 1103 kg/m³ de peso volumétrico, de 1297kg/m³ de peso unitario varillado y de 2.67 de gravedad específica, y la otra de material arenoso, clasificada como SM (SUCS) o A-2-4(0) (AASHTO) de 12% a 14 % de contenido de humedad y peso volumétrico comprendido entre 1350 kg/m³ y 1359 kg/m³, 2.61 de gravedad específica y un porcentaje de equivalente de arena entre 70% y 76%. Llegó a las siguientes conclusiones:

En selva baja, los métodos químicos de estabilización de suelos son los más apropiados; y, dentro de ellos, la estabilización con cal hidratada se comportó mejor con suelos arcillosos, debido a la interacción química con éstas, siendo necesario adicionar como mínimo un 3% en peso, para asegurar el incremento de resistencia, obteniendo para la cantera a usar la necesidad de 6%, con el cual aseguró que el CBR de diseño de espesores para el nivel de subbase requerido supere el 26%. Recomendando, para el diseño adecuado de mezcla suelo-cal, las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del

Perú, por las cuales el suelo debe cumplir las siguientes condiciones: contenido de materia orgánica menor a 3%, índice de plasticidad mayor a 15 y el porcentaje que pasa la malla # 200 mayor al 35%.

Nuñez (2011), en su Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil “Elección y Dosificación del Conglomerante en estabilización de Suelos”, que consistió en determinar un método óptimo y sencillo de alcanzar la estabilización de un suelo de alta plasticidad, cuyo IP era de 18.425, tomó en cuenta las investigaciones existentes que ya indican, que es posible determinar el tipo de conglomerante a usar por medio del IP, decidió estabilizar con cal, (cuando se obtiene un IP menor a 10, es un suelo no plástico y el conglomerante más adecuado es el cemento), indicó: “La estabilización de suelos no es más que el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Se dice también que, es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad”.

Pérez (2012), en su trabajo de Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Nacional de Ingeniería, estudió el efecto que produce en el comportamiento de un suelo arcilloso la adición de cenizas volantes de carbón y cemento Portland en diferentes proporciones para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Los 800 kg de material de las muestras de suelo conformantes de la subrasante fueron cien por ciento (100%) arcilla de alta plasticidad (CH), se obtuvieron en el talud del km 132, lado derecho de la carretera Villa Rica – Puerto Bermúdez, ubicada en la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco (zona de la selva central). Asimismo, de la ciudad de Ilo – Moquegua, se recolectó la muestra de ceniza volante de la Central Termoeléctrica de Ilo 21;

recolectándose 500 kg de ceniza volante. Las muestras se llevaron al Laboratorio N° 2 de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería. (Pérez, 2012).

Pérez (2012), para evaluar su comportamiento, realizó ensayos para caracterizar el suelo natural, la ceniza volante, las mezclas suelo – ceniza volante y suelo – ceniza volante – cemento. Los resultados de ensayos físicos, químicos y geotécnicos de las mezclas de cenizas volante y suelo realizadas en este trabajo de Tesis se analizaron y en la discusión se comparó con otras investigaciones realizadas; llegando a las siguientes conclusiones:

Las cenizas volantes de tipo F (principales componentes: SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 representan más del 70%) funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero éste requiere ser adicionado en porcentajes excesivos, al menos en el caso de una arcilla expansiva, en promedio mayor a 20%. (Pérez, 2012).

Los resultados del Ensayo Mineralógico de Difracción de Rayos X realizados en el Laboratorio de INGEMET y los ensayos de materia orgánica de arcilla y cal realizados en el Laboratorio Químico “LASA Ingenieros”, demostraron que el suelo arcilloso y la ceniza volante están constituidos principalmente por cuarzo (SiO_2). (Pérez, 2012).

El suelo estudiado tipo CH / A-7-6 (14) corresponde a una arcilla inorgánica de alta plasticidad y según la investigadora no es recomendable para el uso como subrasante en pavimentos. Sin embargo, Pérez (2012) indica que las arcillas en combinación con cenizas volantes y cemento en un 3%, da buenos resultados mejorando la resistencia del suelo arcilloso estudiado desde 7,7% hasta 51% de CBR al 100% de la máxima Densidad Seca del Próctor Modificado, lo que implica menores espesores de pavimento, obteniéndose menores costos durante la

construcción. La adición de ceniza volante en la muestra de arcilla disminuyó los efectos de expansión, también disminuye la gravedad específica y la plasticidad y humedad de la arcilla. (Pérez, 2012).

Jara (2014), refiere que, en el Perú, la estabilización de suelos arcillosos con cal esta fundamentalmente centrado en la selva amazónica por contar con una gran variedad de suelos arcillosos y con alto contenido de humedad. En el Tercer Congreso Internacional realizado en Sao Pablo, Brasil, de Infraestructura de Transportes (CONINFRA, 2009) presentaron una estabilización de una subrasante de suelo arcilloso con cal llegando a obtener los siguientes resultados como se muestra en la **Tabla 1 Adición de Cal**.

Tabla 1 Adición de Cal

% CAL	PASA N°20 0	L.L.	IP	CLASIFICACIÓN		MÁX. DENS.	HUM. OPT.	CBR AL 95% MDS 0. 1"	COMPRESIÓN NO CONFINADA (28d)(Mpa)
				AASHT O	SUCS				
0.0	36.7	29. 4	10. 2	A-4(0)	Se	1.945	13.3	23.0%	
2.0	38.6	30. 6	7.4	A-4(1)	SM	1.920	13.7	54.0%	1.55
3.0	39.2	31. 2	5.0	A-4(1)	SM	1.902	14.2	75.0%	1.97
4.0	39.2	31. 2	5.0	A-4(1)	SM	1.902	14.2	82.5%	2.22
5.0	40.4	32. 2	2.0	A-4(1)	SM	1.890	14.5	90.0%	2.24
6.0	41.0	30. 1	3.9	A-4(1)	SM	1.870	14.7	69.0%	2.1

Fuente: CONINFRA, 2009.

Cristóbal (2015), en su trabajo de tesis para optar el Título de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería, estudió la influencia de la estabilización de suelos con TerraSil en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos que conforman la estructura y subrasante en caminos no pavimentados de la Selva Peruana. Realizó ensayos estándar de

clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación Proctor Modificado, CBR y compresión no confinada para el material natural y del suelo mezclado con distintos porcentajes del estabilizador químico y llegó a la conclusión “que la adición de TerraSil a los suelos plásticos ensayados mejora considerablemente la capacidad de soporte del suelo (CBR) en función de la naturaleza de los suelos y el porcentaje empleado del aditivo superándose el 100% del valor del suelo convencional, cumpliendo de esta manera las Especificaciones Técnicas exigidas en las normas peruanas (EG-2013).

Cristóbal (2015), hace referencia al Proyecto “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial EMP. PE 04-B (Hualopampa) – Sondor – Huancabamba – Pacaibamba – Socchabamba – Puesto Vado Grande / Sondor – Tabaconas – EMP. PE – 5N (Ambato) / Huancabamba – Canchaque y Socchabamba – Ayabaca”, materia del Contrato N° 069-2012-MTC/20, firmado el 28 de agosto de 2012 entre el Estado Peruano y Consorcio Gestiones Viales del Norte (Obras de Ingeniería – SVC – Odebrecht). Señala, Cristóbal (2015), que, en esta obra, se ha colocado dos tipos de muestra en el tramo de Prueba referenciadas como:

Tramo A: TerraSil (1 kg/m³), ubicado en el Km 2039+100 al 2039+150

Tramo B: TerraSil (0.50 kg/m³) y cemento (1%), ubicado en el Km 2039+150 al 2039+250

Señala, asimismo, Cristóbal (2015) que, se preparó varias series de muestras para efectuar el curado, a los 4, 7, 15 y 30 días al aire libre. De la misma mezcla colocada en las zonas mencionadas, en base a los resultados del CBR, Compresión Simple y Deflectometría se determinó el uso del aditivo solo y/o con cemento portland.

Cristóbal (2015), señala que, con el fin de evaluar las propiedades hidrófobas que confiere el TerraSil en comparación otros estabilizadores para los proyectos: Rehabilitación y/o Mejoramiento del Aeródromo de San Lorenzo, distrito de Barranca, provincia de Datem del Marañón,

departamento de Loreto y Rehabilitación y/o Mejoramiento del Aeródromo de Sepahua, distrito de Sepahua, provincia de Atalaya, departamento de Ucayali, se sometieron a los ensayos correspondientes según la norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109-2004, las siguientes mezclas de suelos:

Tabla 2 Aeródromo de San Lorenzo

Mezcla I	Cantera de arcilla “El Nazareno” (60%) – Cantera San Lorenzo (Acopio) (40%)
Mezcla II	Cantera de arcilla “El Nazareno” (65%) – Cantera San Lorenzo (Acopio) (35%)

Tabla 3 Aeródromo de Sepahua

Mezcla I	Cantera de arcilla “El Mirador” (70%) – Cantera Río Urubamba (30%)
Mezcla II	Cantera de arcilla “El Mirador” (65%) – Cantera Río Urubamba (35%)

El resumen de resultados de C.B.R. y Ensayo de Compresión no Confinada de los suelos estabilizados fueron:

Tabla 4 Aeródromo San Lorenzo

	Mezcla I	Mezcla II	
Dosificación	C.B.R. al 100% de la MDS (MTC E- 132)	C.B.R. al 100% de la MDS (MTC E- 132)	Compresión no Confinada [Kg/cm ²] – ASTM 1633
Natural	9.6	9.5	-

TerraSil (0.5 kg/m3) +(1%) Cemento	26.0	25.0	10.86
PROES (0.30 L/m3) + Cal (3%)	7.2	7.2	11.12

Tabla 5 Aeródromo Sepahua

	Mezcla I	Mezcla II	
Dosificación	C.B.R. al 100% de la MDS (MTC E- 132)	C.B.R. al 100% de la MDS (MTC E- 132)	Compresión no Confinada [Kg/cm2] – ASTM 1633
Natural	16.2	18.3	-
TerraSil (0.5 kg/m3) +(1%) Cemento	26.0	25.1	10.07
PROES (0.30 L/m3) + Cal (3%)	19.0	19.7	12.17

Tal y como indica Cristóbal (2015), para esos suelos, el TerraSil aumenta el C.B.R. hasta en un 170 % más del natural, considerando la baja dosificación de aditivo y material cementante, en comparación al PROES y el ISS 2500 y el PERMAZYME que ensayaron.

Atarama (2015), en su tesis “Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES ”, concluyó que para los suelos de fundación estudiados donde predominan los suelos formados por arena arcillosa y arcillas inorgánicas (AASHTO: A-2-6), con un índice de plasticidad promedio de 13%, humedad natural promedio de 16% y máximos de 51% y cuyos C.B.Rs están en el rango de 5% y 30%; y gravas

arenosas mal gradadas A-1 con CBR medidos en el rango de 33% y 95%; al aplicarlos el aditivo PROES con dosificación entre 0.20 lt/m³ y 0.30 lt/m³ y cemento portland entre 50 y 60 kg/m³ obtuvo CBR al 95% en el rango de 116.4% al 129.9%

Angulo y Rojas (2016), en su trabajo de tesis para optar el Título de Ingeniero Civil por la Universidad Científica del Perú, estudiaron la influencia de la estabilización de suelos con el aditivo PROES en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos presentes en la subrasante de la carretera de penetración al Asentamiento Humano “El Milagro”, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas en Loreto. Realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación Proctor Modificado y CBR para mezclas de materiales naturales existentes en esta vía y de este nuevo suelo mezclado con distintos porcentajes del estabilizador químico PROES y llegaron a la conclusión que la adición de PROES a los suelos mezclados ensayados mejora considerablemente la capacidad de soporte del suelo (CBR) superándose entre 233% y 352%, del valor del suelo convencional, de la siguiente manera:

Tabla 6 Muestra: A-4(1).

Combinación	C.B.R. al 95%	M.D.S.	O.C.H.
A-4 (1) Natural	14.4%	1.922gr/cm ³	11.74%
A-4(1) 2% de cemento	25.5%	1.922gr/cm ³	11.74%
A-4 (1), 2% cemento, 0.3 lt/m ³ aditivo líquido (sumergido)	36.1%	1.922gr/cm ³	11.74%
A-4(1), 2% cemento, 0.3 lt/m ³ aditivo líquido (curado)	43.2%	1.922gr/cm ³	11.74%

Fuente: Angulo y Rojas. 2016

Tabla 7 Muestra: Combinación A-2(4) 85% y A-7-5(9) 15%

Combinación	C.B.R. al 95%	M.D.S.	O.C.H.
A-2 (4) y A-7-5(9) Natural	43.7%	1.964gr/cm ³	11.09%
A-2(4) y A-7-5(9), 2% de cemento	74.0%	1.964gr/cm ³	11.09%
A-2 (4) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m ³ aditivo líquido	102.0%	1.964gr/cm ³	11.09%

Fuente: Angulo y Rojas. 2016

Tabla 8 Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S. y O.C.H.

Combinación	C.B.R. al 95%	M.D.S.	O.C.H.
A-3 (0) y A-7-5(9) Natural	23.6%	1.768gr/cm ³	13.54%
A-3(0) y A-7-5(9) 2% de cemento	72.0%	1.768gr/cm ³	13.54%
A-3 (0) y A-7-5(9) 2% cemento, 0.3 lt/m ³ aditivo líquido.	83.0%	1.768gr/cm ³	13.54%

Fuente: Angulo y Rojas. 2016

Rodríguez (2016), en su trabajo de Tesis para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Técnica de Ambato, hizo un 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 – Ecuador, de una longitud de 3km + 822m, en la cual realizó calicatas cada 500m, efectuando en las muestras obtenidas los siguientes ensayos: límites de Atterberg, humedad óptima, densidad máxima, ensayo de compactación (Próctor Modificado), y el C.B.R. En el suelo ensayado se adicionó el 2%, 4%, 6% y 8% de TerraSil,

y en el ensayo de Próctor Modificado el suelo mejorado con este aditivo, resultó mejor que el suelo natural y que el suelo mejorado con material pétreo como sub base y base; así la capacidad del suelo mejorado con TerraSil después de siete (7) días de realizado el ensayo aumentó el 14%, y la humedad disminuyó en un 27.86%; además, este investigador concluyó que trabajar con material pétreo para mejorar la vía era más costoso que con el producto químico en cuestión, ya que en éste se elimina el rubro transporte de material, el que según Calbrand (2010), supone el retiro del suelo natural y el posterior reemplazamiento por otros suelos de mejores características geotécnicas y mecánicas (Rodríguez, 2016).

Sin embargo, Rodríguez (2016) en las recomendaciones de su estudio señala lo siguiente:

- Para obtener una mejor estabilización de la subrasante, se podría realizar las siguientes combinaciones como: suelo – TerraSil y cemento, suelo – TerraSil y cal.
- El agua que será utilizada, deberá ser limpia evitando así cualquier tipo de contaminación orgánica o química, caso contrario se podría utilizar un filtro, para purificarla.
- No se debe realizar trabajos de mejoramiento en condiciones de lluvia ya que la humedad aumenta y el suelo se satura e impide la infiltración del TerraSil.
- Luego de haber compactado la subrasante con TerraSil, se debe realizar una última regada del producto para obtener un sellado final.

Según ensayos realizados para mejorar la rasante de esta vía (Vía de Acceso Moralillos), por la Dirección Ejecutiva de Infraestructura Vial de la DRTC – GORE Loreto (2017) en las siguientes progresivas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Calicata N° 1, km 1+500

- Pasa tamiz N° 200	48.10
- Límite Líquido	36.00
- Límite Plástico	22.14
- Índice de Plasticidad	13.86
- Clasificación AASHTO	A-4
- Clasificación SUCS	CL
- Máxima Densidad Seca	1. 848
- Óptimo contenido de humedad	14.0%
- C.B.R.	10.0%

Calicata N° 2, km 1+550

- Pasa tamiz N° 200	63.60
- Límite Líquido	55.90
- Límite Plástico	28.25
- Índice de Plasticidad	37.65
- Clasificación AASHTO	A-7-6 (20)
- Clasificación SUCS	CH
- Máxima Densidad Seca	1.7 84
- Óptimo contenido de humedad	17.0%
- C.B.R.	6.50%

Calicata N° 3, km 2+600**Estrato N° 1**

- Pasa tamiz N° 200	33.95
- Límite Líquido	20.90
- Límite Plástico	18.42
- Índice de Plasticidad	2.48
- Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)
- Clasificación SUCS	SM

Estrato N° 2

- Pasa tamiz N° 200	94.85
- Límite Líquido	54.30
- Límite Plástico	24.90
- Índice de Plasticidad	27.40
- Clasificación AASHTO	A-7-6 (18)
- Clasificación SUCS	CH

1.2. Bases teóricas

1.2.1.1. Suelo

Jara (2014), en su trabajo de tesis sobre “Efecto de la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo arcilloso” haciendo referencia a Juárez y Rico (2005), manifiesta que “Es común creencia que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización; pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían "vectorialmente". En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y éste es un hecho del que se hace abundante aplicación” (Juárez y Rico, 2005).

1.2.1.2. Sub rasante

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su Manual para El Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, resume que, la función principal de esta capa es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación. Se le considera como la cimentación del pavimento y es la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento. (MTC M. d., 2005).

Se identificarán cinco categorías de subrasante tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9 Categoría de la Subrasante según su CBR indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC

Nombre	Subrasante	CBR
SO	Muy Pobre	<3%
S1	Pobre	3%-5%
S2	Regular	6%-10%
S3	Buena	11%-19%
S4	Muy Buena	>20%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC, 2013.

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con calificación bearing ratio (CBR) igual o mayor de 6%. De ser menor, se deberá desechar el material o estabilizarlo.

1.2.1.3. Suelos residuales

Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan in situ. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen sobre la velocidad de alteración en la naturaleza de los productos de meteorización están el clima (temperatura y lluvia), el tiempo, la naturaleza de la roca original, la vegetación, el drenaje y la actividad bacteriana. Los suelos residuales suelen ser más abundantes en zonas húmedas, templadas, favorables al ataque químico de las rocas y con suficiente vegetación para evitar que los productos de meteorización sean fácilmente arrastrados. (Muelas s.f.).

Carrillo-Gil (1978), tratando sobre los ensayos de laboratorio de suelos residuales, señaló: "En el Perú, los suelos tropicales en un gran porcentaje son de tipo saprolíticos, esto es, suelos arcillosos mezclados con limo y arena principalmente. Algunos resultados de ensayos de resistencia al cortante efectuadas en los suelos del Perú indican valores muy dispersos; sin embargo, se ha encontrado que la prueba de la veleta practicada en el campo en los suelos saprolíticos

que se encuentran muy fisurados, la medida de la resistencia al corte sin drenaje efectuada en el campo arroja siempre valores mucho más confiables que las ensayos de laboratorio, comprobándose que estos valores son mucho más altos en casi todos los casos que los obtenidos por otros medios, siendo el límite más bajo los resultados de los ensayos triaxiales rápidos y los más próximos los resultados de los ensayos de Compresión-No-Confinada, quizás debido a la descompresión que sufren estos suelos al ser obtenidos en profundidad y a la alteración de los especímenes con el manipuleo, o los efectos de la succión en los suelos parcialmente saturados que hacen variar su resistencia al cortante”. (Carrillo-Gil, 1978).

Carrillo-Gill (2016), al tratar sobre el tema de estabilización con cal de suelos residuales en la selva baja peruana, señaló: “De la investigación llevada a cabo con fines de estabilización con cal para algunos suelos saprolíticos de la amazonia peruana que permanentemente presentan contenidos, de humedad natural mucho mayores que el óptimo de compactación, se han encontrado algunos resultados de laboratorio para especímenes que presentan capacidad portante tan baja como CBR de 1% a 5% en promedio, y que al mezclarse con cal se obtiene un aumento substancial en el valor del CBR para diferentes tiempos de curado, probablemente debido al desarrollo de la reacción puzolánica en el suelo, estableciéndose que con 5% a 6% de cal hidratada en peso es posible obtener un mínimo de 15% de CBR como resistencia inicial para las arcillas saprofíticas de la selva baja, y si se continua el curado, se encontró que después de un buen tiempo el CBR aumentó considerablemente llegando hasta valores mayores del 29% en 140 horas (Carrillo-Gil, et al, 1993). En la mayoría de los casos, la adición de 5%, a 6% de cal hidratada fue suficiente para lograr resistencias adecuadas para el diseño de pavimentos de carreteras, calles y aeródromos para aviones medianamente pesados que normalmente hacen servicio en las áreas selváticas del Perú”.

1.2.1.4. Suelos sedimentarios

La formación de los suelos sedimentarios puede explicarse más adecuadamente considerando la formación, el transporte y el depósito de los sedimentos. (Muelas s.f.).

El modo principal de la formación de sedimentos lo constituye la meteorización física y química de las rocas en la superficie terrestre. En general, las partículas de limo, arena y grava se forman por la meteorización física de las rocas, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas. (Muelas s.f.).

Según Muelas s.f, los sedimentos pueden ser transportados por cualquiera de los cinco agentes siguientes: agua, aire, hielo, gravedad y organismos vivos. El transporte afecta a los sedimentos de dos formas principales:

Modifica la forma, el tamaño y la textura de las partículas por abrasión, desgaste, impacto y disolución;

Produce una clasificación o graduación de las partículas.

Después de que, las partículas se han formado y han sido transportadas se depositan para formar un suelo sedimentario. Las tres causas principales de este depósito en el agua son la reducción de la velocidad, la disminución de la solubilidad y el aumento de electrolitos. Cuando una corriente de agua desemboca en un lago, océano, etc., pierde la mayor parte de su velocidad. Disminuye así la fuerza de la corriente y se produce una sedimentación. Cualquier cambio en la temperatura del agua o en su naturaleza química puede provocar una reducción en la solubilidad de la corriente, produciéndose la precipitación de algunos de los elementos disueltos (Muelas s.f).

Muelas s.f, concluye que, el suelo es el resultado del proceso de meteorización de las rocas, con o sin transporte de los productos de alteración. Los suelos se caracterizan fundamentalmente por los siguientes aspectos:

Los suelos están formados por partículas pequeñas (desde micras hasta algunos centímetros) e individualizadas que pueden considerarse indeformables.

Entre estas partículas quedan poros con un volumen total del orden de magnitud del volumen ocupado por ellas (desde la mitad a varias veces superior).

Un suelo en particular, es un sistema multifase (sólida, líquida y gaseosa).

Los poros pueden estar llenos de agua (suelos saturados), o con aire y agua (suelos semisaturados), lo que condiciona la respuesta de conjunto del material.

En condiciones normales de presión y temperatura, el agua se considera incomprensible. (Muelas s.f).

1.2.1.5. Propiedades físicas y clasificación de los suelos

a) Relaciones peso-volumen

Como se mencionó anteriormente, el suelo constituye un sistema de tres fases diferenciables: la sólida (partículas minerales), la líquida (agua generalmente) y la gaseosa (aire o gas). Un elemento de suelo natural se lo separa en sus tres fases para facilitar la deducción de las relaciones entre ellas (Das, 2001). Las propiedades físicas se expresan, básicamente, a partir de las relaciones peso-volumen, (relaciones en volumen y relaciones en peso), la densidad o compacidad relativa, granulometría y plasticidad. Las relaciones en volumen son: índice de huecos o poros, porosidad y grado de saturación; y, las relaciones en peso: Humedad, peso específico de las partículas sólidas, peso específico del agua, peso específico seco, peso específico aparente y peso específico saturado (Das, 2001).

b) Densidad o compacidad relativa

Una magnitud muy empleada para caracterizar la compacidad de un suelo granular es la densidad relativa, definida como:

$$D_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \times 100 = \frac{\gamma_d \acute{a}x}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_d \acute{i}n}{\gamma_d \acute{a}x - \gamma_d \acute{i}n} \times 100$$

Siendo:

$e_{m\acute{a}x}$: Índice de huecos del suelo en el estado más suelto

$e_{m\acute{i}n}$: Índice de huecos del suelo en el estado más denso

e : Índice de huecos in situ

γ_d : Peso específico seco in situ

$\gamma_d \acute{a}x$: Peso específico seco en el estado más denso ($e_{m\acute{i}n}$)

$\gamma_d \acute{i}n$: Peso específico seco en el estado más suelto ($e_{m\acute{a}x}$)

En la tabla siguiente se indican las denominaciones de la compacidad de los suelos granulares a partir de su densidad relativa:

Tabla 10 Denominaciones de la compacidad (Das, 2001)

Densidad relativa (%)	Denominación
0-15	Muy suelto
15-35	Suelto
35-65	Medio
65-85	Denso
85-100	Muy denso

Fuente: Das, 2001

c) Granulometría

En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente, es decir su distribución no es uniforme. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica, es decir, la distribución, en porcentaje, de los distintos

tamaños dentro del suelo. (Muelas s.f).

La distribución granulométrica de partículas de tamaño superior a 0,08 mm se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08 mm) se emplea la granulometría por sedimentación. (Muelas s.f).

El análisis granulométrico por tamizado se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices (cuyo tamaño de malla suele ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2), agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz. (Muelas s.f).

El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas), (Muelas s.f).

Según Muelas s.f, una vez determinada dicha curva granulométrica, existen dos coeficientes que se utilizan para una mejor descripción de la granulometría de un suelo. Estos coeficientes son:

) **Coeficiente de uniformidad:** $C_u = \frac{D_6}{D_1}$

) **Coeficiente de curvatura:** $C_c = \frac{(D^2)_3}{D_6 \times D_1}$

El coeficiente de uniformidad representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% de material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 10%. (Das,2001).

El coeficiente de curvatura del suelo, también llamado de graduación,

si adopta valores entre 1 y 3 se considera suelo bien graduado. Se determina dividiendo el cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% del material, entre el producto de los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasa un 60% y un 10% del material. (Muelas s.f).

Das (2001), al tratar del análisis granulométrico con el hidrómetro, señala que: El análisis granulométrico por sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0,08 mm) se lleva a cabo con el hidrómetro, y se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua. Los hidrómetros están calibrados para mostrar la cantidad de suelo que está aún en suspensión en cualquier tiempo dado, t. El diámetro máximo de las partículas de suelo, aún, en suspensión en el tiempo t se determina mediante la ley de Stokes:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Donde:

D = diámetro de la partícula de suelo

G_s = peso específico de los sólidos

η = viscosidad del agua

γ_w = peso específico del agua

L = longitud efectiva (es decir, longitud medida de la superficie del agua en la probeta al centro de gravedad del hidrómetro.

t = tiempo

Las partículas de suelo con diámetros mayores que los calculados con la ecuación anterior se habrán asentado más allá de la zona de medición. Así, con lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado puede calcularse y prepararse, a partir de los diámetros, una gráfica de la distribución granulométrica de los suelos (Das, 2001).

Por su parte, Crespo Villalaz (2007), en su libro Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Sexta Edición, Limusa Noriega Editores, señala: Los Procedimientos para la determinación de los tamaños de partículas menores a 0.074 mm están basados en la Ley de Stokes, que da la velocidad de sedimentación de partículas sólidas esféricas en un líquido. La velocidad de sedimentación está dada por la fórmula:

$$v = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 (D_u - D_w)}{9 \cdot \mu} = \frac{H}{t}$$

En la que:

v = Velocidad de caída de las partículas en cm/seg.

g = Aceleración de la gravedad en cm/seg²

r = Radio de la esfera en cm

D_a = Densidad absoluta del material en g/cm³

D_w = Densidad absoluta del agua en g/cm³.

μ = Viscosidad absoluta del agua en g/cm.seg

H = Altura de caída de la esfera en cm

t = Tiempo transcurrido, en seg.

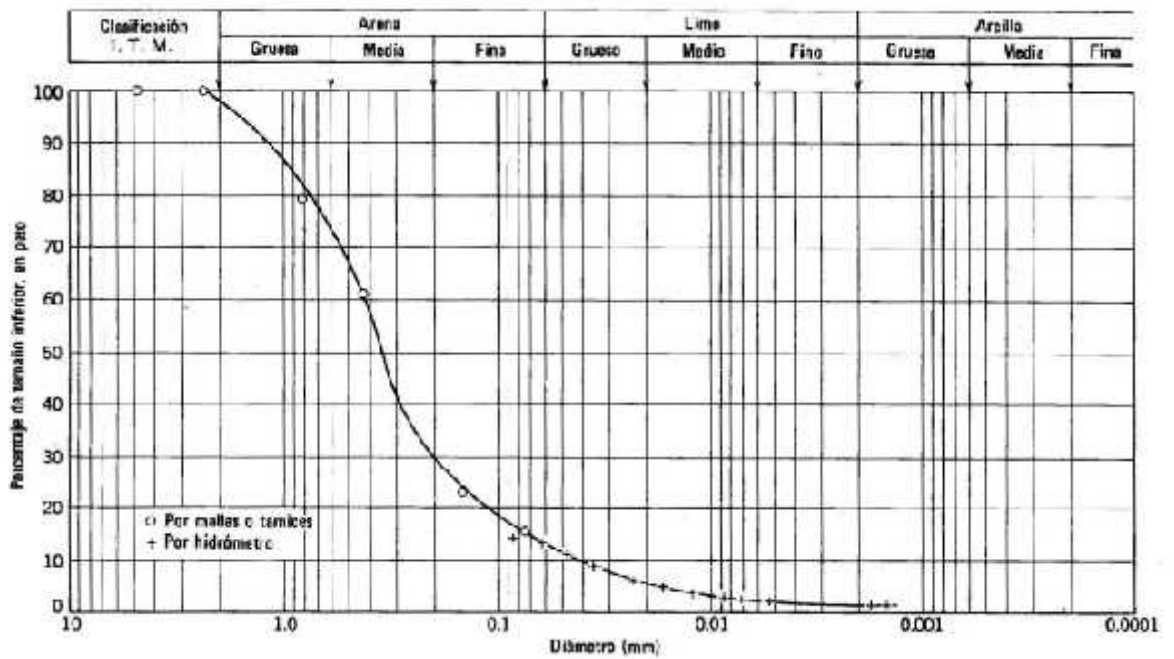
Con agua a 20°C, $\mu = 0.0101$ g/(cm.seg) y con esferas de densidad absoluta de 2.65 g/cm³, que es un valor medio entre los minerales que se encuentran en el suelo, la fórmula anterior se transforma, quedando así:

$$v = 35,613.86 r^2$$

Con los dos métodos de análisis granulométrico expuestos, tanto el por tamizado, como con el hidrómetro, puede determinarse la curva granulométrica completa de una muestra de suelo (ver curvas granulométricas adjuntas).

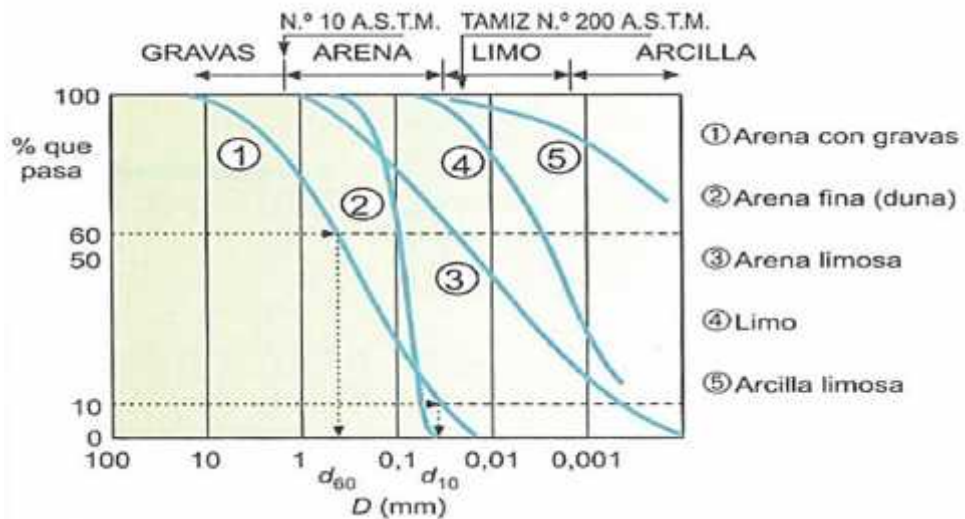
En función de la granulometría se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos: gravas, arenas, limos y arcillas. Las arcillas, son los materiales de las que tratará la presente investigación; y, están constituidas por minerales de silicatos, constituidos por cadenas de elementos

tetraédricos y octaédricos, cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0.002mm.



Gráfica 1 Curva granulométrica de un suelo (Según Lambe, 1951).

Fuente: Lambe, 1951.



Gráfica 2 Curvas granulométricas

Fuente: Muelas s.f.

d) Plasticidad

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua (Das, 2001).

Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan Límites de Atterberg (Lambe & Whitman, 1995).

El concepto de que un suelo puede presentarse en varios estados, en función del contenido de humedad, se basa en que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el comportamiento del suelo al de un líquido (Jara, 2014).

"Esta variación de la consistencia en función de la humedad (a la que se conoce como plasticidad) es propia de suelos finos (arcillas y limos), ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta" (Jara, 2014).

La determinación de los Límites de Atterberg se lleva a cabo en laboratorio, definiéndose el límite plástico como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm de diámetro. El límite líquido del suelo, se determina utilizando la copa de Casagrande (Designación de Prueba D -4318 de la ASTM) (Das, 2001). El significado físico de los límites de Atterberg y su utilización práctica se considerará en el Informe Final de Tesis.

Según Das (2001), la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como Índice de Plasticidad:

$$I_p = L - L_p$$

El índice de liquidez o fluidez se define como:

$$I_L = \frac{W_n - W_p}{W_L - W_p}$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido (Lambe & Whitman, 1995).

Con el fin de proporcionar una representación adecuada de la plasticidad de una muestra de suelo se emplea la denominada Carta de Plasticidad de Casagrande (Muelas, s.f.). La Carta de Plasticidad y la tabla de clasificación SUCS se presentarán en el Informe Final de Tesis.

Muelas (s.f.), indica que, en el gráfico "Carta de Plasticidad de Casagrande", se representa la relación del límite líquido (abscisas) con el índice de plasticidad (ordenadas). Casagrande definió que los suelos con $LL > 50$ son de "alta plasticidad" (pueden admitir un mayor contenido de agua y por tanto pueden experimentar deformaciones plásticas mayores). Los suelos con $LL < 50$ se denominan de "baja plasticidad". Complementariamente, el Ing. Casagrande, definió una línea A, que separa los suelos arcillosos de los más limosos. Así, a partir del criterio de alta y baja plasticidad y de la línea A, se pueden definir varias zonas en el gráfico anterior. Los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido al estado líquido (menor índice de plasticidad), situándose por debajo de la línea A. En el caso de las arcillas, dicho intervalo de humedad es mayor, situándose por encima de la línea A. Se definen, por tanto, varios tipos de suelos: arcillas de alta plasticidad (CH), arcillas de baja plasticidad (CL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) y limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) (Muelas, s.f.).

e) Análisis de materia orgánica que contiene un suelo

El ensayo de los niveles de contenido de materia orgánica que contiene un suelo se realiza por el método Walkley y Black. La materia orgánica es una mezcla heterogénea de sustancias de origen vegetal, animal y microbiana que, dentro del suelo, influyen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas.

El método se basa en la oxidación por medio del Dicromato de Potasio que reacciona en un volumen con dos de Ácido Sulfúrico concentrado. El exceso de Dicromato de Potasio se determina valorando con solución de Sulfato Ferroso Amoniacal en presencia como indicador Difenilamina Sulfúrica.

Previamente a la determinación de materia orgánica se debe estar seguros que no existen sales de cloro ya que pueden ser la fuente de error, en caso que existan se deben eliminar las sales solubles antes de la determinación. En la Tabla 4.05 se muestra los Niveles de Materia Orgánica.

Tabla 11 Niveles de Materia Orgánica

Niveles de contenido	Porcentaje de materia orgánica
Bajo	0 - 2
Medio	2 - 4
Alto	Más de 4

f) Clasificación de suelos

Con el objeto de dividir los suelos en grupos de comportamiento semejante, con propiedades geotécnicas similares, surgen las denominadas clasificaciones de suelos. (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995).

La clasificación de suelos consiste, pues, en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. La correlación de unas ciertas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación suele ser un proceso empírico puesto a punto a través de muchos años de experiencia. (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995).

La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para asignarlo a un determinado grupo (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995). Las propiedades ingenieriles básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los Límites de Atterberg, el contenido en materia orgánica, etc. “La clasificación de suelos constituye una ayuda valiosa para el ingeniero, le da indicaciones generales, transformando de manera empírica los resultados de la experiencia de campo. Sin embargo, el ingeniero debe ser precavido al utilizar las clasificaciones de suelos. La resolución de problemas de flujo, asentamiento o estabilidad únicamente a partir de clasificaciones puede llevarle a resultados desastrosos”. (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995).

Muelas (s.f), indica que los dos sistemas principales de clasificación de suelos actualmente en uso son el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el SUCS (Unified Soil Classification System). El primero se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de explanadas de canteras. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su “Sistema de clasificación de aeropuertos” propuesto inicialmente en 1942 para aeropuertos y después, en 1952, revisado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema es el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos de ingeniería en los que intervienen suelos

(permeabilidad, resistencia y compresibilidad de diversos tipos de suelos de cada grupo para su empleo en presas de tierra, canales, cimentaciones y pistas de aeropuertos). (Muelas, s.f)

El sistema SUCS clasifica los suelos en base a su granulometría, los Límites de Atterberg y el contenido en materia orgánica. A continuación, se muestra dicha clasificación, junto con los símbolos empleados en la misma, así como una descripción de las propiedades esperables de los grupos diferenciados según Muelas, (s.f), abarca solo gravas, arenas, suelos limosos y arcillosos.

Tabla 12 Clasificación de los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría.

Tipo de Suelo	Descripción	Tamaño
Gravas	Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua.	80 mm. y 4,75 mm
Arenas	Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua.	4,75 mm. y 0,075 mm
Limos	Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exuda con facilidad.	0,075 mm y 0,002 mm
Arcillas	Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatos, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy	Tamaños inferiores a 0,002 mm

	importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños, pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja (Muelas s.f.).	
--	--	--

Fuente de Origen: Crespo, 2007

Fuente: Adaptación de los autores.

Tabla 13 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; LL<50; PI>7; Límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
ML	Inorgánico; LL<50; PI<4; Límites de Atterberg debajo de la línea A (véase zona ML en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
OL	Orgánico; (LL no secado en horno) / (LL secado en horno) <0.75; LL <50 (véase zona OL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CH	Inorgánico; LL 50; PI sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
MH	Inorgánico; LL 50; PI debajo de la línea A (véase zona MH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)

OH	Orgánico;(LL no secado en horno) / (LL secado en horno) <0.75; LL 50 (véase zona OH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CL-ML	Inorgánico; LL >50; 4 PI 7; Límites de Atterberg arriba de la línea A. Se grafica en la zona sombreada en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)

Fuente de Origen: (Das, 2001)

Fuente: Adaptación de los autores.

La clasificación AASHTO ASTM D 3282 – 94 se presentará en el Informe Final de Tesis.

1.2.1.6. Estabilización de suelos

La estabilización significa, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo. Este último aspecto del proceso tiene fundamental importancia, ya que, de su existencia, depende la existencia del primero (Márquez, 2005).

La estabilización, según Elizondo y Sibaja (2008), se define como el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente, el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres

objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

Los suelos con contenidos apreciables de arcillas y limos, presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras, dentro de las cuales en los caminos se presentan las mayores exigencias por su exposición al clima, debido a que estos suelos poseen elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (expansión y contracción) (Beltrán y Copado, 2011).

1.2.1.7. Métodos de estabilización de suelos

1.2.1.7.1. Descripción de los principales métodos

Son varios los procedimientos para modificar un suelo natural, y someterlo a tratamiento, una forma de clasificarlos es de la siguiente manera (Gárnica, et al., 2002):

Tabla 14 Métodos de mejoramiento de suelos

Métodos	Físicos	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
		Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
	Químicos (Estabilizaciones)	Con cemento.
		Con asfalto.
		Con sal.
		Con cal.
		Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	Mecánicos	Compactación.

Fuente: La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Rico Rodríguez, Alonso y Del Castillo, Hermilio, Editorial Limusa S.A., 1974, México.

Tabla 15 Procedimientos para modificar un suelo natural.

PROCEDIMIENTOS		
Procedimientos mecánicos (compactación):	Procedimientos físicos:	Procedimientos químicos (estabilizaciones):
Amasado (rodillos pata de cabra).	Mezcla (suelo con suelo)	Cal
Impactos de Carga (pisones).	Confinamiento (suelos friccionantes)	Cemento Portland
Presión estática (rodillos lisos y neumáticos).	Consolidación previa (suelos finos arcillosos)	Ceniza volante
Vibración (rodillos vibratorios).	Vibroflotación	Asfaltos
Métodos Mixtos (combinación de los métodos anteriores).		Otros

Fuente: Los Autores.2018

Según refiere Gutiérrez (2010), En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. En el cuadro siguiente se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos. Los aditivos, materiales o agentes a usarse en el proceso de estabilización de las carreteras no pavimentadas son clasificados tal como se detalla en los siguientes apartados.

Tabla 16 Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos

Componente dominante	Estabilizante recomendado	Objetivos
Arenas	<ul style="list-style-type: none">) Arcilla de baja plasticidad) Cemento Portland) Asfaltos 	<ul style="list-style-type: none">) Para estabilización mecánica

		) Incrementar el peso volumétrico de la cohesión) Incrementar la cohesión
Limos	) Dependerá del tipo de minerales que contenga	-----
Alófanos	) Cal	Acción puzolánica e incremento del peso volumétrico
Caolín	) Arena) Cemento Portland) Cal	) Para estabilización mecánica) Para resistencias tempranas) Trabajabilidad y Resistencia tardía
Ilita (mineral de arcilla)	) Cemento) Cal	) Para resistencias tempranas) Trabajabilidad y Resistencia tardía
Montmorilonita	) Cal	) Trabajabilidad y Resistencia, reducción de expansiones y contracciones

Fuente: Gárnica et al. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres; pág. 10.

Pérez (2012), en su investigación señala: “En los suelos de fundación de baja capacidad de soporte, con presencia de arcilla débil o compresible la estabilidad se alcanza comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de baja capacidad de soporte a los cuales se los sustituye en todo su volumen y espesores considerables generalmente por grava arenosa, piedra triturada, arena, los cuales son compactados para aumentar la capacidad de carga (Kukko, 2000). Hoy día, a las cuestiones de costo, plazo y calidad en los procesos de ejecución de obras, se agrega como factores determinantes de optimización, la cuestión ambiental presente en la extracción y transporte del material de préstamo para la sustitución de los de mala calidad y los vertederos para depositar el material inapropiado. Por

tanto, se hace cada vez más necesaria la utilización de todos los materiales que se encuentran directamente dentro del área de las propias obras, sean cuales sean sus propiedades. Ello obliga a un estudio detallado de sus propiedades para así adoptar los tratamientos y medidas necesarias a tomar en cuenta para lograr que su comportamiento sea satisfactorio durante la vida útil de la obra, y por supuesto, a un costo razonable (Beltrán y Copado, 2011).

La estabilización de suelos in situ, es la técnica de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que, al encontrarse en el sitio de la obra, no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Los medios para la estabilización de suelos van desde el reemplazo del material inadecuado hasta la incorporación de elementos químicos que al reaccionar con el suelo dan como resultado un suelo con mejores propiedades.

Con la estabilización de suelos in situ se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica; además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa. Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y por otro, traer enormes volúmenes de material de préstamo.

Vásquez (2010), refiriéndose a estabilización de suelos, recalca la premisa "No existe el Estabilizador que se aplique a los suelos y mejore todas sus propiedades". Existen muchos agentes estabilizantes que ofrecen diversas mejoras en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo, por lo que una adecuada selección del método de estabilización parte de reducir al mínimo los posibles agentes estabilizadores en función de las limitaciones de fuentes de materiales, clima, tráfico y las exigencias del diseño de pavimento y las mínimas afectaciones ambientales. Una vez predeterminado el o los posibles agentes de

estabilización se proceden a realizar los diseños de mezcla, con éstos a diferentes proporciones con el fin de obtener los porcentajes óptimos y así poder discriminar en función de los factores económicos su empleo (Vásquez, 2010).

El proceso de estabilización que inicialmente se aplicaba solamente a suelos y materiales de escasa calidad se ha extendido actualmente a capas granulares formadas por gravas de calidad, tratadas. Este tipo de materiales se fabrican en plantas especiales y están sometidos a continuos controles de calidad, para ser transportados posteriormente a obra. Hasta ahora los principales aditivos empleados han sido el cemento y la cal, sin embargo, la estabilización con estos aditivos aumenta los costos en la construcción y no controlan de manera satisfactoria la pérdida de humedad en los suelos utilizados para fundación de una construcción (Roldán de Paz, 2010).

El diseño de la estabilización de suelos con agentes estabilizantes, por ejemplo, con cal y cemento, consiste en primer término en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo con base en la cual se determina el tipo y cantidad de estabilizante, así como, el procedimiento para efectuar la estabilización. Estos materiales son generalmente utilizados para estabilizar capas de base o subbase, también son muy utilizados para mejorar subrasantes. Sin embargo, según Núñez (2011), los proyectos típicos que se han beneficiado de la estabilización con cal y cemento, incluyen:

- Autopistas, carreteras principales y secundarias.
- Pistas de aterrizaje y de servicio en aeropuertos.
- Aparcamientos y explanadas de fábricas.
- Estabilización de laderas.
- Caminos vecinales, pistas forestales y caminos Rurales.
- Vías férreas.
- Recuperación de muelles en desuso.
- Recuperación de terrenos contaminados.
- Rellenos estructurales.

1.2.1.7.2. Estabilización química de los suelos.

Salas (2018), en su tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, hace mención a los conceptos de Torrente & Sagúes (1947), sobre la estabilización química, en la que hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

Según refiere Gutiérrez (2010), La estabilización química hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. El diseño de estabilizaciones con agentes químicos estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización.

Según, Pérez (2012) la técnica de estabilización química de suelos se basa en la interacción de los elementos presentes en el suelo, de los componentes del medio ambiente y en este caso de la cal adicionada. El suelo influye de acuerdo a su mineralogía, o sea, presencia de cuarzo y minerales de arcillas; el medio ambiente influye a través de la temperatura, agua, aire; y, la cal interactúa con el sistema debido a la presencia de óxido de calcio o magnesio. Esta interdependencia se manifiesta en función de las reacciones físicas, químicas y físico-químicas, predominantemente de las que ocurren entre la cal y el suelo. Así, el proceso de estabilización envuelve cuatro reacciones distintas que son: intercambio iónico, la floculación y aglomeración, reacciones puzolánicas y carbonatación.

Las características principales de las sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores son:

Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

Cemento Portland: aumenta la Resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Productos Asfálticos: es muy usado para material triturado sin cohesión.

Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo.

Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Polímeros: éste se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Salas (2018), coincidiendo con Gutiérrez (2010), también señala: El diseño de estabilizaciones con agentes químicos estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como, el procedimiento para efectuar la estabilización; y, presenta la misma lista de características principales de las sustancias químicas a que se refiere Gutiérrez (2010).

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado (Torrente & Sagúes, 1947).

Gutiérrez (2010), señala que “La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de

acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Norma Técnica de Estabilizadores Químicos)”.

Para el caso de vías de transporte, la estabilización con químicos debe ser evaluada desde antes de su implementación hasta su posterior aplicación. En la tecnología PROES 2013b, se recomienda controlar las características para las cuales se está diseñando el pavimento, el comportamiento del suelo al cual se va a aplicar esta tecnología y posteriormente se debe realizar ensayos in situ para diagnosticar la presencia de problemas (Olazabal, 2014).

Los productos químicos biodegradables son los materiales más utilizados en la construcción de vías de transporte, incluyéndose su uso en la estabilización de taludes; y, a nivel mundial, gran parte de la infraestructura de los países con este tipo de productos, por lo que su conocimiento y tecnología son básicos para el ingeniero civil encargado de alguna etapa del proceso constructivo (Fabricio y Sanabria, 2012).

1.2.1.8. Usos de la estabilización en obras viales

Los dos usos principales de la estabilización del suelo, si se espera utilizarlo como material para relleno en obras viales, están referidos a los de mejoramiento de la calidad del nuevo material resultante de la estabilización y a la reducción del espesor de los elementos del paquete estructural del pavimento:

a. Mejoramiento de la calidad

Una de las principales mejorías que se logran a través de la estabilización de la subrasante es en cuanto a la graduación del suelo. Igualmente se logra reducir el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. Por otro

lado, se incrementa su durabilidad y dureza. En climas húmedos la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más apta para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejorías pueden ser llamadas: “modificación del suelo”. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

b. Reducción del espesor

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base o la subbase pueden ser reducidos si el material estabilizado presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerido. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

En los casos en los que se requiere realizar sustitución de material, la posibilidad de reducir el espesor del material que se va a colocar es de mucha utilidad ya que se reducen los costos en cuanto a excavaciones. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

1.2.1.9. Estabilización de vías no pavimentadas

(Sagues & Torrente, 1968), mencionan que, “Existen en la práctica diversos métodos para estabilizar los suelos; cada método, utiliza diferentes agentes estabilizadores, entre los que se pueden encontrar: La cal, el cloruro de sodio, el cemento, los asfaltos, las imprimaciones reforzadas, la Bischofita entre otros; incluso se ha utilizado la combinación de diferentes productos estabilizadores, así como la mezcla de suelos con el fin de dar soluciones óptimas a problemas particulares. Según el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito - MTC (2008), la capacidad portante o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de las capas de subrasante y del afirmado, deberá estar de acuerdo a los valores de diseño; no se admitirán valores inferiores. En consecuencia, si los materiales a utilizarse en la carretera no cumplen las características generales previamente descritas, se efectuará la estabilización correspondiente del suelo. De esta forma, se podrán utilizar suelos de características

marginales como subrasante o en capas inferiores de la capa de rodadura y suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente (CBR menor al mínimo requerido) en la capa de afirmado. La estabilización puede ser granulométrica o mecánica, conformada por mezclas de dos o más suelos de diferentes características, de tal forma que se obtenga un suelo de mejor granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, etc. También la estabilización se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo.” (Torrente & Sagúes, 1947), (Salas, 2018).

Según Olazabal (2014), los suelos resisten a las cargas de tráfico mediante la resistencia al corte, el cual está dado por la siguiente relación:

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante

C= Cohesión del material

σ = Esfuerzo normal (Tensión de normal)

ϕ = Ángulo de rozamiento interno

Según el fabricante de PROES 2013a, por lo general la mayoría de tecnologías del medio afectan al ángulo de rozamiento interno, pero en el caso de la Tecnología PROES actúa sobre la cohesión del material. Al intervenir en este factor se logra que las partículas del suelo estén más unidas unas de otras, dando consistencia al terreno y por lo tanto dar como resultado un suelo impermeable.

Entre los productos químicos usados como estabilizadores de las vías no pavimentadas tenemos: los óxidos e hidróxidos de calcio, los cloruros de calcio (Ca), sodio (Na), los cloruros férricos; el silicato sódico, el cloruro de magnesio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6 H_2O$) o Bischofita y las resinas. En el Perú, es en la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde se encuentra las recomendaciones y sugerencias necesarias a tenerse en cuenta en caso se desee verificar si el producto químico estabilizador cumple con las características indicadas en la documentación técnica

entregada por el fabricante o distribuidor. También, en dicha Norma se establecen los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades y el comportamiento del suelo mejorado; además de establecer recomendaciones a tenerse en cuenta en la utilización de los diversos estabilizadores químicos, excepto la cal y ceniza.

1.2.1.10. Estabilización de Subrasantes, Sub Bases y Bases de Carreteras

El diseño de pavimentos se basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto, cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008). Entonces, la calidad de la capa de suelo puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas. La estructura del pavimento se diseña a partir de la determinación del CBR, se evalúa el método sugerido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), el procedimiento de este método se basa en ecuaciones que permiten determinar el espesor de material requerido sobre una capa o subrasante de un CBR conocido. La condición es que el CBR del material de la capa superior sea mayor que el de la subyacente. El espesor del pavimento obtenido mediante este método es tal que permite un cierto número de repeticiones, antes que la estructura alcance un nivel de deformación que corresponda a una serviciabilidad baja. Este método ha sido desarrollado para los caminos de bajo tránsito con repeticiones de hasta 1'000,000 de ejes equivalentes de 18,000 libras (Pérez, 2012).

Para el diseño del pavimento de bajo volumen de tránsito se emplea el "Manual Para El Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – MTC (2008)". Teniendo en cuenta la capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima (Pérez, 2012).

Se identifican en el manual del MTC cinco categorías de subrasante:

S0	SUBRASANTE MUY POBRE CBR	< 3%
S1	SUBRASANTE POBRE CBR	=3% - 5%
S2	SUBRASANTE MUY POBRE CBR	=6 - 10%
S3	SUBRASANTE MUY POBRE CBR	=11 - 19%
S4	SUBRASANTE MUY POBRE CBR	> 20%

1.2.1.11. Estabilización de subrasantes con aditivos TerraSil y/o PROES

1.2.1.11.1. Aditivo TerraSil

1.2.1.11.1.1. Generalidades del Aditivo TerraSil

TERRASIL es un aditivo para suelos de última generación, formado al 100% por órganosilanos, capaz de repeler el agua, eliminar el hinchamiento y la absorción de suelos. TerraSil, reacciona químicamente con todo tipo de suelos y su principal efecto consiste en la impermeabilización / hidrofugación de las partículas del suelo frente a la acción del agua (Calbrand, 2010). Es, por tanto, un agente impermeabilizante de suelos, que aporta ventajas adicionales a la estabilización tradicional de suelos. (OPTIMASOIL, 2016).

La solución con TerraSil R consiste en el uso de un órganosilano iónico, capaz de repeler el agua y eliminar el hinchamiento y la absorción en los suelos. Así se obtiene una mejora de cualquier tipo de terreno, al conseguir que el suelo se comporte en todo momento como en condiciones “secas”. De esta manera, se establece un sistema de estabilización eficaz del suelo tratado (Calbrand, 2010). El suelo se convierte en una superficie hidrófoba en los áridos, convierte éstos en sustancias apolares, y por tanto compatibles con compuestos de la misma naturaleza. En definitiva, la unión con conglomerantes se ve favorecida al formarse un mayor número de enlaces de gran fortaleza (Elizalde, 2014).

1.2.1.11.1.2. Presentación del TerraSil

TerraSil es un aditivo modificador de suelos compuesto al 100% por órgano-silanos, soluble en agua, estable al calor y la radiación ultravioleta. Su principal acción, por tanto, consiste en la impermeabilización de suelos y subsuelos. (OPTIMASOIL, 2016).

Posee grupos silanol, que reaccionan con los silicatos presentes en el suelo, transformando su superficie y confiriéndoles propiedades hidrófobas permanentes, de tal manera que el suelo repelerá las moléculas de agua, quedando impermeabilizado y evitando así los problemas derivados de la presencia de la misma (Rodríguez, 2016), (OPTIMASOIL, 2016).

1.2.1.11.1.3. Distribución química de los Órgano-Silanos

Los enlaces de carbono – silicio son más largos en comparación con los enlaces carbono – carbono (longitud de enlace de 180 va 154 del peso molecular) y son más débiles, con una energía de disociación del enlace de 451 kJ/mol frente a 607 kJ/mol. El enlace C- Si está algo polarizado hacia el carbono debido a su mayor electronegatividad (C=2,55 va Si=1,90).

Una manifestación de la polaridad de éstos en los organosilanos se encuentra en la reacción de Sakurai, la misma que es la reacción química en donde se parte de un compuesto con un carbono electrofílico (comúnmente de una acetona) y se le hace reaccionar con alil silanos por catálisis con ácidos de Lewis fuertes (acepta un par de electrones al mismo tiempo, debe tener su octeto de electrones incompleto). (Butterwort,1981).

Los Órgano – Silanos son solubles al agua, estables al calor, rayos UV y reaccionan con grupos de silanol propensos a humedecerse con el agua (hidrofílicos) como arena, limos, arcillas y agregados para convertirlos en uniones Alquil – Siloxano, que son altamente estables y que repelen el agua, formando una membrana transpirable in-situ. (BREM S.A.C. Environmental Solutions, 2016).

1.2.1.11.2. Aditivo PROES

1.2.1.11.2.1. Generalidades del Aditivo PROES

El aditivo PROES, es una sustancia química que incrementa la capacidad de soporte y aumenta la impermeabilidad del suelo.

La tecnología PROES utiliza los suelos existentes localmente y aporta capacidad de soporte, generando pavimentos de calidad, alta duración y económicos. (PROESTECH, 2013).

1.2.1.11.2.2. Presentación del aditivo PROES

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

Este proceso ocupa:

Ítem	Descripción	Referencia
1	El suelo Natural	La base generada con PROES aporta toda capacidad estructural necesaria, por lo que requiere una carpeta de rodado sólo como protección de la abrasión producida por el tráfico y según el estándar de operación esperado.
2	El aditivo PROES, que actúa por ionización y ordena las partículas del suelo.	
3	Aditivo sólido que sirve como aglomerante	

Fuente: (PROESTECH, 2013). Cuadro: Elaborado por los autores, 2018.

1.3. Clasificación de Carreteras

Se presentan los siguientes cuadros, donde se clasifican las carreteras según corresponda.

Tabla 17 Clasificación de Carreteras según su Función

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU FUNCIÓN	
TIPO DE RED	
RED	DESCRIPCIÓN

Red Vial Primaria	Se denomina en el Perú como Sistema Nacional, conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
Red Vial Secundaria	Se denomina en el Perú como Sistema Departamental, constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.
Red Vial Terciaria o local	Se denomina en el Perú como Sistema Vecinal compuesta por: <ul style="list-style-type: none">) Caminos troncales vecinales: interconectando pequeñas poblaciones.) Caminos rurales alimentadores: interconectando aldeas y pequeños asentamientos poblacionales.

Fuente: Los Autores.2018.

Tabla 18 Clasificación de Carreteras según su Demanda

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU DEMANDA	
	DESCRIPCIÓN
Autopistas	Carretera de IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujo vehicular completamente continuo. Se le denominará con la sigla A.P.
Carreteras duales o multicarril.	De IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos. Se le denominará con la sigla MC (Multicarril).
Carreteras de 1ra. Clase	Son aquellas con un IMDA entre 4000-2001 veh/día de una calzada de dos carriles (DC).
Carreteras de 2da. Clase	Son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan entre 2000-400 veh/día.
Carreteras de 3ra. Clase	Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día.

Trochas carrozables	Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo
---------------------	---

Fuente: Los Autores.2018.

Tabla 19 Clasificación de Carreteras según su Condición Geográfica

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU CONDICIÓN GEOGRÁFICA	
	DESCRIPCIÓN
Carreteras Tipo 1	Permite a los vehículos pesados mantener, aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%.
Carreteras Tipo 2	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, sin ocasionar el que aquellos operen a velocidades sostenidas en rampa por un intervalo de tiempo largo. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.
Carreteras Tipo 3	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante el recorrido de distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.
Carreteras Tipo 4	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

Fuente: Los Autores.2018.

Según el tipo de **superficie de rodadura**, las carreteras pueden clasificarse en pavimentadas y no pavimentadas.

Tabla 20 Clasificación de Carreteras según su Tipo de Superficie de Rodadura

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	
CARRETERAS	DESCRIPCIÓN
Pavimentadas	Vías que tienen una estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados (pavimento), que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las solicitaciones que impone el tránsito.
No pavimentadas	<p>Vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. El manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, ha considerado que básicamente se utilizarán los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura:</p> <ul style="list-style-type: none">) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo y de 75 mm de tamaño máximo.) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento de materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.) Afirmados con gravas naturales o zarandeadas.) Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.

	<ul style="list-style-type: none">) Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:) Grava con superficie estabilizada con materiales como: cal, aditivos químicos y otros.) Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, cal, aditivos químicos y otros.
--	--

Fuente: Los Autores.2018.

Tabla 21 Superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito

CARRETERA DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO DE CALZADA	ESTRUCTURAS Y SUPERFICIES DE RODADURA ALTERNATIVAS
T1	101- 200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeo o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm) estabilizadas con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51- 100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm.
T3	16- 50	1 carril (*) o 2 carriles 3.50-4.50	Afirmado (material granular natural, grava seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado. min. 15 cm
T0	< 15	1 carril (*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) en lo posible mejorado con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado. min15 cm
Trocha carrozable	IMD indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada: perfilado y compactado

Fuente: Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito; p.7.

Nota:

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante

regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso no disponer de grava a distancia cercana, la carretera puede estabilizarse mediante técnicas de estabilización como la de suelo - cemento, suelo - cal, productos químicos u otros).

1.4. Sistema Vial Peruano

La red vial en el Perú está compuesta por más de 78,000 km de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace. Estas rutas están a cargo de PROVIAS, organismo descentralizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que tiene la función mantener y ampliar dichas vías. Por la calidad y el tipo de vehículos que las recorre podemos clasificarla en 3 categorías: autopistas, carreteras asfaltadas y caminos afirmados.

Tabla 22 Longitud de la red vial, según tipo de superficie de rodadura y sistema de carretera, periodo 2005-2008 (kilómetros)

Tipo de superficie de rodadura	2005	2006	2007	2008
Sistema de carretera				
Total	1944.33	1944.33	1398.98	1398.98
Nacional	458.116	458.116	642.866	642.866
Departamental	257.87	257.87	124.62	124.62
Vecinal	1228.35	1228.35	631.5	631.5
Asfaltado				
Nacional	357.126	357.126	357.126	357.126
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	50.7	50.7	66.6	66.6

Afirmado				
Nacional	0.00	0.00	51.5	51.5
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	105.7	105.7	58.8	58.8
Sin afirmar				
Nacional	70.79	70.79	204.04	204.04
Departamental	257.865	257.865	124.615	124.615
Vecinal	66.90	66.90	66.90	66.90
Trocha				
Nacional	30.2	30.2	30.2	30.2
Departamental	0.00	0.00	0.00	0.00
Vecinal	905.05	905.05	439.2	439.2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

Nota:

(*)Red Nacional, está conformada por las grandes rutas longitudinales (Panamericana, Carretera de la Sierra o Andina y Marginal de la Selva) y las rutas transversales.

(**)Red Departamental, está conformada por carreteras que constituyen la red vial circunscrita a la zona de un departamento, uniendo las principales capitales de provincia de ese departamento.

(***)Red Vecinal, llamada también Camino Rural, está constituida por caminos que comunican pueblos o caseríos pequeños.

Tabla 23 Evolución de la Red Vial Peruana.

Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Miles de Km	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94	73,44
Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Miles de Km	73,77	75,73	78,11	78,13	78,21	78,25	78,32	78,40	78,40	78,51

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2008.

1.5. Mantenimiento de carreteras no pavimentadas

En forma general, se define el término «mantenimiento vial» como el “conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada).

En el Perú, las carreteras no pavimentadas, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), las cuales se caracterizan por tener una superficie de rodadura de material granular. Además, si se toma en consideración el Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial No Pavimentada se distingue dos tipos de trabajos en carreteras no pavimentadas.

Mantenimiento rutinario: Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan en los diferentes tramos de la vía; estas actividades tienen como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. El mantenimiento rutinario es de carácter preventivo, por tal razón se incluyen como parte de éste; a las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras actividades. En síntesis, el mantenimiento rutinario como conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio, para lo cual se realizan actividades que pueden ser manuales o mecánicas -principalmente labores

de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud, etc. -; también incluye las actividades socio ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

Mantenimiento periódico: conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconfiguración de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino. En otras palabras, el mantenimiento será periódico, cuando el conjunto de actividades programadas cada cierto período, se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio; dichas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de desencalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte.

1.6. Conservación y rehabilitación de carreteras no pavimentadas

La conservación de carreteras se puede efectuar a diferente nivel. En el primer nivel está la **conservación propiamente dicha**, en la cual las actuaciones no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos de las carreteras. Dentro de esta conservación se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando estos deterioros ya aparecieron (conservación curativa). La conservación curativa puede dirigirse a la reparación de deterioros localizados (operaciones localizadas) o al tratamiento de tramos de una longitud apreciable (operaciones generales). Dado que la conservación vial involucra muchas actividades; una de las más importantes es capacitar técnicamente a quienes tienen la tarea de hacerlo y organizar su esfuerzo lo cual por su naturaleza es una tarea

permanente; asimismo, iniciar oportunamente la ejecución misma de las obras de conservación. Como señalamos, líneas arriba, la conservación de las vías de transporte, está a cargo del Estado Peruano, en sus diversos niveles de gobierno; luego, para lograr proteger las carreteras, las autoridades y/o entidades competentes o responsables de la conservación de las obras viales - según el tipo de red vial-, son:

-) Para Red Vial Nacional: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
-) Para Red Vial Departamental o Regional: El Gobierno Regional, a través de su unidad ejecutora de la Gestión Vial; y
-) Para Red Vial Vecinal o Rural: Los gobiernos locales a través de sus unidades ejecutoras de gestión vial.

En un segundo nivel de la conservación de carreteras no pavimentadas se sitúan las rehabilitaciones. En general, se recurre a éstas, cuando el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o cuando se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad. Las rehabilitaciones de una carretera no pavimentada incluyen actuaciones de carácter extraordinario a menudo de aplicación general , en un tramo de longitud apreciable y cuyo objetivo es un aumento significativo del índice de estado o de comportamiento de la carretera. Las rehabilitaciones pueden referirse a:

-) Rehabilitaciones superficiales; cuando se trata de rehabilitaciones o renovaciones superficiales. Por ejemplo: Disminuir o eliminar el nivel de polvo que empieza a presenciarse luego de un tiempo después de haberse aplicado el estabilizador.
-) Rehabilitaciones significativas. Por ejemplo: Cuando se opta por cambiar el aditivo estabilizador por otro.
-) Rehabilitaciones estructurales; las que se llevan a cabo

habitualmente con el fin de producir un aumento significativo de la capacidad estructural de la carretera. Por ejemplo: Cuando se ensancha la carretera o se opta por la pavimentación.

1.7. Definición de términos básicos

Límite líquido: Contenido de humedad con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm².

Límite plástico: Contenido de humedad, expresado en tanto por ciento con 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. El límite plástico se determina con el material sobrante del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta obtener una mezcla plástica que sea moldeable. Se forma una pequeña bola que deberá rodillarse enseguida aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Prueba Proctor: Esta prueba determina el peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Se refiere a la Prueba Proctor estándar y Prueba Proctor modificado.

Prueba Proctor estándar: Esta prueba tiene como finalidad determinar el peso volumétrico seco máximo de compactación Proctor y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Esta prueba sirve también para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

Prueba Proctor modificado: Aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo.

Valor relativo de soporte: Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante, en condiciones determinadas de compactación y humedad de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y afirmado de un pavimento.

Subrasante: Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno, debidamente compactado.

Estabilización de suelos: proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Suelo arcilloso: El suelo arcilloso es aquél en el que predomina la arcilla sobre otras partículas de otros tamaños. La arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm de diámetro, en contraposición a otras partículas más grandes como son el limo y la arena, por orden de tamaño, de menor a mayor.

Compresibilidad: La compresibilidad es una propiedad donde se observa el cambio de volumen de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten.

Contaminación ambiental: Se denomina así a la cantidad de partículas sólidas suspendidas en el aire, disueltas en el agua o incorporadas a los alimentos que ingerimos.

Contaminante químico: Es toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que, durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, puede incorporarse al aire en forma de polvo,

humo, gas o vapor, con efectos irritantes, corrosivos asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.

Crioscópico: sustancia capaz de bajar el punto de congelación

Erosión: Es la acción de desgaste, acarreo o transporte y depositación de material intemperizado.

Estabilidad volumétrica: Es la propiedad que tiene un suelo de mantener constante su volumen.

Floculación: Proceso por el cual una sustancia dispersa coloidalmente se separa en forma de partículas discretas, y no como masa continua, de líquido que la contiene.

Higroscópico: Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y todo los orgánicos, de absorber y extraer la humedad según las circunstancias que los rodean.

Intemperismo: se trata de un material que ha sido sometido a procesos de meteorización y/o erosión, es decir, que ha sido afectado por el agua, el viento, el sol, el hombre.,etc. Es decir que ha sufrido algún cambio, sea físico o químico de cómo era originalmente.

Permeabilidad: La permeabilidad de los suelos está definida por el contenido de vacíos en su estructura, es decir, el espacio comprendido entre sus partículas provocando la circulación del agua a través de sus poros.

Polvo: Suspensión en el aire de partículas sólidas de tamaño pequeño procedentes de procesos físicos de disgregación. La gamma de tamaños de las partículas de polvo es amplia, si bien, estos, fundamentalmente oscilan entre 0.1

Punto de inflamación: Temperatura mínima a la cual los vapores que emana una sustancia producen un encendido momentáneo bajo ciertas condiciones.

Silicosis: La silicosis es una enfermedad englobada dentro de las denominadas neumoconiosis, que son aquellas que se producen por la acumulación de polvo en el tejido pulmonar, en el cual se provoca una reacción de tipo no tumoral.

Punto de Solubilidad: Es el punto en el que algún producto se puede disolver.

Subrasante: El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento.

Tensión superficial: Fuerza de atracción entre las moléculas de la superficie de un líquido y de las moléculas por debajo de ellas que permite que los líquidos presentan una gran tendencia a formar gotas.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

Con frecuencia el ingeniero debe enfrentarse al suelo, a la vez, material y estructura de soporte; y, cuyas características le obligan, según ingenieros, entre ellos Gárnica, P. et al (2002), Vásquez (2010), y muchísimos otros más, a tomar alguna de las siguientes posibles decisiones:

-) Aceptar el material en las condiciones que se lo encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
-) Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
-) Modificar las propiedades físicas y/o químicas del material para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada. Esta última posibilidad es la que según Montejo (2008) conlleva a la estabilización de suelos.

La construcción de la infraestructura vial es muy importante para el desarrollo de los pueblos. Durante la ejecución de este tipo de obras, el ingeniero peruano se encuentra con el problema de la diversidad de tipos de suelos presentes en la subrasante, donde cada tipo de suelo presenta problemas particulares de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas, de resistencia y a su vez todas éstas varían dependiendo del clima del lugar (Ugaz, 2006). La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas, las mismas que son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, por cuanto el mayor porcentaje de la vialidad se encuentra en esta categoría; y, en la sierra y selva tienden a deteriorarse en forma acelerada debido principalmente a la presencia de lluvias. La consistencia de la capa de afirmado no sólo es vulnerable a los factores climáticos sino también a la

acción física de los vehículos; así, en estaciones secas las partículas de la superficie de rodadura llegan a pulverizarse bajo la acción abrasiva de los neumáticos, iniciándose el deterioro progresivo de la superficie y la emisión de polvo que afecta la salud de los pobladores que habitan cerca al eje de este tipo de carreteras; pero, en épocas de lluvia pierde la capacidad portante iniciándose fallas como ahuellamientos, surcos, baches, etc.; lo cual implican altos costos en el mantenimiento rutinario de la vía y afectaciones ambientales (Taípe y Pillaca, 2014).

La planeación, construcción y mantenimiento de las vías tienen costos muy altos cual fuese el nivel de su calidad y en ciertas ocasiones encarece, pues no en todos los lugares se encuentran materiales útiles para la construcción, haciéndose necesario transportar materiales desde lugares muy alejados, para cumplir las exigencias normativas. Por otra parte, el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción vial depende de la calidad de los suelos subyacentes; éstos influyen en el comportamiento de la estructura, así los suelos inestables pueden crear problemas significativos en los pavimentos, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización y diversos materiales, como cal, cemento Portland, aditivos, emulsiones, enzimas, geomallas, etc. (Martínez, 2012).

El comportamiento de los suelos influye en el comportamiento de la estructura del pavimento de las carreteras, entonces, resulta importante conocer si las propiedades y características de éste, son apropiadas, de no ser así se recurren a métodos de mejoramiento de los materiales del terreno de fundación, subbase y base, denominados estabilización de suelos. Una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a los suelos de las carreteras un mejor comportamiento en el servicio al incrementar de manera notoria su resistencia y capacidad de carga y disminuyendo su

sensibilidad al agua y a los cambios volumétricos durante el ciclo de humedecimiento y secado; para tal efecto existen en el mercado, diversas empresas dedicadas a la comercialización de productos químicos estabilizadores tales como, enzimas orgánicas, aceites sulfonados, compuestos inorgánicos, cloruros, etc., cuya aplicación resulta favorable en otros países, pero al emplearlos en nuestro territorio, no siempre los resultados son óptimos, transformándose posteriormente en soluciones antieconómicas y a veces en desperdicio del dinero público (Ugaz, 2006), (Cristobal, 2015).

En este contexto, Vásquez (2010), señala que la estabilización significa entonces, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, que implica la mejora de las propiedades de estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad y compresibilidad, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo, es decir, la durabilidad. Este último aspecto tiene fundamental importancia en el comportamiento de la vía, pues, de su existencia, depende la existencia del primero (Marquez, 2005), (Martinez, 2011).

En la actualidad, se viene desarrollando el uso y estabilización de suelos, alrededor de todo el mundo, con el fin de obtener una mayor durabilidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento, además de tener capas de mayor capacidad de soporte y que de igual forma sean más resistentes a los agentes atmosféricos; y, hace más de 30 años que las técnicas de modificación de los suelos se han convertido en una parte importante de la práctica de la ingeniería civil (Hausmann, 1990). El mejoramiento de las zonas con presencia de arcilla débil o compresible se hace comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de baja capacidad de soporte y se reemplazan por otros más competentes, tales como la grava arenosa compactada, piedra triturada, o agregados livianos para aumentar la capacidad de carga (Kukko, 2000). Aunque esto, se considera una buena solución, por lo general tiene el inconveniente de alto

costo debido al material de reemplazo; entonces, el uso de aditivos, derivados de la combustión de carbón, como cenizas volantes u otros procesos de estabilización química de mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural existente en las fundaciones se considera una solución más rentable.

No obstante la existencia de investigaciones y hasta algunos proyectos viales ejecutados con estabilización de suelos en Perú, se ha observado que cada caso presenta resultados particulares inherentes al tipo de suelo predominante en la región; para la Selva Baja Peruana, donde según Carrillo-Gil et al (1993) predominan los suelos residuales - suelos saprolíticos y lateríticos - no es posible todavía hacer generalizaciones que sean válidas universalmente por no existir suficiente conocimiento del suelo tropical, en especial con respecto a sus propiedades químicas y mineralógicas y a su comportamiento mecánico; y, por otro lado, los métodos de análisis de estabilidad aceptados por la comunidad geotécnica no conducen aún a resultados satisfactorios para estos materiales (Carrillo-Gil, 2016). Entonces, resulta importante conocer sí las propiedades y características del suelo son apropiadas, de no ser así plantear alguno de los varios métodos de mejoramiento conocidos como los de estabilización de suelos, por ejemplo, la adición de cal para estabilizar una subrasante de suelo arcilloso de una vía de acceso en selva baja (Vásquez, 2010).

La existencia de una diversidad de productos químicos estabilizantes, del marketing de sus bondades y del comportamiento de ellos con diversos tipos de suelos, no precisamente del tipo de los suelos residuales propios de nuestra Selva Baja, estimamos necesario realizar el estudio a nuestros suelos en estado natural y estabilizado con dos productos químicos: TerraSil y PROES , aplicándose a los suelos de la Vía de Acceso "Moralillos".

La vía de acceso Moralillos (de 3.5 km aproximadamente), se encuentra ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas,

departamento de Loreto; está jerarquizada como ruta vecinal; y, es de competencia Municipal. Está asentada en terreno arcilloso con un ancho promedio de superficie de rodadura de 7.00m, el cual, como consecuencia de las constantes precipitaciones pluviales y tránsito vehicular y peatonal, así como el tiempo transcurrido de haberse rehabilitado y/o efectuado, no es transitable en forma permanente, requiriéndose trabajos de mantenimiento y mejoramiento (Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones – GORE Loreto, 2017).

Esta carretera tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 24 Características técnicas de la vía de acceso “Moralillos” (de 3.5 km aproximadamente)

Velocidad directriz	30 Km. /h.
Ancho promedio de plataforma	7.00 m.
Superficie de rodadura	Encalaminada.
Bermas laterales	Con maleza y arbustos.
Pendiente promedio	3 %
Alcantarillas	Obstruidas
Cunetas	Obstruidas
Longitud hasta Moralillo	3.50 km

Fuente: Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones – GORE Loreto, 2017.

Cuadro elaborado por los tesisistas

Esta trocha carrozable actualmente se encuentra a nivel de subrasante y anualmente está sometido a mantenimiento rutinario, sufriendo erosión considerable por la pendiente natural que presenta y porque el agua de lluvia acumulada a ambos lados, escurren sobre ésta. Los suelos, según DRTC GORE Loreto (2017), son arcillosos. Ante esta situación, es posible tomar la siguiente decisión: Modificar las propiedades del material conformante de la subrasante para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, cumplir con las exigencias de las especificaciones técnicas para el tipo de infraestructura; razón como ésta llevó a Montejó (2008), a sugerir esta posibilidad, la misma que da origen a la estabilización de suelos in situ, mejorándolo con el empleo de materiales cementantes para en una posterior oportunidad construir una subbase también mejorada.

Por esta razón el presente trabajo, después de revisar el Estado del Arte de estabilización de suelos con fines de construcción de carreteras no

pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja se enfocará a evaluar los efectos de estabilizadores químicos: TerraSil y PROES, como estabilizantes de la subrasante de suelo arcilloso en la vía de acceso “Moralillos”, en mención.

2.2. Formulación del problema.

2.2.1. Problema general.

¿Cómo realizar la estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante la aplicación de aditivos TerraSil y PROES como es la vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018?

2.2.2. Problemas específicos.

-) ¿Cuál es la influencia de los estabilizantes y que efectos producen en el comportamiento de suelos, la aplicación de los aditivos TerraSil y PROES, para estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como es la vía de acceso Moralillos, Loreto?
-) ¿Cómo determinar el diseño óptimo para la dosificación de los aditivos TerraSil y PROES, para satisfacer la estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como es la vía de acceso Moralillos, Loreto?
-) ¿Cuáles son las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrecen los proveedores de los aditivos TerraSil y PROES, para estabilización de subrasante de suelos arcillosos, en vías no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja como es la vía de acceso Moralillos, Loreto?

2.3. Objetivos.

2.3.1. Objetivo general.

Efectuar la realización de la estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante la aplicación de aditivos TerraSil y PROES en vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018.

2.3.2. Objetivos específicos.

-) Evaluar la influencia de los estabilizantes y que efectos producen en el comportamiento de suelos, la aplicación de los aditivos TerraSil y PROES, para estabilización química de subrasantes en suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como es la vía de acceso Moralillos, Loreto”.
-) Realizar varios diseños para conocer el diseño óptimo para la dosificación de los aditivos TerraSil y PROES, para satisfacer la estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como es la vía de acceso Moralillos, Loreto.
-) Describir las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrecen los proveedores de los aditivos TerraSil y PROES, para estabilización de subrasante de suelos arcillosos, en vías no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja como es la vía de acceso Moralillos, Loreto.

2.4. Hipótesis.

Para dar respuesta a las interrogantes que representan los objetivos, se planteó la siguiente hipótesis general:

-) La adición de los aditivos estabilizantes TerraSil y PROES en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de acceso “Moralillos”, distrito de San Juan Bautista, influyen mejorando sus

características físicas y propiedades mecánicas de acuerdo al diseño óptimo correspondiente.

2.5. Variables:

2.5.1. Identificación de las variables.

) LA VARIABLE INDEPENDIENTE (X):

Suelo arcilloso (convencional o patrón)

) LA VARIABLE DEPENDIENTE (Y):

Propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado de subrasantes de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante aplicación de aditivos químicos TerraSil y PROES).

2.5.2. Operacionalización de las variables

Relación de Variables: X1 Y1

Tabla 25 Operacionalización de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Indices	Escala
Variable Independiente: X₁: (Suelo arcilloso natural, convencional o patrón)	Físicas y mecánicas	- Contenido de humedad. -Granulometría -Peso unitario -Peso específico - Proctor Modificado -California Bearing Ratio (CBR) -Compresión no confinada	% % Kg/m ³ Kg/m ³ % % Kg/cm ²	Escala de calificación de intervalo De razón De intervalo De razón
Variable Dependiente: Y₁: Propiedades físicas y mecánicas del suelo		Contenido de humedad. -Granulometría -Peso unitario	% % Kg/cm ²	De intervalo De razón

estabilizado de subrasantes de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante aplicación de aditivos químicos TerraSil PROES, (Comportamiento de propiedades físicas y mecánicas	Mecánicas	-Peso específico	Kg/cm ²	De razón
			%	
		-Próctor Modificado	%	De intervalo
		-California Bearing Ratio (CBR)		
		-Compresión no confinada		De razón

Fuente: Los Autores.2018.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción y características Del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

Perú – Loreto – Maynas – San Juan Bautista
Av. Abelardo Quiñonez Km 2.5. Campus universitario UCP.

3.1.2. Lugar y desarrollo de la investigación

La investigación se realizo en la vía de acceso “Moralillo” ubicado en la carretera Iquitos nauta Km. 15

3.1.3. Accesibilidad

El área de estudio es totalmente accesible, el ingreso es desde la Av. Quiñones, con vías pavimentadas.

3.1.4. Clima

La ciudad de Iquitos posee un clima tropical lluvioso durante todo el año. La temperatura media anual es de 30°C a 21°C.

3.1.5. Recursos Utilizados

3.1.5.1. Humanos

Los recursos humanos utilizados fueron los siguientes:

- Participantes para el muestreo (Los tesisistas)
- Personal técnico del laboratorio de mecánica de suelo de la Universidad Científica del Perú.

3.1.5.2. Instalaciones

Ambientes ubicados en el radio de la Carretera Iquitos Nauta.

3.1.5.3. Equipos

Tabla 26 Equipos a utilizar para realizar el proyecto

Equipos	Descripción	
Tamices	Para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM 0421).	
Balanzas electrónicas digitales.	Estufa con control de temperatura. Taras de diversos tamaños.	Moldes de Proctor modificado. Martillo de 10 lb. Moldes para ensayo CBR. Equipo para ensayo CBR.

Fuente: Los Autores.2018.

3.1.5.4. Materiales

Tabla 27 Materiales a utilizar para realizar el proyecto

Material	Suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Moralillos
	TerraSil y PROES
	Agua potable

Fuente: Los Autores.2018.

3.2. Metodología de la investigación

3.2.1. Tipo de Investigación

El proyecto denominado “Estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación de aditivos TerraSil y PROES en vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018”, fue desarrollado como un tipo de estudio explicativo, porque se centrará en explicar los efectos en el comportamiento físico y mecánico de la aplicación, por separado, de estos aditivos TerraSil y PROES al suelo natural proveniente de la subrasante de la vía de acceso en mención.

3.2.2. Diseño de Investigación

Experimental Transversal

El grupo experimental fue conformado por los suelos arcillosos, de dos (02) calicatas de hasta 1.50m de profundidad correspondientes al tramo 0+000 a km 3+000.

La representación gráfica es la siguiente:

G₁: O₁ X O₂

Donde:

G₁: Grupo Experimental

X: Estabilización del suelo plástico con TerraSil y PROES

O₁: Test antes del experimento

O₂: Test después del experimento

3.2.3. Población y Muestra

3.2.3.1. Población:

La población fue conformada por suelos arcillosos de la Vía de Acceso “Moralillos” del distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, Región Loreto, los cuales fueron sujetos a evaluación y análisis de sus propiedades

físicas y mecánicas.

3.2.3.2. Muestra

Para la prueba de hipótesis, la cantidad de muestra se determinó a criterio no probabilístico, considerándose objeto de estudio dos (02) calicatas de suelo arcilloso de la Vía de Acceso “Moralillo” con la cual elaboraremos ensayos adicionándolo porcentajes de TerraSil y PROES, según se indica en las siguientes tablas.

Tabla 28 Cantidad de muestra por calicata

Ensayo	Cantidad (Kg)
Contenido de humedad	5.00 kg
Límites de consistencia	5.00 kg
Granulometría	10.00 kg
Ensayo Próctor	50.00 kg
Ensayo CBR	200.00 kg
Total, por calicata	270.00 kg

Fuente: Los Autores.2018.

Tabla 29 Cantidad de muestras a ensayar

Variable/ Código	M0	M2	M4	M6	M8	Parcial
Especímenes Límite Líquido y Plástico	5	5	5	5	5	25
Especímenes densidad seca máxima	1	1	1	1	1	5
Especímenes CBR	2	2	2	2	2	10
Total de ensayos						40

Fuente: Los Autores.2018.

3.2.4. Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos

3.2.4.1. Técnicas de Recolección de Datos

Tabla 30 Fases de recopilación de datos.

LA RECOPIACIÓN DE DATOS	
Primera fase: Trabajo de campo	Se tomaron las muestras de las calicatas de la subrasante en zonas aún no alteradas (muestras inalteradas) y hasta a 1.50m de profundidad en un promedio de 250kg por calicata.
Segunda fase: Trabajo de laboratorio	Los ensayos a realizar son los conocidos como estándares y los denominados especiales.

Fuente: Los Autores.2018.

3.2.4.2. Instrumentos de Recolección de datos

Los datos acerca de la efectividad de la cal como estabilizador químico, se determinará mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas del suelo de la subrasante de la Vía de Acceso "Moralillo"; teniendo como criterio de efectividad, la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas químicamente sobre las otras (Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Norma Técnica de estabilizadores químicos); pero también se recogerá información pertinente a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con la cal en la estabilización de carreteras no pavimentadas.

3.2.4.3. Procedimientos de Recolección de Datos

En el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP, las muestras representativas de arcilla, TerraSil y PROES y la mezcla adicionando cal serán sometidas a los ensayos (estándares y especiales) siguientes:

Tabla 31 Ensayos (estándares y especiales) a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.

Características	Ensayo	Normas
Físicas	Análisis Granulométrico por Tamizado	(MTC E 107-ASTM D 422)
	Humedad Natural	(MTC E 108-ASTM D2216)
	Límites de Atterberg - Límite Líquido	(MTC E 110-ASTM D4318)
	Límite Plástico	(MTC E 111-ASTM D4318)
	Índice de Plasticidad	(MTC E 111-ASTM D4318)
	Clasificación de Suelos método SUCS	(ASTM D2487)
	Clasificación de Suelos método AASHTO	(ASTM D3282)
Química	Determinación de pH del Suelo Natural	(ASTM D4972)
Mecánicas	Próctor Modificado	(MTC E 115-ASTMD1557)
	California Bearing Ratio	(MTC E 132-2000; ASTM D1883)

Fuente: Los Autores.2018.

Los ensayos de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la Universidad Científica del Perú – UCP, de acuerdo a Normas ASTM; AASHTO y MTC, según corresponda. Los resultados de estos ensayos se presentarán en el Anexo correspondiente del Informe Final de la Tesis. Los análisis químicos de materia orgánica en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana “UNAP” y de requerirse el Análisis Mineralógico de Difracción de Rayos “X” éste se efectuará en el Laboratorio de INGEMMET.

3.2.4.4. Procesamiento de datos y análisis estadísticos

-) WORD: para procesamiento de textos y para la elaboración de los documentos, programa con el cual se diseñarán las guías de los

ensayos básicos de laboratorio para Mecánica de suelos.

-) EXCEL y S10: para realizar los presupuestos de costos de inversión y presupuesto necesario para el proyecto, y establecer los comparativos de costo – beneficio y otros registros y cálculos numéricos necesarios.
-) MSProject: para la elaboración de cronogramas y seguimiento de control de actividades.
-) AutoCAD: Para realizar los diseños de la estructura de la sub base del pavimento o suelo a mejorar.

El procesamiento de la información permitió la elaboración ordenada del proyecto consistente en:

1. Análisis de costos entre equipos de las mismas características: Presupuesto (infraestructura interior para colocación de equipos, equipos, accesorios, insumos, costos de capacitación a personal técnico de laboratorio, costos por mantenimiento y calibración de equipos, otros).
2. Selección de proveedores a sugerir.
3. Selección de los equipos para el laboratorio.
4. Manual de operación y mantenimiento y seguridad de los equipos para la implementación y funcionamiento del laboratorio.
5. Elaboración de guías de prácticas de ensayos para el uso correcto de los equipos.
6. Plan de mantenimiento de equipos:
 - 6.1. Elaboración de fichas técnicas: sistemas de codificación de los equipos
 - 6.2. Datos de equipos
 - 6.3. Orden de trabajo de mantenimiento
 - 6.4. Calendario de actividades; otros.
7. Elaboración de protocolos de seguridad para los equipos: puntos

críticos de seguridad de equipos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS
DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION:

“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUBRASANTES DE SUELOS ARCILLOSOS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN SELVA BAJA. APLICACIÓN DE ADITIVOS TERRASIL Y PROES EN VÍA DE ACCESO “MORALILLOS”, LORETO, 2018”.

DENTRO DEL MARCO DE INVESTIGACION DE TOMARON LOS SIGUIENTES ITEMS:

- 1. RECOLECCION DE MUESTRAS EN “IN SITU”.**
- 2. PROCESAMIENTO DE INFORMACION**
- 3. RESULTADOS PROES**
- 4. RESULTADO TERRASIL**
- 5. CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS**

3.2. RECOLECCION DE MUESTRAS EN "IN SITU".

De los trabajos de campo realizado se obtuvieron muestras de las calicatas 1 y 2, teniendo los resultados de clasificación de suelos:

Imagen 1 Muestra de la calicata 1

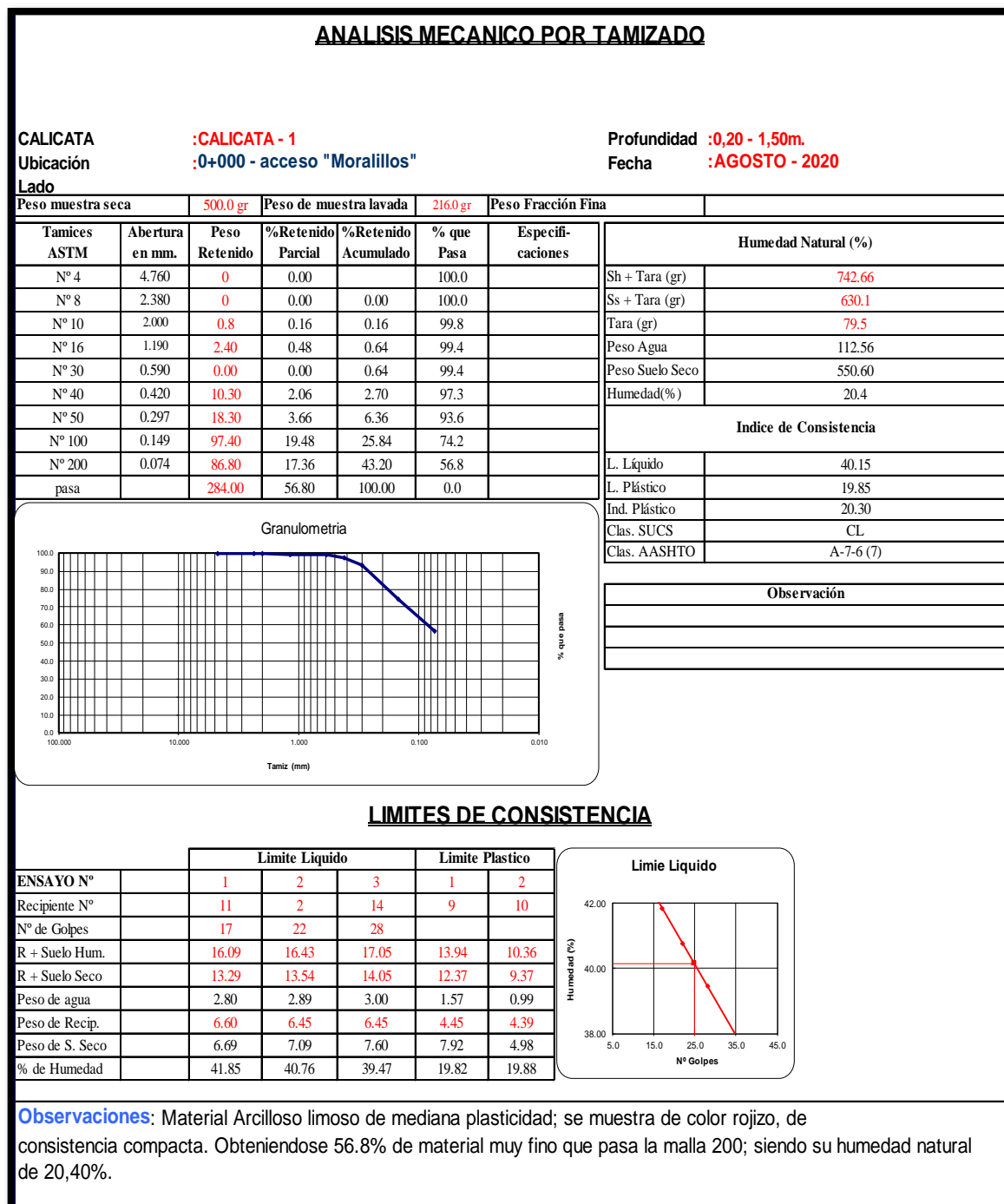


Imagen 2 Muestra de la calicata 2

ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO						
CALICATA		:CALICATA - 1 muestra 2			Profundidad :0,20 - 1,50m.	
Ubicación		:0+000 - acceso "Moralillos"			Fecha :AGOSTO - 2020	
Lado						
Peso muestra seca		500.0 gr	Peso de muestra lavada		216.0 gr	Peso Fracción Fina
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificaciones
Nº 4	4.760	0	0.00		100.0	
Nº 8	2.380	0	0.00	0.00	100.0	
Nº 10	2.000	0.8	0.16	0.16	99.8	
Nº 16	1.190	2.40	0.48	0.64	99.4	
Nº 30	0.840	0.00	0.00	0.64	99.4	
Nº 40	0.426	10.30	2.06	2.70	97.3	
Nº 50	0.297	18.30	3.66	6.36	93.6	
Nº 100	0.149	97.40	19.48	25.84	74.2	
Nº 200	0.074	86.80	17.36	43.20	56.8	
pasa		284.00	56.80	100.00	0.0	

Humedad Natural (%)	
Sh + Tara (gr)	742.66
Ss + Tara (gr)	630.1
Tara (gr)	79.5
Peso Agua	112.56
Peso Suelo Seco	550.60
Humedad(%)	20.4

Indice de Consistencia	
L. Líquido	35.85
L. Plástico	18.36
Ind. Plástico	17.49
Clas. SUCS	CL
Clas. AASHTO	A-6 (6)

Granulometria

Observación

LIMITE DE CONSISTENCIA

ENSAYO Nº	Limite Liquido			Limite Plastico	
	1	2	3	1	2
Recipiente Nº	10	21	16	6	8
Nº de Golpes	17	22	28		
R + Suelo Hum.	16.19	16.27	17.13	11.28	10.29
R + Suelo Seco	13.58	13.58	14.34	10.21	9.35
Peso de agua	2.61	2.69	2.79	1.07	0.94
Peso de Recip.	6.60	6.20	6.45	4.37	4.24
Peso de S. Seco	6.98	7.38	7.89	5.84	5.11
% de Humedad	37.39	36.45	35.36	18.32	18.40

Limie Liquido

Observaciones: SUELO INORGANICO ARCILLOSO DE MEDIANA PLASTICIDAD DE COLOR ANARANJADO CON PINTAS ROJIZAS, CONFORMADO POR ARENAS (44.1%) Y FINOS (55.9%).

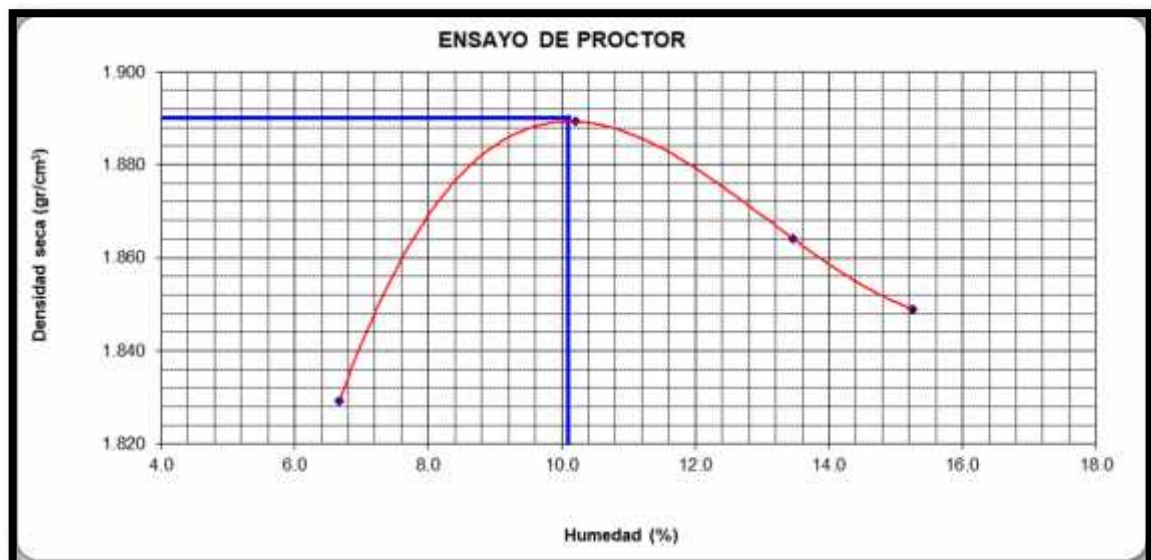
3.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACION

PROCTOR MODIFICADO MUESTRA 1 en estado natural. Muestra que se usara con el aditivo PROES.

Imagen 3 Ensayo de proctor modificado

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO				
CALICATA	:CALICATA - 1 muestra 2		Profundidad :0,20 - 1,50m.	
Ubicación	:0+000 - acceso "Moraillos"		Fecha :AGOSTO - 2020	
Lado				
Compactación	Peso Molde	4134.0 gr	Volumen Mol	939.0 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5966	6089	6120	6135
Peso suelo compactado (g)	1832.0	1955.0	1986	2001
Densidad humeda (gr/cm)	1.951	2.082	2.115	2.131
Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	2
Tara + suelo húmedo (gr.)	160.63	166.98	125.84	141.24
Tara + suelo seco (gr.)	153.00	155.21	116.74	127.77
Peso de agua (gr.)	7.63	11.77	9.10	13.47
Peso de tara (gr.)	38.51	39.80	49.14	39.45
Peso de suelo seco (gr.)	114.49	115.41	67.60	88.32
Humedad (%)	6.7	10.2	13.5	15.3
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.829	1.889	1.864	1.849
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.890			
Óptimo de Humedad (%)	10.10			

Imagen 4 Curva de Proctor



ENSAYO DE CBR EN ESTADO NATURAL

Imagen 5 Ensayo de CBR

ENSAYO DE CBR. METODO ASTM D - 1883					
MOLDE Nro.	1		5		7
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR		SIN MOJAR
Peso molde + suelo humedo	12660		13345		13552
Peso del Molde	8505		8798		8629
Peso del Suelo humedo	4155		4547		4923
Volumen del Suelo	2372		2341		2341
Densidad humeda	1.752		1.942		2.103
% de humedad	9.8		10.2		10.1
Densidad seca	1.595		1.762		1.911
Tara + suelo humedo	143.1		140.6		156.2
Tara + suelo seco	132.3		129.6		143.7
Peso del agua	10.8		11.0		12.5
Peso de tara	22.3		21.6		19.3
Peso del suelo seco	110.0		108.0		124.5
% de humedad	9.8		10.2		10.1
Promedio de humedad	9.8		10.2		10.1

Imagen 6 Expansion y Penetracion

EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA			EXPANSION			LECTURA			EXPANSION		
			DIAL	mm.	%	DIAL	mm.	%	DIAL	mm.	%			
	07:30	24	21.30	0.21	1.78	18.88	0.19	1.57	16.58	0.17			1.38	
	07:30	48	30.20	0.30	2.52	25.11	0.25	2.09	21.63	0.22			1.80	
	07:30	72	34.80	0.35	2.90	29.98	0.30	2.50	26.54	0.27			2.21	
	07:30	96	45.20	0.45	3.77	40.33	0.40	3.36	30.56	0.31			2.55	

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION	
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	13	12	1	12	11	1	15	14	1
1.00	0.127	0.050	21	19	1	23	21	1	25	23	1
1.30	0.191	0.075	41	37	2	43	39	2	51	47	3
2.00	0.254	0.100	72	66	4	86	78	4	95	87	5
3.00	0.381	0.150	110	100	5	142	130	7	152	139	8
4.00	0.508	0.200	149	136	7	177	161	9	200	182	10
5.00	0.635	0.250	223	203	11	241	220	12	280	255	14
6.00	0.762	0.300	241	220	12	278	254	14	320	292	16
7.00	0.889	0.350									

Imagen 7 Grafico de Penetracion de CBR

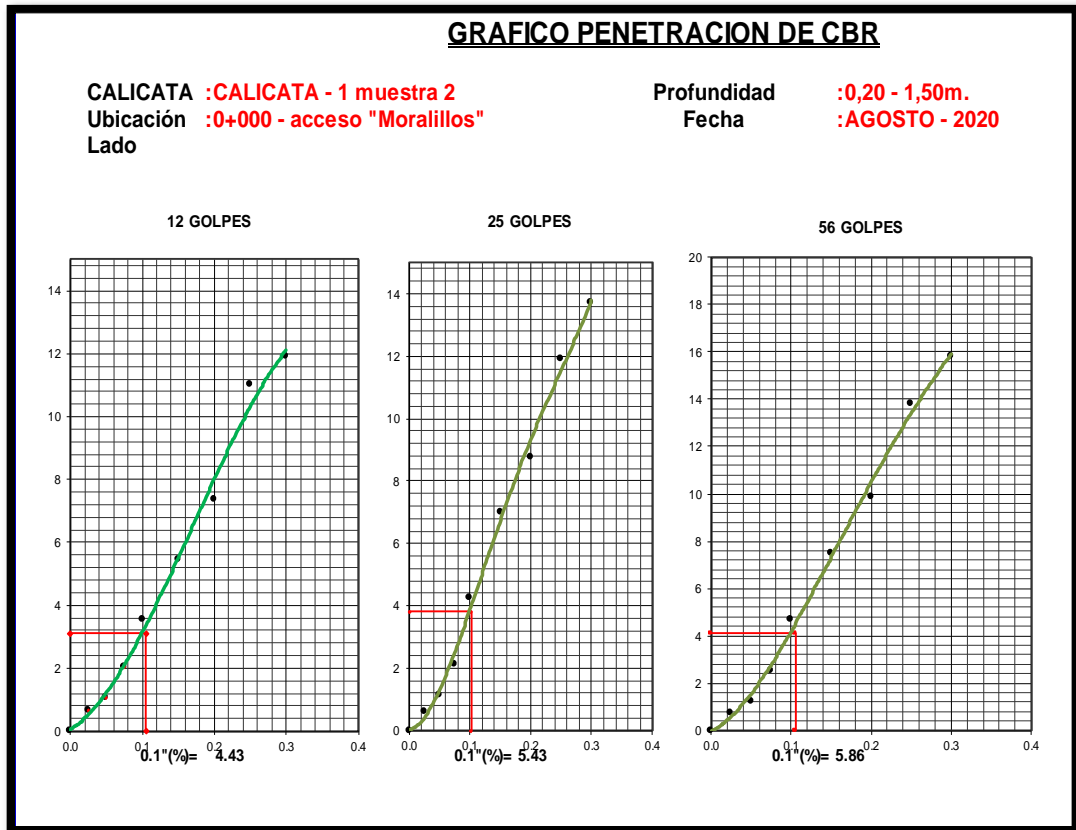
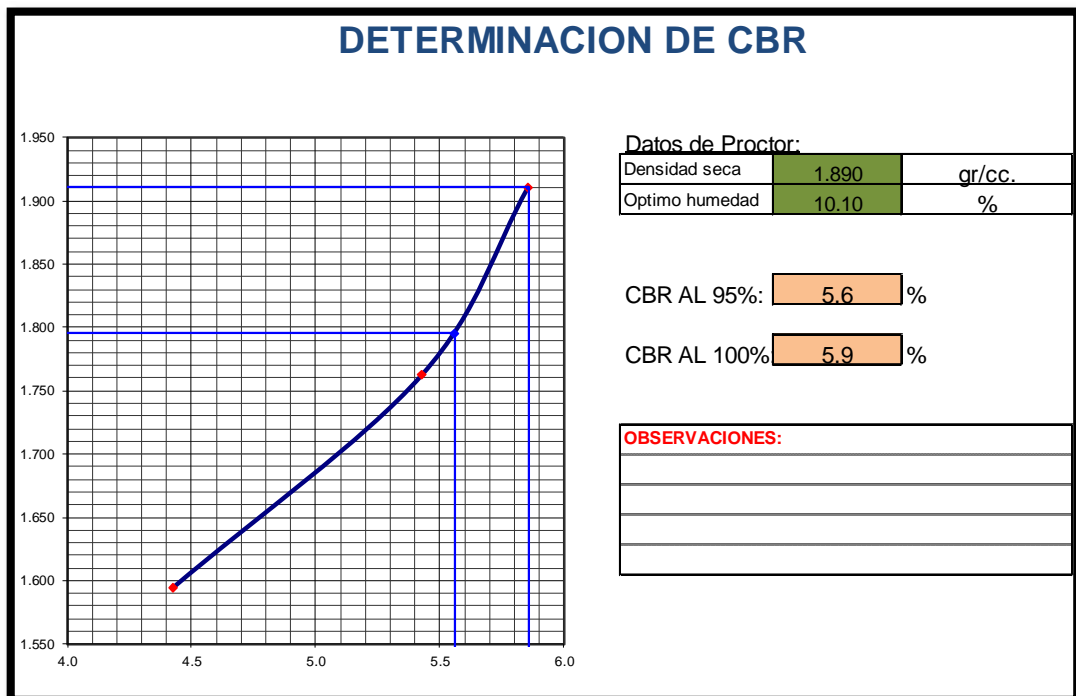


Imagen 8 Determinacion de CBR

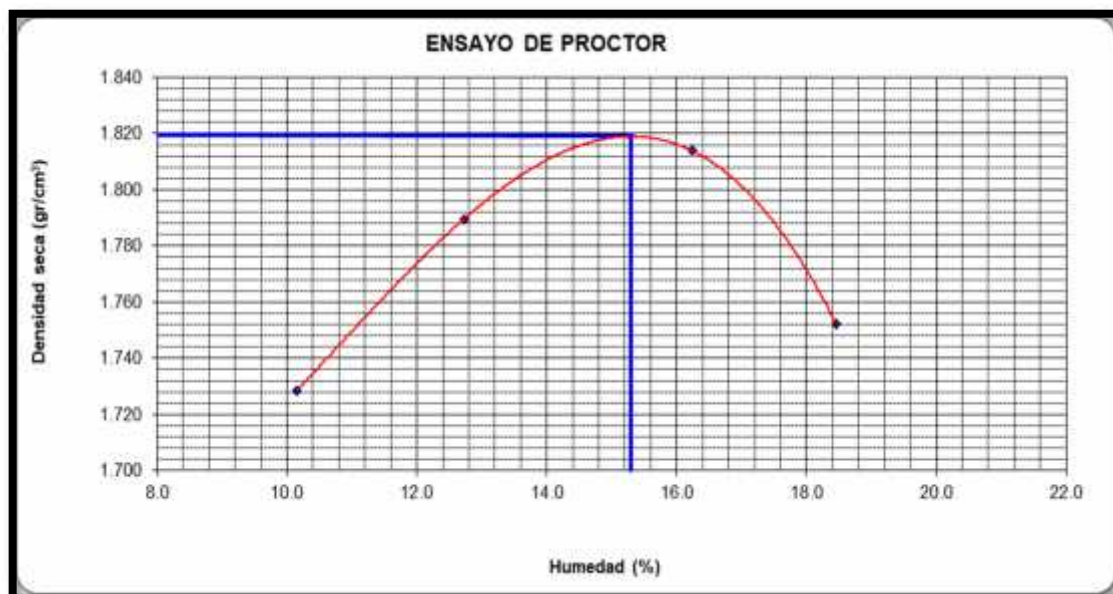


PROCTOR MODIFICADO MUESTRA 2 en estado natural. Muestra que se usara con aditivo TERRASIL.

Imagen 9 Ensayo de Proctor Modificado muestra 2

<u>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</u>				
CALICATA	:CALICATA - 1		Profundidad	:0,20 - 1,50m.
Ubicación	:0+000 - acceso "Moralillos"		Fecha	:AGOSTO - 2020
Lado				
Compactación	Peso Molde	3992.0 gr	Volumen Mol	944.3 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5790	5897	5983	5952
Peso suelo compactado (gr.)	1798.0	1905.0	1991	1960
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.904	2.017	2.108	2.076
Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	2
Tara + suelo húmedo (gr.)	193.20	223.77	229.80	206.83
Tara + suelo seco (gr.)	178.94	202.70	203.47	181.29
Peso de agua (gr.)	14.26	21.07	26.33	25.54
Peso de tara (gr.)	38.49	37.14	41.35	42.91
Peso de suelo seco (gr.)	140.45	165.56	162.12	138.38
Humedad (%)	10.2	12.7	16.2	18.5
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.729	1.790	1.814	1.752
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.819			
Optimo de Humedad (%)	15.30			

Imagen 10 Ensayo de Proctor - curva



ENSAYO DE CBR EN ESTADO NATURAL

Imagen 11 CBR al estado Natural

ENSAYO DE CBR.												
METODO ASTM D - 1883												
MOLDE Nro.	1			5			7					
Nro. GOLPES POR CAPA	12			25			56					
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR			SIN MOJAR			SIN MOJAR					
Peso molde + suelo humedo	11495			11234			11602					
Peso del Molde	7304			6907			7304					
Peso del Suelo humedo	4191			4327			4298					
Volumen del Suelo	2205			2170			2086					
Densidad humeda	1.901			1.994			2.060					
% de humedad	15.6			15.1			15.4					
Densidad seca	1.644			1.733			1.786					
Tara + suelo humedo	184.9			180.3			162.9					
Tara + suelo seco	162.8			159.7			143.7					
Peso del agua	22.1			20.6			19.2					
Peso de tara	21.2			23.1			18.7					
Peso del suelo seco	141.6			136.6			125.0					
% de humedad	15.6			15.1			15.4					
Promedio de humedad	15.6			15.1			15.4					

Imagen 12 Expansion y Penetracion

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
	07:15	24	22.60	0.23	1.88	19.30	0.19	1.61	17.30	0.17	1.44
	07:15	48	29.30	0.29	2.44	24.30	0.24	2.03	20.15	0.20	1.68
	07:15	72	35.60	0.36	2.97	30.10	0.30	2.51	27.60	0.28	2.30
	07:15	96	43.95	0.44	3.66	39.60	0.40	3.30	31.50	0.32	2.63

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION	
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	9	8	0	11	10	1	13	11	1
1.00	0.127	0.050	19	17	1	21	19	1	26	24	1
1.30	0.191	0.075	35	32	2	41	37	2	55	50	3
2.00	0.254	0.100	69	63	3	82	74	4	99	90	5
3.00	0.381	0.150	105	96	5	135	123	7	148	135	7
4.00	0.508	0.200	155	141	8	180	164	9	197	180	10
5.00	0.635	0.250	219	200	11	245	223	12	275	251	14
6.00	0.762	0.300	238	217	12	275	251	14	319	291	16
7.00	0.889	0.350									

OBSERVACIONES: **Material Arcilloso limoso de mediana plasticidad: se muestra de color ROJIZO, consistencia compacta.**

Imagen 13 Grafico Penetracion de CBR

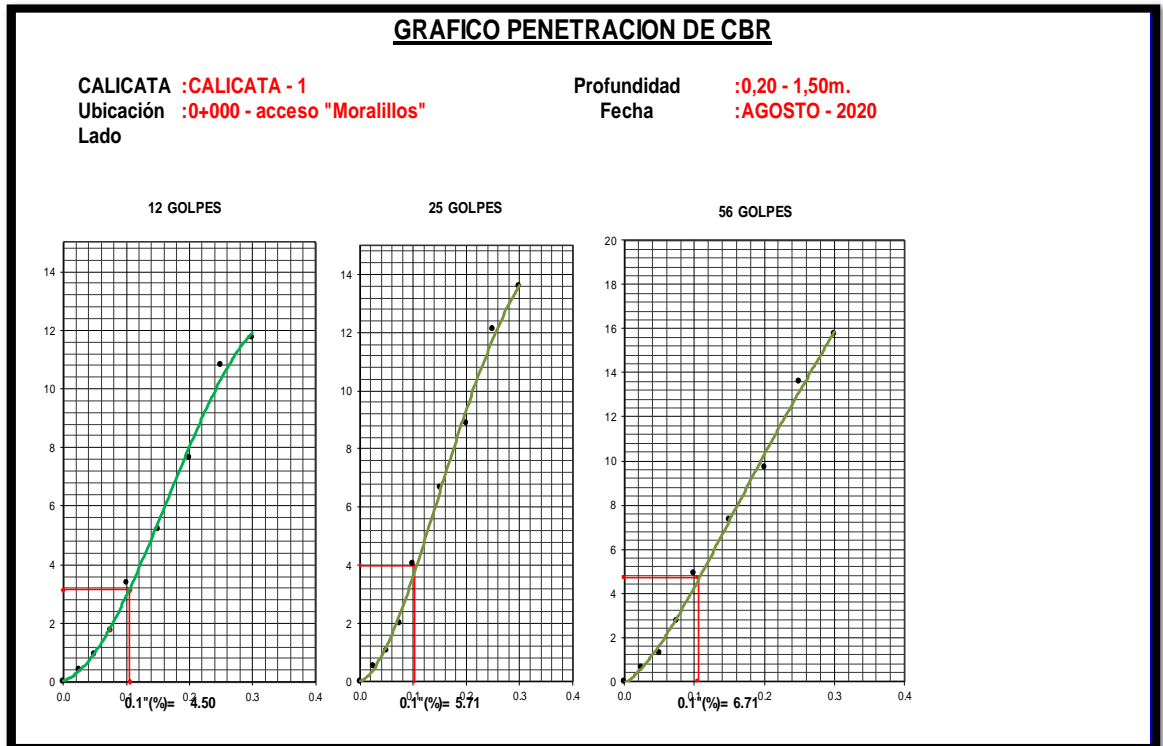
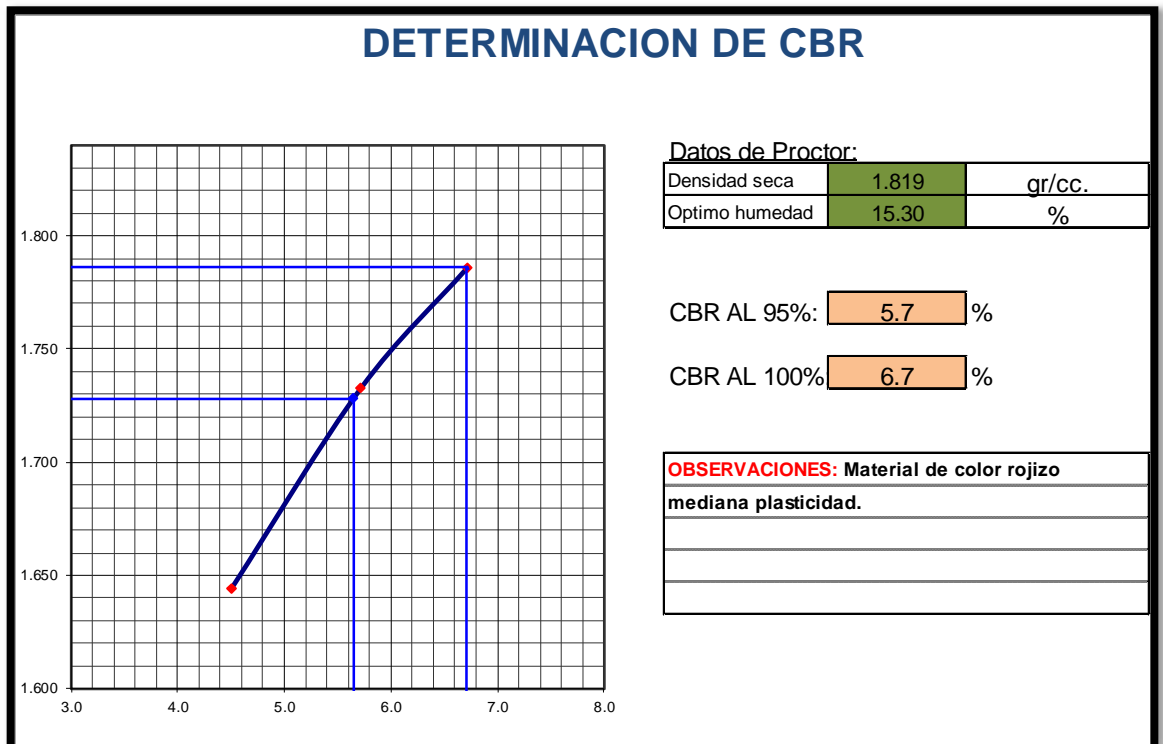


Imagen 14 Determinacion de CBR - Grafico



3.4. RESULTADOS PROES

Imagen 15 Ensayo de proctor modificado con 5% de aditivo

Cantidad de aditivo: 5% de PROES

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

CALICATA :CALICATA - 1 muestra 2 **Profundidad** :0,20 - 1,50m.
Ubicación :0+000 - acceso "Moralillos" **Fecha** :AGOSTO - 2020
Lado

Compactación	Peso Molde	4134.0 gr	Volumen Mol	939.0 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5966	6089	6120	
Peso suelo compactado (gr.)	1832.0	1955.0	1986	
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.951	2.082	2.115	

Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	
Tara + suelo húmedo (gr.)	200.13	223.44	222.36	
Tara + suelo seco (gr.)	189.36	203.65	195.65	
Peso de agua (gr.)	10.77	19.79	26.71	
Peso de tara (gr.)	41.25	32.56	47.88	
Peso de suelo seco (gr.)	148.11	171.09	147.77	
Humedad (%)	7.3	11.6	18.1	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.819	1.866	1.791	

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.866
 Óptimo de Humedad (%) : 12.50

Imagen 16 Ensayo de proctor modificado con 5% de aditivo

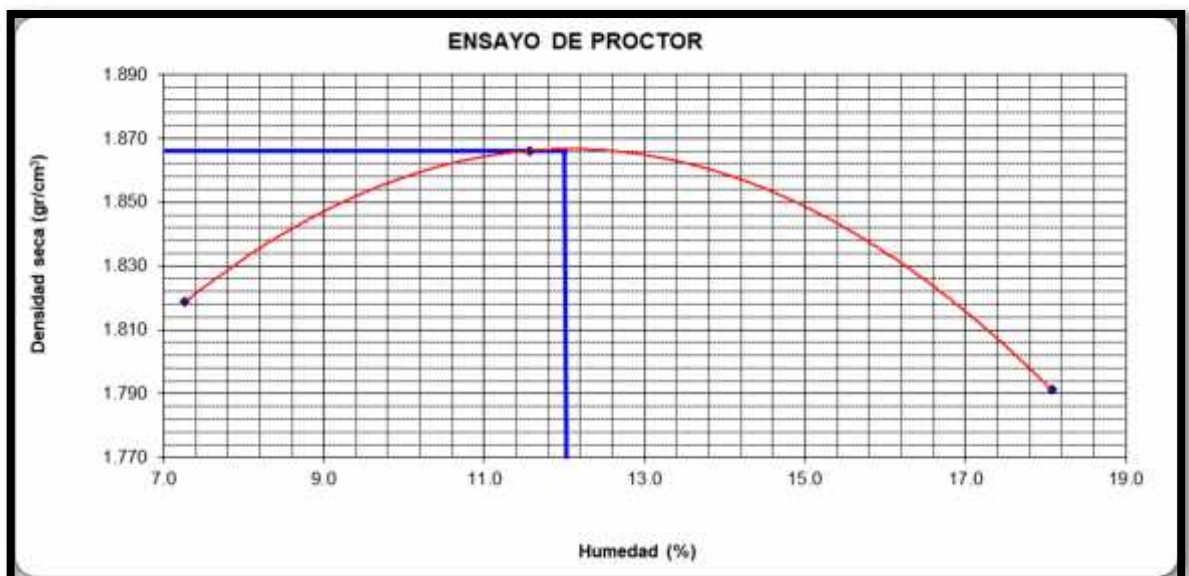


Imagen 17 CBR con 5% de aditivo

ENSAYO DE CBR. METODO ASTM D - 1883					
MOLDE Nro.	1		5		7
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR		SIN MOJAR
Peso molde + suelo humedo	13455		13789		12998
Peso del Molde	8624		8898		8796
Peso del Suelo humedo	4831		4891		4202
Volumen del Suelo	2456		2415		2341
Densidad humeda	1.967		2.025		1.795
% de humedad	12.4		12.7		12.8
Densidad seca	1.751		1.797		1.591
Tara + suelo humedo	158.7		148.7		162.9
Tara + suelo seco	143.6		134.5		146.5
Peso del agua	15.1		14.2		16.4
Peso de tara	21.5		22.6		19.3
Peso del suelo seco	122.1		111.9		127.3
% de humedad	12.4		12.7		12.8
Promedio de humedad	12.4		12.7		12.8

Imagen 18 Expansion y Penetracion con 5% de aditivo

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
	07:30	24	22.23	0.22	1.85	15.36	0.15	1.28	18.69	0.19	1.56
	07:30	48	31.56	0.32	2.63	23.89	0.24	1.99	20.65	0.21	1.72
	07:30	72	35.45	0.35	2.95	30.56	0.31	2.55	28.85	0.29	2.40
	07:30	96	48.99	0.49	4.08	41.58	0.42	3.47	31.55	0.32	2.63

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
TIEMPO	mm.	pulq.	LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION	
				Kg	Kg/cm2		Kg	Kg/cm2		Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	14	13	1	11	10	1	13	12	1
1.00	0.127	0.050	23	21	1	21	19	1	25	23	1
1.30	0.191	0.075	43	39	2	45	41	2	60	55	3
2.00	0.254	0.100	76	69	4	82	75	4	110	100	5
3.00	0.381	0.150	114	104	6	146	133	7	149	136	7
4.00	0.508	0.200	152	139	8	189	172	9	222	202	11
5.00	0.635	0.250	225	205	11	245	223	12	281	256	14
6.00	0.762	0.300	244	223	12	280	255	14	345	315	17
7.00	0.889	0.350									

Imagen 19 Grafico de CBR con 5% de aditivo

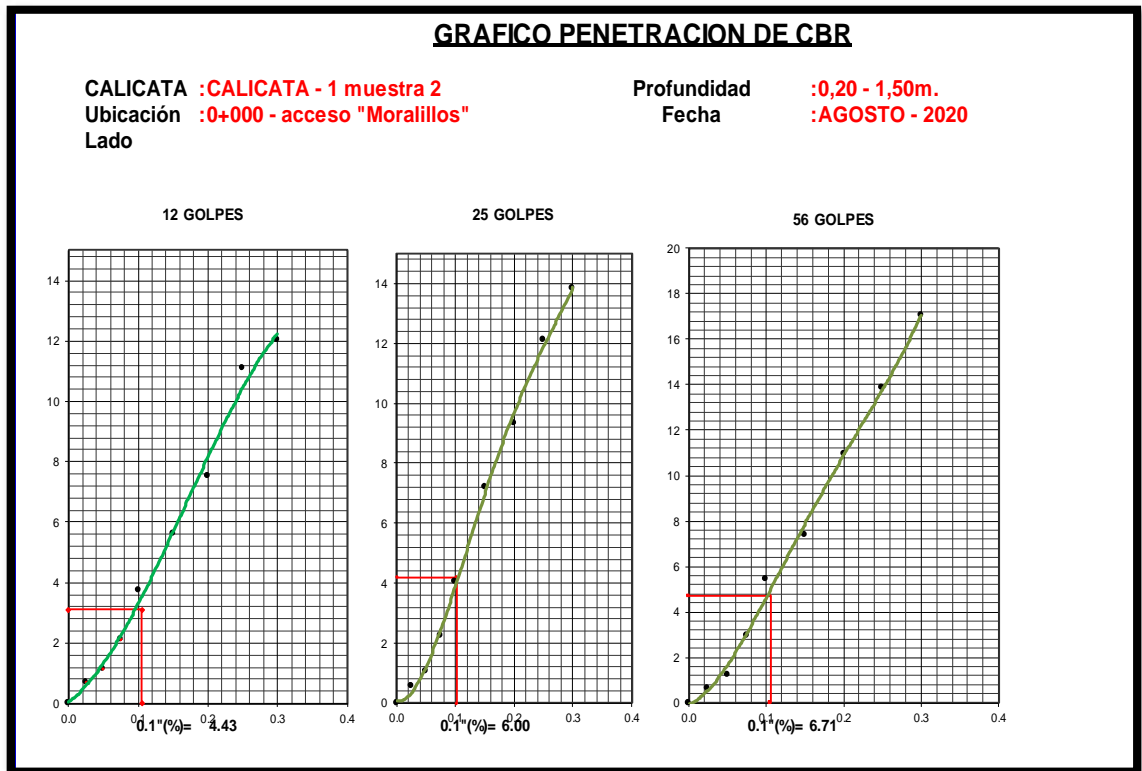


Imagen 20 Determinacion de CBR con 5% de aditivo

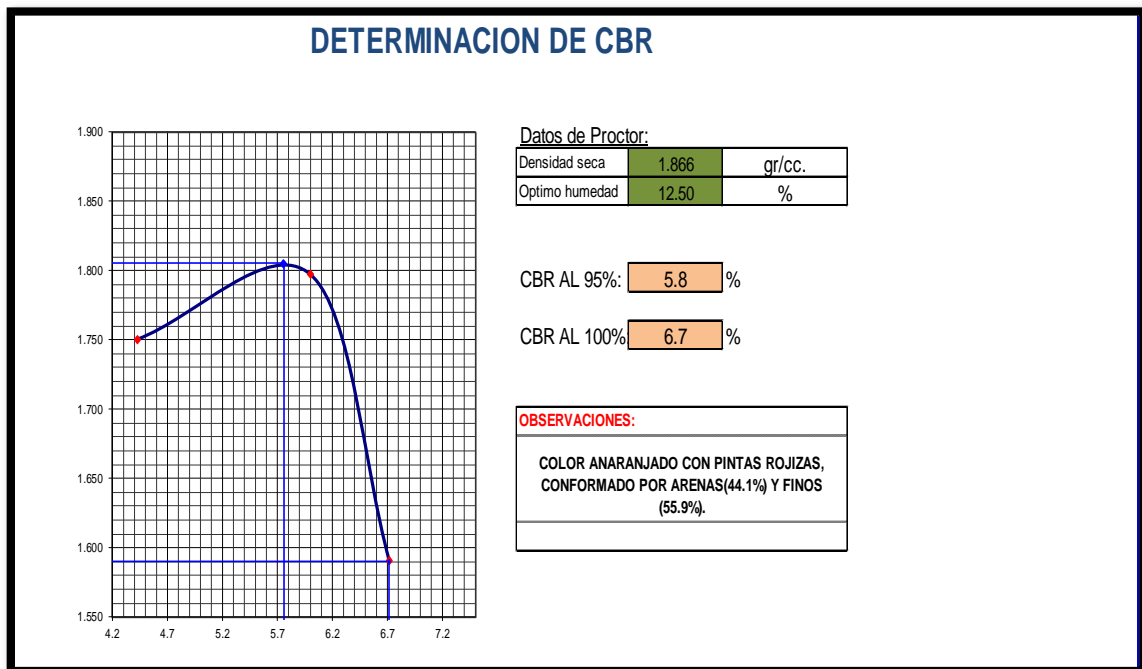


Imagen 21 Ensayo de proctor modificado con 10% de aditivo

Cantidad de aditivo: 10% de PROES				
<u>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</u>				
CALICATA	:CALICATA - 1 muestra 2			Profundidad :0,20 - 1,50m.
Ubicación	:0+000 - acceso "Moralillos"			Fecha :AGOSTO - 2020
Lado				
Compactación	Peso Molde	4134.0 gr	Volumen Mol	939.0 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5966	6089	6120	
Peso suelo compactado (gr.)	1832.0	1955.0	1986	
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.951	2.082	2.115	
Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	
Tara + suelo húmedo (gr.)	195.68	209.25	215.33	
Tara + suelo seco (gr.)	187.01	196.35	189.60	
Peso de agua (gr.)	8.67	12.90	25.73	
Peso de tara (gr.)	37.58	41.11	44.56	
Peso de suelo seco (gr.)	149.43	155.24	145.04	
Humedad (%)	5.8	8.3	17.7	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.844	1.922	1.796	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.955			
Optimo de Humedad (%)	11.30			

Imagen 22 Ensayo de Proctor con 10% de aditivo

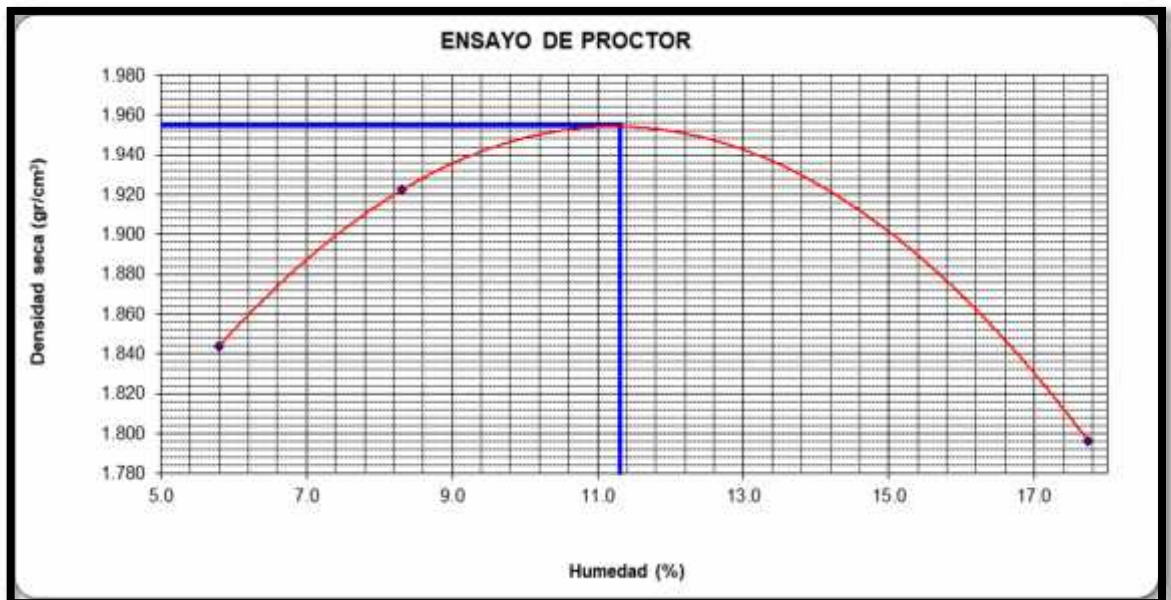


Imagen 23 Ensayo de CBR con 10% de aditivo

ENSAYO DE CBR.												
METODO ASTM D - 1883												
CALICATA :	:CALICATA - 1 muestra 2			Profundidad			:0,20 - 1,50m.					
Ubicación :	:0+000 - acceso "Moraillos"			Fecha			:AGOSTO - 2020					
Lado :	0											
Lado :												

ENSAYO DE CBR.												
METODO ASTM D - 1883												
MOLDE Nro.	1			5			7					
Nro. GOLPES POR CAPA	12			25			56					
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR			SIN MOJAR			SIN MOJAR					
Peso molde + suelo humedo	13156			13269			13339					
Peso del Molde	8599			7988			8595					
Peso del Suelo humedo	4557			5281			4744					
Volumen del Suelo	2511			2459			2499					
Densidad humeda	1.815			2.148			1.898					
% de humedad	11.4			11.2			11.4					
Densidad seca	1.629			1.931			1.704					
Tara + suelo humedo	159.4			161.3			170.4					
Tara + suelo seco	145.3			147.3			154.9					
Peso del agua	14.1			14.0			15.5					
Peso de tara	21.5			22.6			19.3					
Peso del suelo seco	123.8			124.7			135.7					
% de humedad	11.4			11.2			11.4					
Promedio de humedad	11.4			11.2			11.4					

Imagen 24 Expansion y Penetracion con 10% de aditivo

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
	07:30	24	22.09	0.22	1.84	16.36	0.16	1.36	20.49	0.20	1.71
	07:30	48	30.36	0.30	2.53	25.78	0.26	2.15	24.89	0.25	2.07
	07:30	72	40.25	0.40	3.35	31.45	0.31	2.62	30.56	0.31	2.55
	07:30	96	51.23	0.51	4.27	45.12	0.45	3.76	32.88	0.33	2.74

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION	
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	15	14	1	13	12	1	14	13	1
1.00	0.127	0.050	25	23	1	22	20	1	21	19	1
1.30	0.191	0.075	46	42	2	48	44	2	65	59	3
2.00	0.254	0.100	84	77	4	86	78	4	113	103	6
3.00	0.381	0.150	109	99	5	150	137	7	152	139	8
4.00	0.508	0.200	146	133	7	191	174	9	229	209	11
5.00	0.635	0.250	212	193	10	250	228	12	286	261	14
6.00	0.762	0.300	236	215	12	281	256	14	351	320	17
7.00	0.889	0.350									

Imagen 25 Grafico Penetracion de CBR con 10% de aditivo

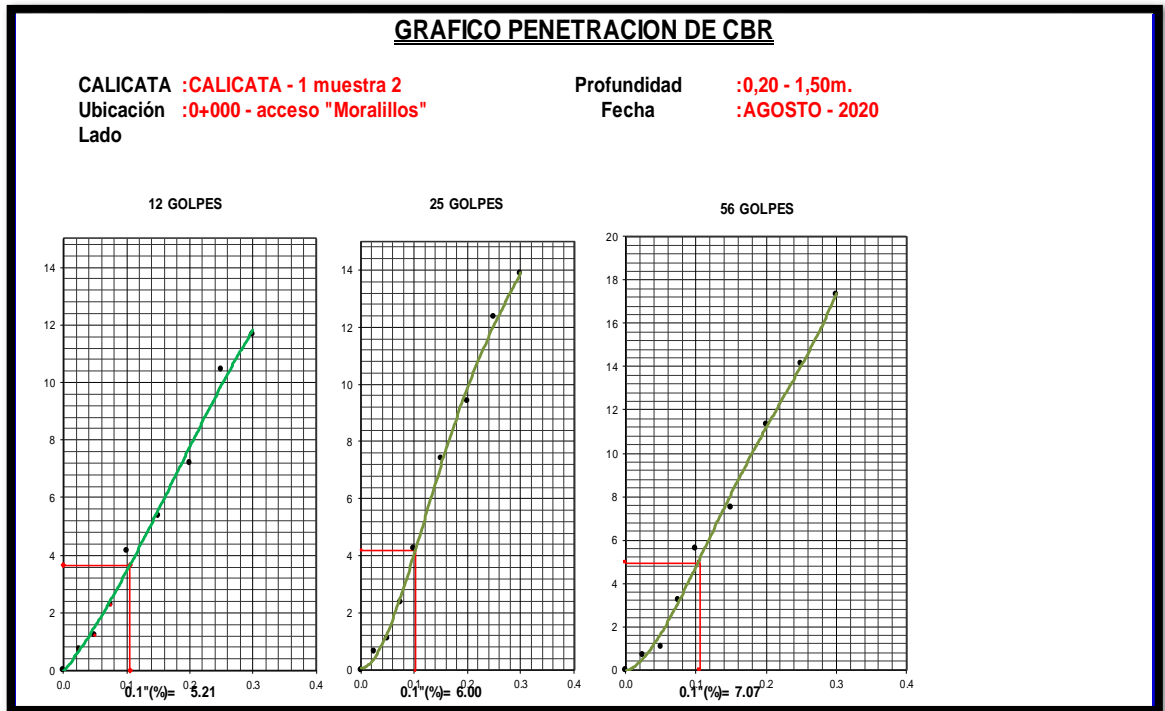


Imagen 26 determinacion de CBR con 10% de aditivo

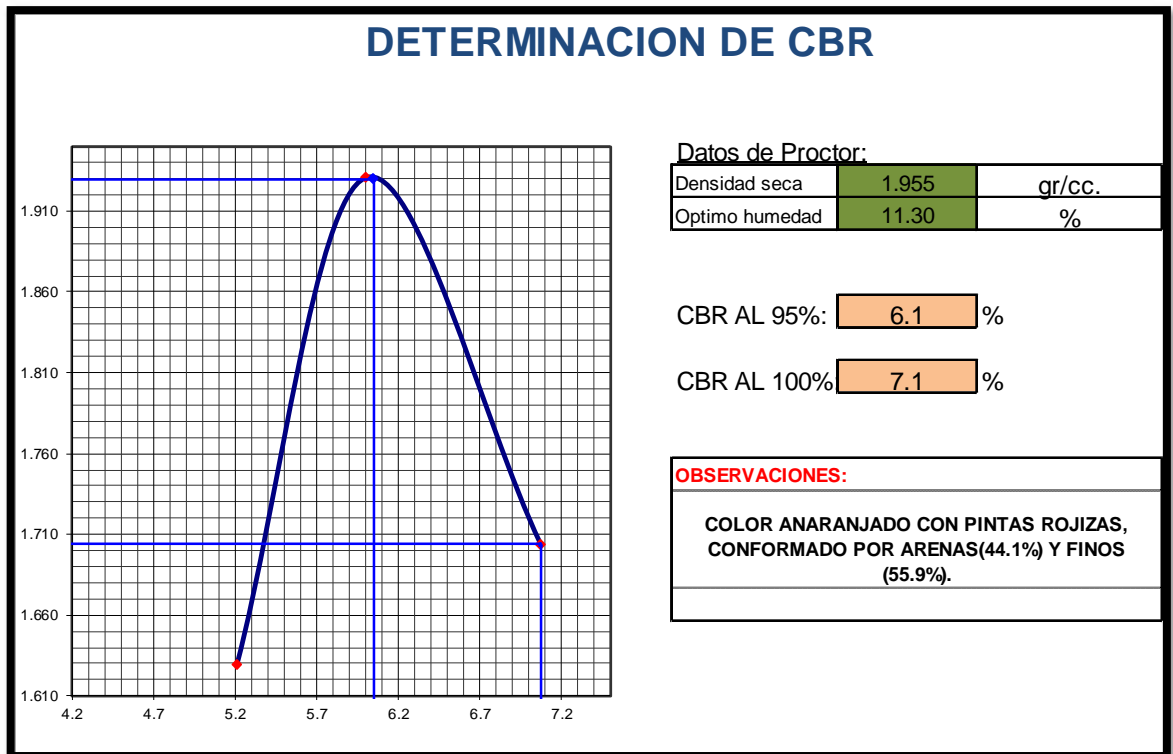


Imagen 27 Ensayo de proctor modificado con 15% de aditivo

Cantidad de aditivo: 15% de PROES

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

CALICATA :CALICATA - 1 muestra 2 **Profundidad :0,20 - 1,50m.**
Ubicación :0+000 - acceso "Moralillos" **Fecha :AGOSTO - 2020**
Lado

Compactación	Peso Molde	4134.0 gr	Volumen Mol	939.0 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5966	6089	6120	
Peso suelo compactado (gr.)	1832.0	1955.0	1986	
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.951	2.082	2.115	

Humedad (%)

Tara N°	1	3	6
Tara + suelo húmedo (gr.)	215.55	226.78	218.39
Tara + suelo seco (gr.)	201.38	208.10	202.89
Peso de agua (gr.)	14.17	18.68	15.50
Peso de tara (gr.)	35.78	38.56	41.12
Peso de suelo seco (gr.)	165.60	169.54	161.77
Humedad (%)	8.6	11.0	9.6
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.797	1.875	1.930

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.944
 Optimo de Humedad (%) : 10.10

Imagen 28 Grafico de Proctor con 15% de aditivo

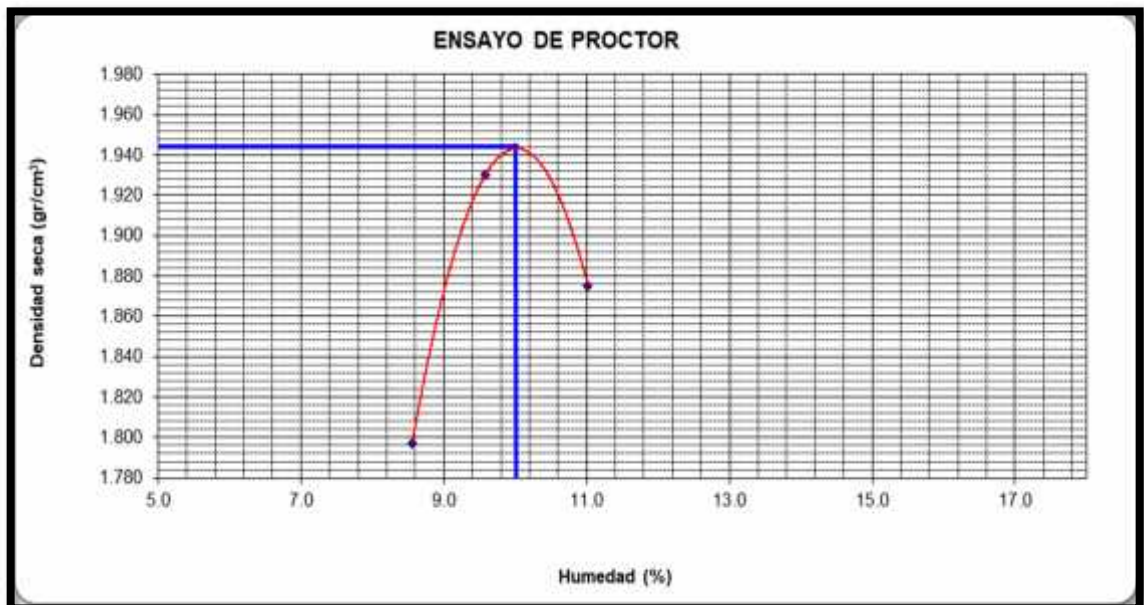


Imagen 29 Ensayo de CBR con 15% de aditivo

ENSAYO DE CBR.											
METODO ASTM D - 1883											
CALICATA :	:CALICATA - 1 muestra 2			Profundidad	:0,20 - 1,50m.						
Ubicación :	:0+000 - acceso "Moralillos"			Fecha	:AGOSTO - 2020						
Lado :	0										
Lado :											

ENSAYO DE CBR.												
METODO ASTM D - 1883												
MOLDE Nro.	1			5			7					
Nro. GOLPES POR CAPA	12			25			56					
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR			SIN MOJAR			SIN MOJAR					
Peso molde + suelo humedo	12897			12963			13157					
Peso del Molde	7893			8056			8277					
Peso del Suelo humedo	5004			4907			4880					
Volumen del Suelo	2631			2557			2578					
Densidad humeda	1.902			1.919			1.893					
% de humedad	10.3			10.4			10.2					
Densidad seca	1.725			1.738			1.718					
Tara + suelo humedo	171.3			168.8			178.4					
Tara + suelo seco	157.5			155.0			163.7					
Peso del agua	13.8			13.8			14.7					
Peso de tara	23.5			22.6			19.3					
Peso del suelo seco	134.0			132.4			144.5					
% de humedad	10.3			10.4			10.2					
Promedio de humedad	10.3			10.4			10.2					

Imagen 30 Expansion y Penetracion con 15% de aditivo

EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA			EXPANSION			LECTURA			EXPANSION		
			DIAL	mm.	%	DIAL	mm.	%	DIAL	mm.	%			
	07:00	24	21.87	0.22	1.82	15.88	0.16	1.32	19.22	0.19			1.60	
	07:00	48	29.33	0.29	2.44	23.54	0.24	1.96	23.68	0.24			1.97	
	07:00	72	42.29	0.42	3.52	33.71	0.34	2.81	28.99	0.29			2.42	
	07:00	96	55.96	0.56	4.66	47.88	0.48	3.99	33.66	0.34			2.81	

PENETRACION														
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7					
			LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		Kg/cm2		
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2		
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0.30	0.064	0.025	14	13	1	11	10	1	13	12		1		
1.00	0.127	0.050	23	21	1	25	23	1	25	23		1		
1.30	0.191	0.075	51	47	3	50	46	2	61	56		3		
2.00	0.254	0.100	88	80	4	81	74	4	115	105		6		
3.00	0.381	0.150	107	98	5	145	132	7	151	138		7		
4.00	0.508	0.200	139	127	7	201	183	10	232	212		11		
5.00	0.635	0.250	211	192	10	253	231	12	290	264		14		
6.00	0.762	0.300	240	219	12	288	263	14	260	237		13		
7.00	0.889	0.350												

Imagen 31 Grafico Penetracion de CBR con 15% de aditivo

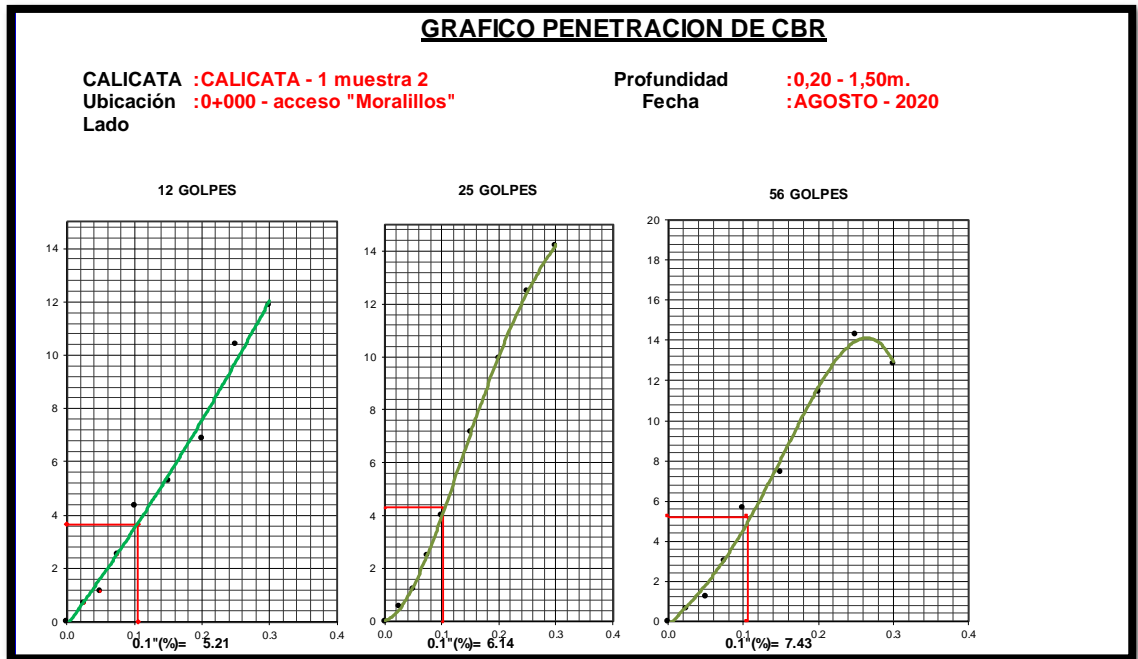
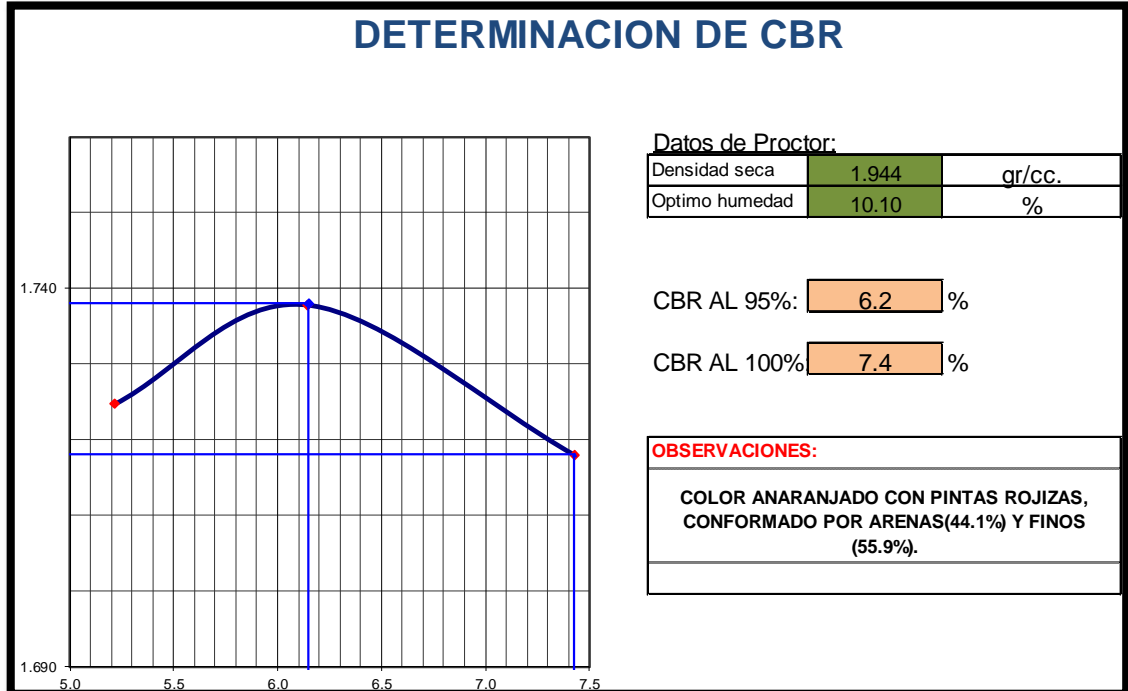


Imagen 32 Determinacion de CBR con 15% de aditivo



3.5. RESULTADOS TERRASIL

Imagen 33 Ensayo de Proctor Modificado con 5% de aditivo

Cantidad de aditivo: 5% de Terrasil				
<u>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</u>				
CALICATA :CALICATA - 1		Profundidad :0,20 - 1,50m.		
Ubicación :0+000 - acceso "Moralillos"		Fecha :AGOSTO - 2020		
Lado				
Compactación	Peso Molde	3992.0 gr	Volumen Mol	944.3 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5824	5916	5944	
Peso suelo compactado (gr.)	1832.0	1924.0	1952	
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.940	2.037	2.067	
Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	2
Tara + suelo húmedo (gr.)	202.40	225.20	225.80	
Tara + suelo seco (gr.)	185.20	202.70	198.30	
Peso de agua (gr.)	17.20	22.50	27.50	
Peso de tara (gr.)	40.10	42.30	40.50	
Peso de suelo seco (gr.)	145.10	160.40	157.80	
Humedad (%)	11.9	14.0	17.4	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.734	1.787	1.760	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.793			
Óptimo de Humedad (%)	15.00			

Imagen 34 Grafico de Proctor con 5% de aditivo

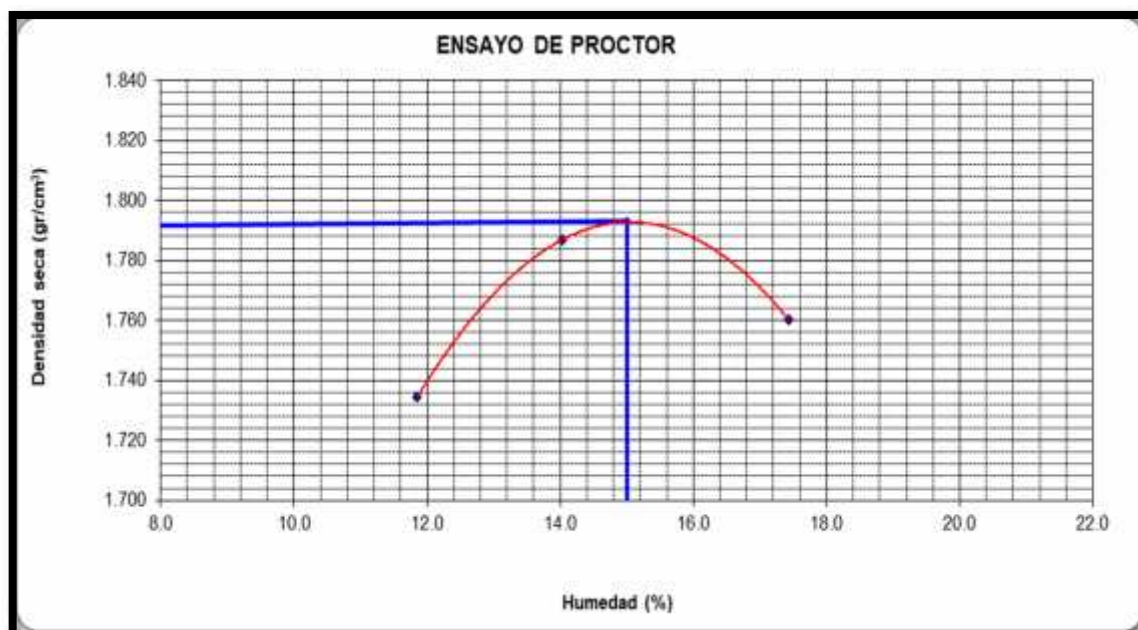


Imagen 35 ensayo de CBR con 5% de aditivo

ENSAYO DE CBR.					
METODO ASTM D - 1883					
CALICATA :	:CALICATA - 1	Profundidad	:0,20 - 1,50m.		
Ubicación :	:0+000 - acceso "Moraillos"	Fecha	:AGOSTO - 2020		
Lado :	0				
Lado :					

ENSAYO DE CBR.					
METODO ASTM D - 1883					
MOLDE Nro.	1		5		7
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR		SIN MOJAR
Peso molde + suelo humedo	11515		11204		11539
Peso del Molde	7312		6899		7245
Peso del Suelo humedo	4203		4305		4294
Volumen del Suelo	2218		2150		2086
Densidad humeda	1.895		2.002		2.058
% de humedad	14.8		15.1		15.3
Densidad seca	1.651		1.740		1.785
Tara + suelo humedo	184.1		178.7		164.5
Tara + suelo seco	163.3		158.3		145.2
Peso del agua	20.9		20.4		19.3
Peso de tara	22.1		23.0		19.3
Peso del suelo seco	141.2		135.3		125.9
% de humedad	14.8		15.1		15.3
Promedio de humedad	14.8		15.1		15.3

Imagen 36 Expansion y Penetracion con 5% de aditivo

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
	07:00	24	20.18	0.20	1.68	18.11	0.18	1.51	15.78	0.16	1.32
	07:00	48	30.10	0.30	2.51	23.66	0.24	1.97	21.25	0.21	1.77
	07:00	72	34.50	0.35	2.88	29.87	0.30	2.49	28.45	0.28	2.37
	07:00	96	45.33	0.45	3.78	38.18	0.38	3.18	30.99	0.31	2.58

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION		LECTURA	CORRECCION	
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	9	8	0	11	10	1	15	14	1
1.00	0.127	0.050	22	20	1	25	23	1	28	26	1
1.30	0.191	0.075	38	35	2	43	39	2	65	59	3
2.00	0.254	0.100	75	68	4	88	80	4	105	96	5
3.00	0.381	0.150	106	97	5	138	126	7	145	132	7
4.00	0.508	0.200	158	144	8	179	163	9	192	175	9
5.00	0.635	0.250	222	202	11	251	229	12	271	247	13
6.00	0.762	0.300	241	220	12	279	254	14	322	294	16
7.00	0.889	0.350									

Imagen 37 Grafico de Penetracion de CBR

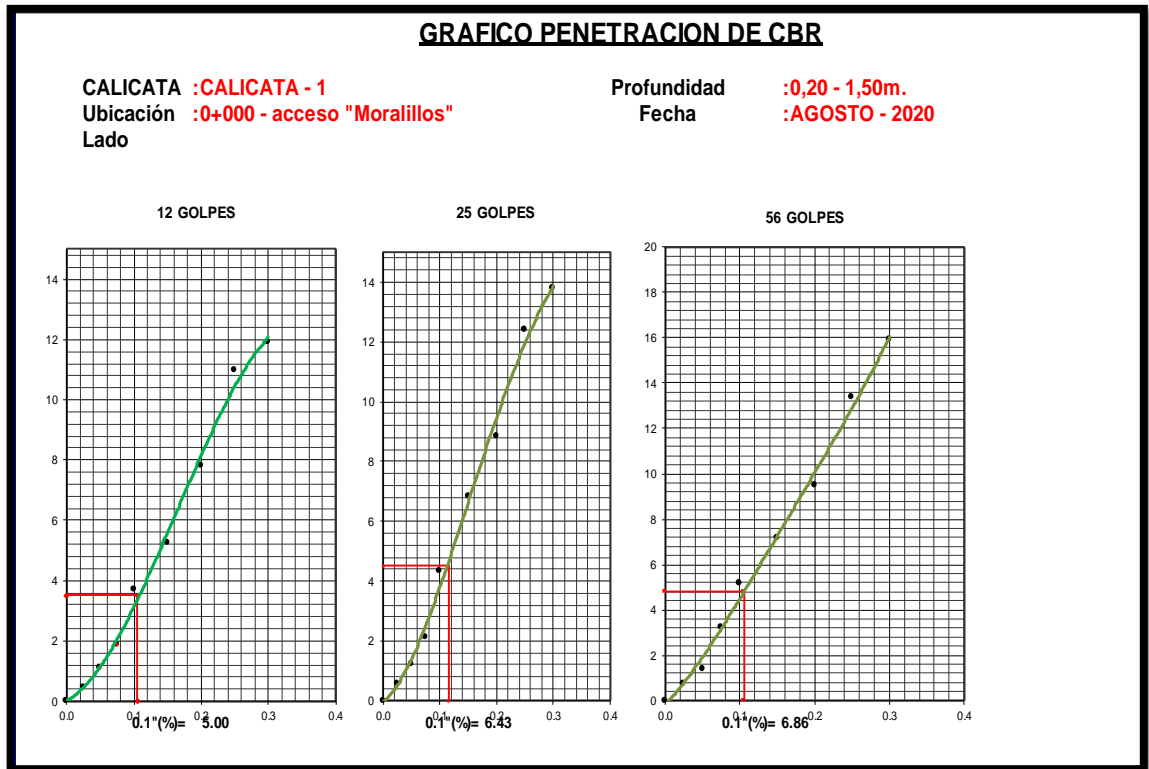


Imagen 38 Determinacion de CBR con 5% de aditivo

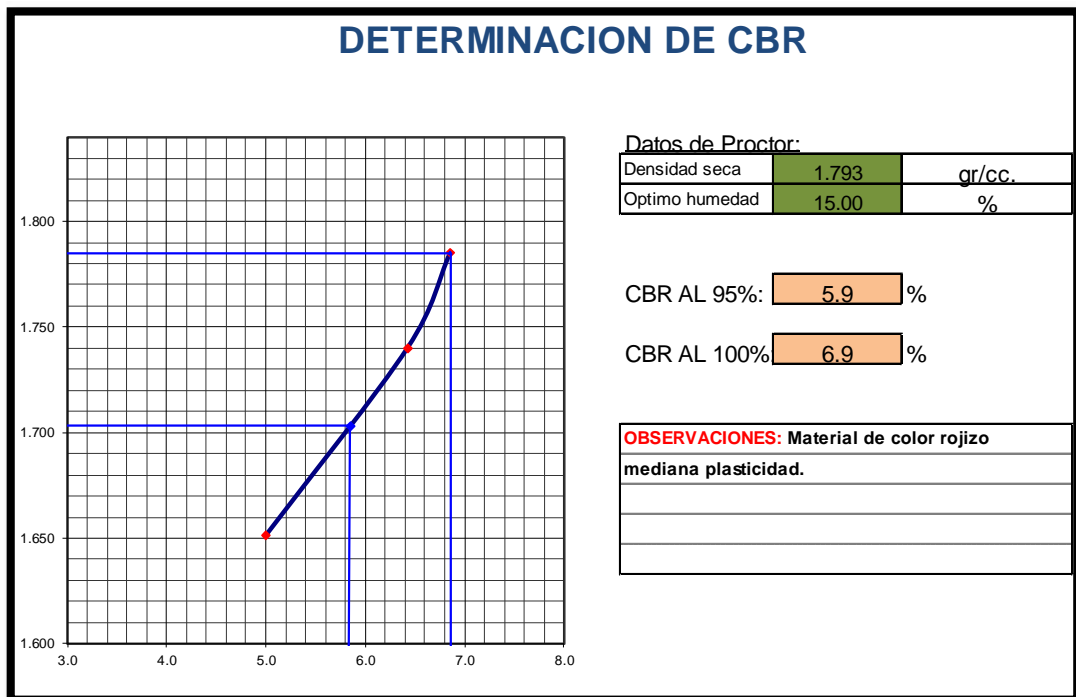


Imagen 39 Ensayo de Proctor Modificado con 10% de aditivo

Cantidad de aditivo: 10% de Terrasil		<u>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</u>			
CALICATA	:CALICATA - 1	Profundidad		:0,20 - 1,50m.	
Ubicación	:0+000 - acceso "Moralillos"	Fecha		:AGOSTO - 2020	
Lado					
Compactación	Peso Molde	3992.0 gr	Volumen Mol	944.3 cc	
Prueba N°	1	2	3	4	
Numero de capas	5	5	5	5	
Numero de golpes	25	25	25	25	
Peso suelo + molde (gr.)	5834	5908	5941		
Peso suelo compactado (gr.)	1842.0	1916.0	1949		
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.951	2.029	2.064		
Humedad (%)					
Tara N°	1	3	6	2	
Tara + suelo húmedo (gr.)	180.80	209.80	180.40		
Tara + suelo seco (gr.)	166.30	190.40	160.20		
Peso de agua (gr.)	14.50	19.40	20.20		
Peso de tara (gr.)	39.70	39.00	39.30		
Peso de suelo seco (gr.)	126.60	151.40	120.90		
Humedad (%)	11.5	12.8	16.7		
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.750	1.799	1.768		
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	:	1.817			
Optimo de Humedad (%)	:	14.30			

Imagen 40 Grafico de Proctor con 10% de aditivo

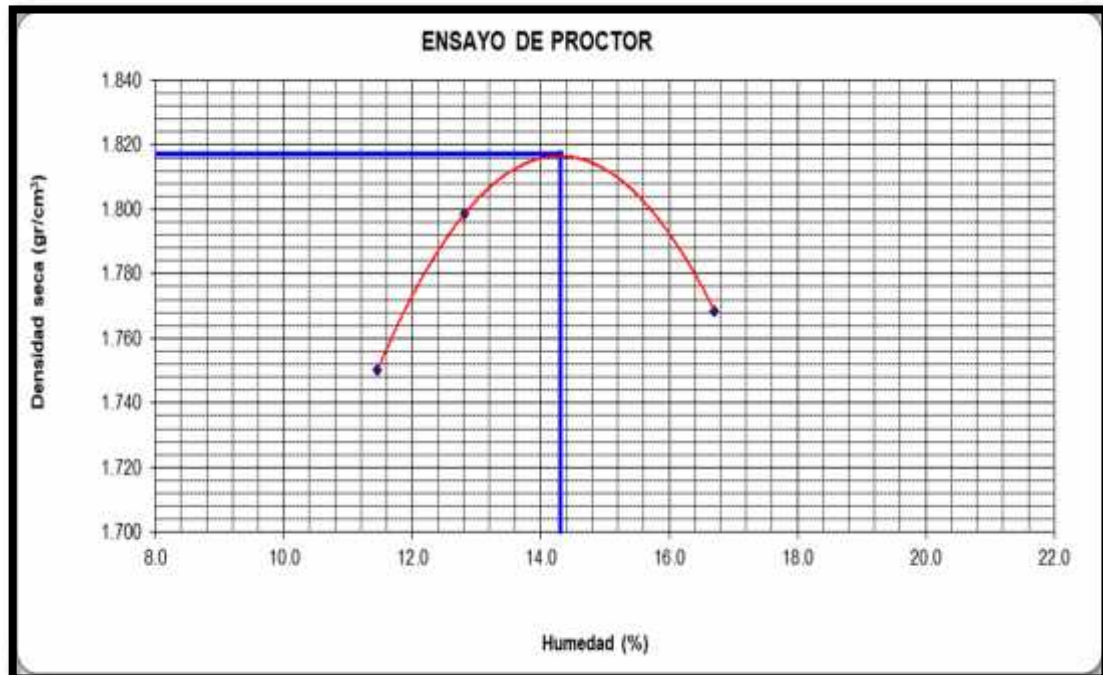


Imagen 41 Ensayo de CBR con 10% de aditivo

ENSAYO DE CBR.					
METODO ASTM D - 1883					
CALICATA :	:CALICATA - 1		Profundidad	:0,20 - 1,50m.	
Ubicación :	:0+000 - acceso "Moralillos"		Fecha	:AGOSTO - 2020	
Lado :	0				
Lado :					

ENSAYO DE CBR.					
METODO ASTM D - 1883					
MOLDE Nro.	1		5		7
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR		SIN MOJAR
Peso molde + suelo humedo	11523		11425		11501
Peso del Molde	7514		6985		7158
Peso del Suelo humedo	4009		4440		4343
Volumen del Suelo	2453		2246		2158
Densidad humeda	1.634		1.977		2.013
% de humedad	14.5		14.1		14.0
Densidad seca	1.428		1.733		1.765
Tara + suelo humedo	190.1		189.8		174.9
Tara + suelo seco	168.8		169.3		155.9
Peso del agua	21.3		20.5		19.0
Peso de tara	21.5		23.4		20.4
Peso del suelo seco	147.3		145.9		135.5
% de humedad	14.5		14.1		14.0
Promedio de humedad	14.5		14.1		14.0

Imagen 42 Expansion y Penetracion con 10% de aditivo

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
	07:00	24	21.02	0.21	1.75	19.87	0.20	1.66	16.01	0.16	1.33
	07:00	48	35.00	0.35	2.92	22.66	0.23	1.89	20.39	0.20	1.70
	07:00	72	41.22	0.41	3.44	30.45	0.30	2.54	29.45	0.29	2.45
	07:00	96	51.28	0.51	4.27	37.99	0.38	3.17	32.50	0.33	2.71

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION	
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	12	11	1	8	7	0	14	13	1
1.00	0.127	0.050	24	22	1	20	18	1	27	25	1
1.30	0.191	0.075	41	37	2	45	41	2	62	57	3
2.00	0.254	0.100	78	71	4	89	81	4	110	100	5
3.00	0.381	0.150	110	100	5	140	128	7	135	123	7
4.00	0.508	0.200	162	148	8	181	165	9	188	171	9
5.00	0.635	0.250	205	187	10	248	226	12	268	244	13
6.00	0.762	0.300	248	226	12	271	247	13	311	284	15
7.00	0.889	0.350									

Imagen 43 Grafico de Penetracion de CBR con 10% de aditivo

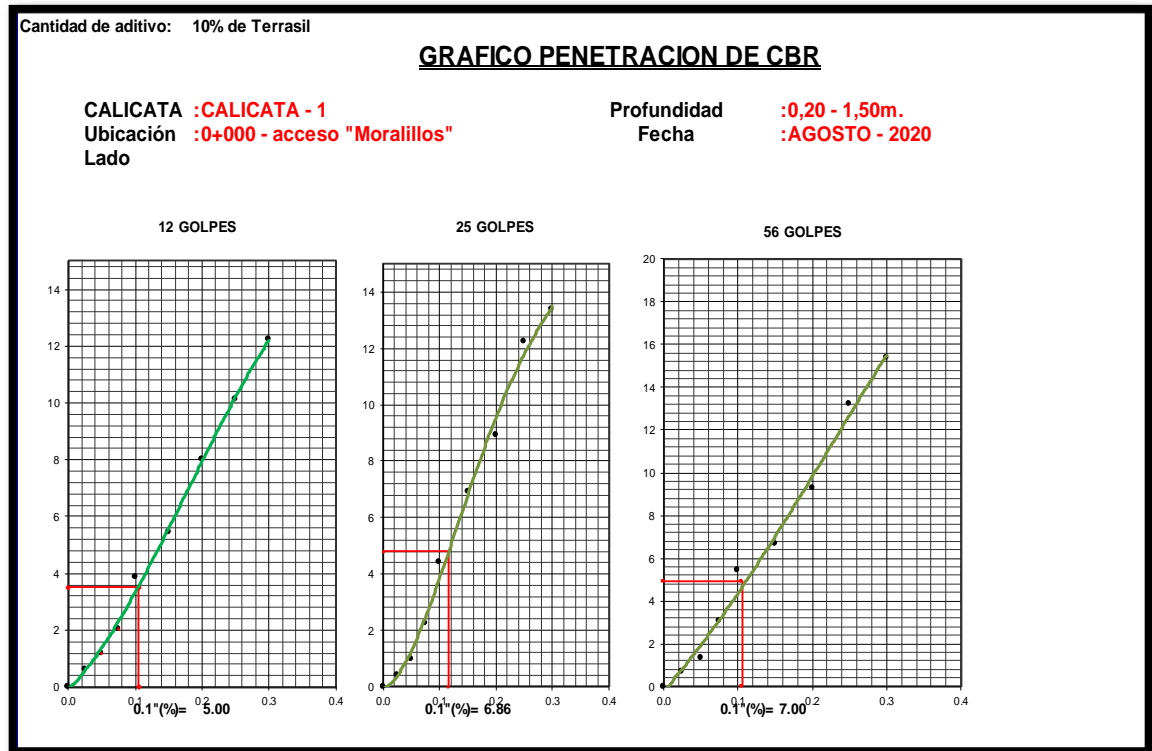


Imagen 44 Determinacion de CBR con 10% de aditivo

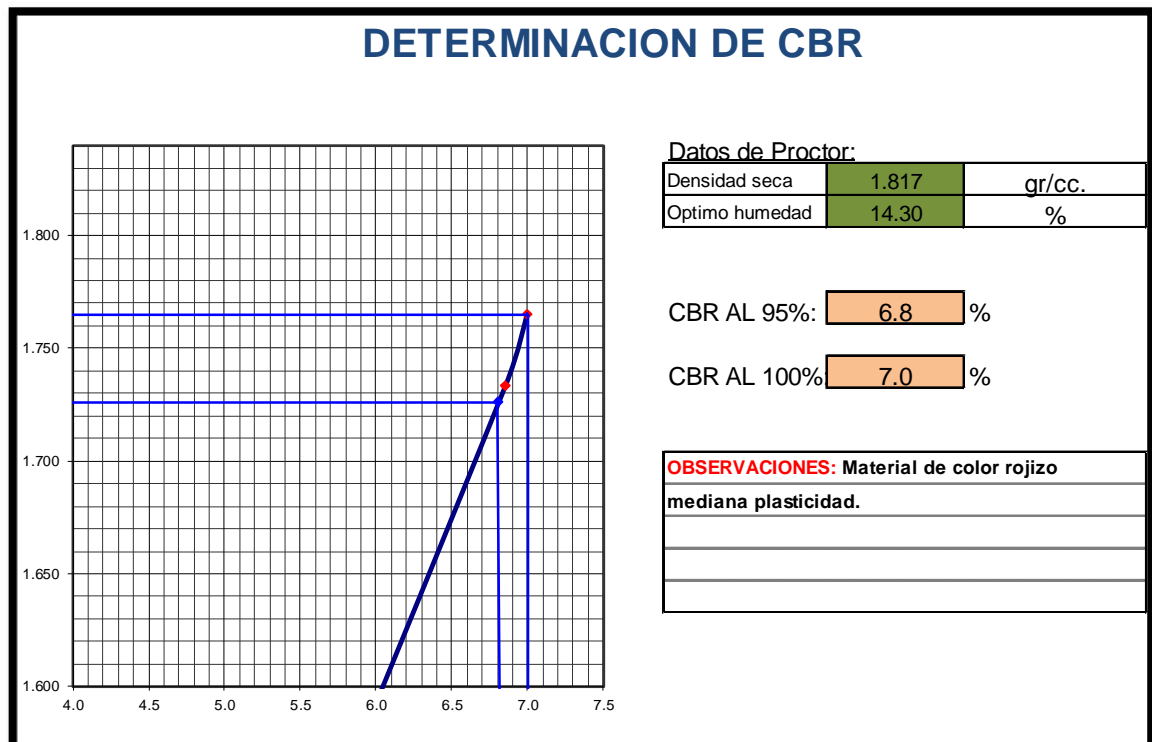


Imagen 45 Ensayo de Proctor Modificado con 15% de aditivo

Cantidad de aditivo: 15% de Terrasil		<u>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</u>		
CALICATA	:CALICATA - 1	Profundidad	:0,20 - 1,50m.	
Ubicación	:0+000 - acceso "Moraillos"	Fecha	:AGOSTO - 2020	
Lado				
Compactación	Peso Molde	3992.0 gr	Volumen Mol	944.3 cc
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5815	5882	5917	
Peso suelo compactado (gr.)	1823.0	1890.0	1925	
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.931	2.001	2.039	
Humedad (%)				
Tara N°	1	3	6	2
Tara + suelo húmedo (gr.)	195.20	203.50	195.40	
Tara + suelo seco (gr.)	178.80	180.00	177.00	
Peso de agua (gr.)	16.40	23.50	18.40	
Peso de tara (gr.)	37.30	41.60	38.70	
Peso de suelo seco (gr.)	141.50	138.40	138.30	
Humedad (%)	11.6	17.0	13.3	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.730	1.711	1.799	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	:	1.807		
Optimo de Humedad (%)	:	14.20		

Imagen 46 Grafico de Proctor con 15% de aditivo

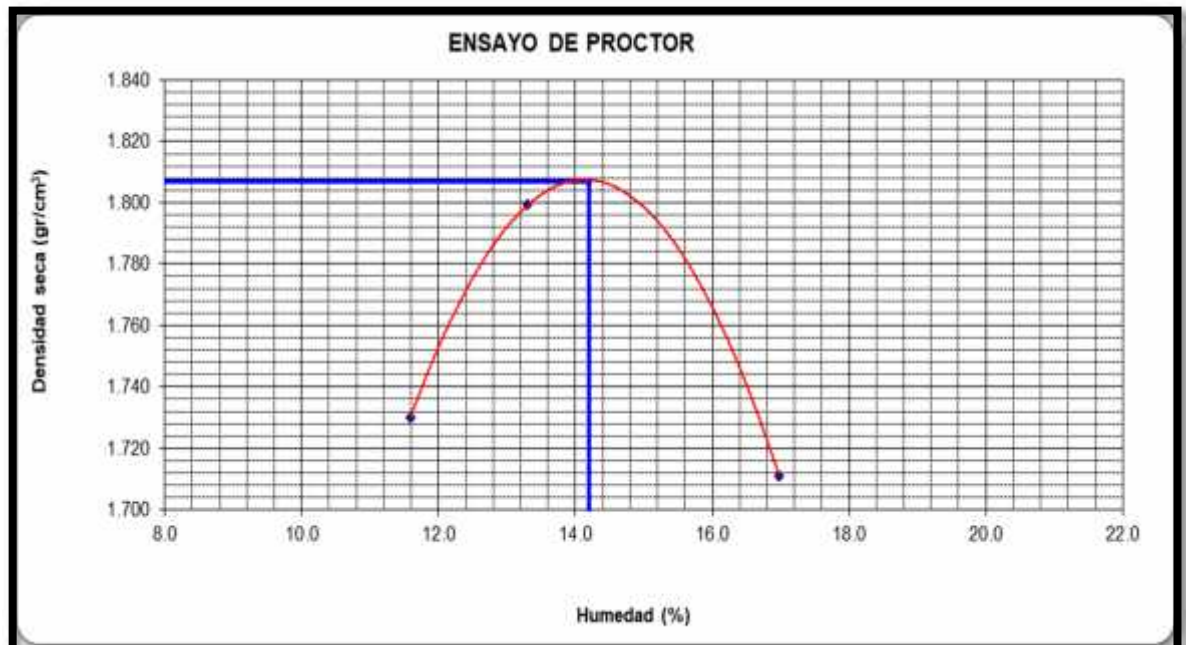


Imagen 47 Ensayo de CBR con 15% de aditivo

ENSAYO DE CBR. METODO ASTM D - 1883					
Cantidad de aditivo: 15% de Terrasil					
CALICATA :	:CALICATA - 1		Profundidad	:0,20 - 1,50m.	
Ubicación :	:0+000 - acceso "Morallillos"		Fecha	:AGOSTO - 2020	
Lado :	0				
Lado :					
ENSAYO DE CBR. METODO ASTM D - 1883					
MOLDE Nro.	1		5		7
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56
COND. DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		SIN MOJAR		SIN MOJAR
Peso molde + suelo humedo	11603		11522		11685
Peso del Molde	7520		7251		7210
Peso del Suelo humedo	4083		4271		4475
Volumen del Suelo	2501		2153		2201
Densidad humeda	1.633		1.984		2.033
% de humedad	15.3		15.1		14.9
Densidad seca	1.417		1.723		1.769
Tara + suelo humedo	182.3		190.2		185.0
Tara + suelo seco	161.1		168.3		163.7
Peso del agua	21.2		21.9		21.3
Peso de tara	22.1		23.4		21.0
Peso del suelo seco	139.0		144.9		142.7
% de humedad	15.3		15.1		14.9
Promedio de humedad	15.3		15.1		14.9

Imagen 48 Ensayo de CBR con 15% de aditivo

EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO HRS.	LECTURA		EXPANSION		LECTURA		EXPANSION		%		
			DIAL		mm.	%	DIAL		mm.	%			
	07:05	24	23.90		0.24	1.99	19.36		0.19	1.61	15.22	0.15	1.27
	07:05	48	36.70		0.37	3.06	25.37		0.25	2.11	22.38	0.22	1.86
	07:05	72	44.11		0.44	3.68	31.89		0.32	2.66	28.74	0.29	2.40
	07:05	96	50.13		0.50	4.18	39.99		0.40	3.33	31.25	0.31	2.60

PENETRACION											
PENETRACION			MOLDE Nro: 1			MOLDE Nro: 5			MOLDE Nro: 7		
			LECTURA		CORRECCION	LECTURA		CORRECCION	LECTURA		CORRECCION
TIEMPO	mm.	pulg.	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2	DIAL	Kg	Kg/cm2
0.30	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	0.064	0.025	13	12	1	9	8	0	13	12	1
1.00	0.127	0.050	26	24	1	22	20	1	30	27	1
1.30	0.191	0.075	45	41	2	48	44	2	59	54	3
2.00	0.254	0.100	80	73	4	90	82	4	108	99	5
3.00	0.381	0.150	111	101	5	138	126	7	133	121	7
4.00	0.508	0.200	159	145	8	178	162	9	182	166	9
5.00	0.635	0.250	201	183	10	240	219	12	270	246	13
6.00	0.762	0.300	250	228	12	169	154	8	312	285	15
7.00	0.889	0.350									

Imagen 49 Grafico de Penetracion de CBR con 15% de aditivo

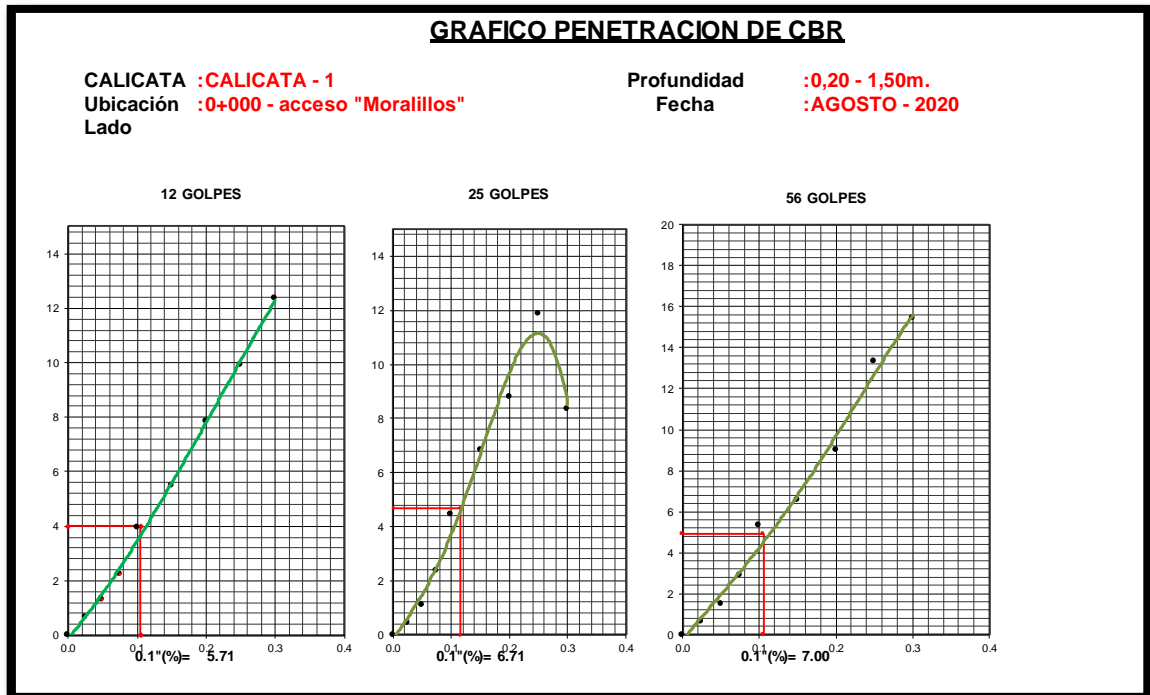
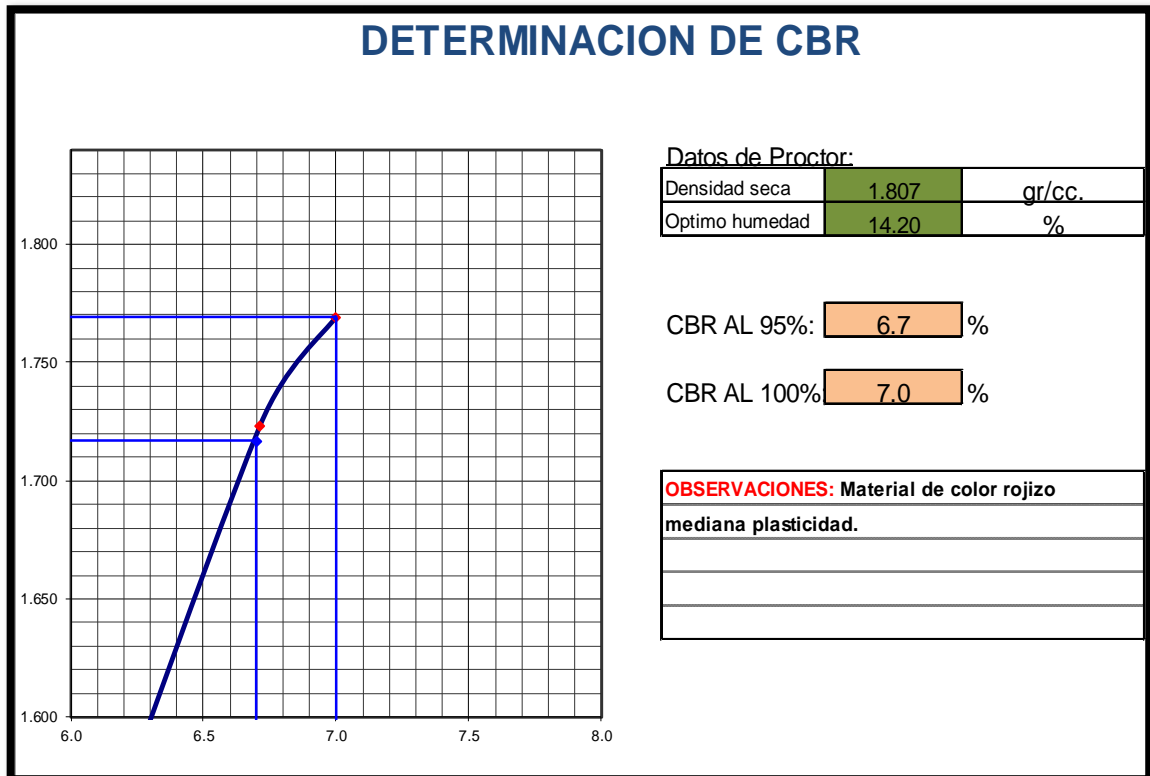


Imagen 50 Determinacion de CBR con 15% de aditivo



3.6. CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS

En este cuadro se resume los resultados del uso de los aditivos en su máxima densidad seca tanto en PROES y TERRASIL.

En estos resultados se consideró la adición del 5%, 10% y 15% de aditivo en el suelo sustraído de la zona de investigación de acuerdo al molde de en el cual se realizó los ensayos respectivos.

Cuadro 1 Cuadro comparativo de resultados de los aditivos

ADICION DE ADITIVOS	M.D.S PROES	M.D.S TERRASIL
DENSIDAD SECA AL 0%	1.890	1.819
DENSIDAD SECA AL 5%	1.866	1.793
DENSIDAD SECA AL 10%	1.955	1.817
DENSIDAD SECA AL 15%	1.944	1.807

Cuadro 2 Cuadro de Contenido de Humedad con la adición de los aditivos.

HUMEDAD OPTIMA PROES	HUMEDAD OPTIMA TERRASIL
10.10	15.30
12.50	15.00
11.30	14.30
10.10	15.00

La adición de los porcentajes de aditivos en la muestra con las cantidades mostradas en la investigación de nos dio el resultado siguiente en este caso con el aditivo PROES:

Cuadro 3 cuadro de resultado PROES

PROES	
% DE ADITIVO	CBR 95%
	5.60
5.00	5.80
10.00	6.10
15.00	6.20

Grafica 3 Curva de aditivo PROES

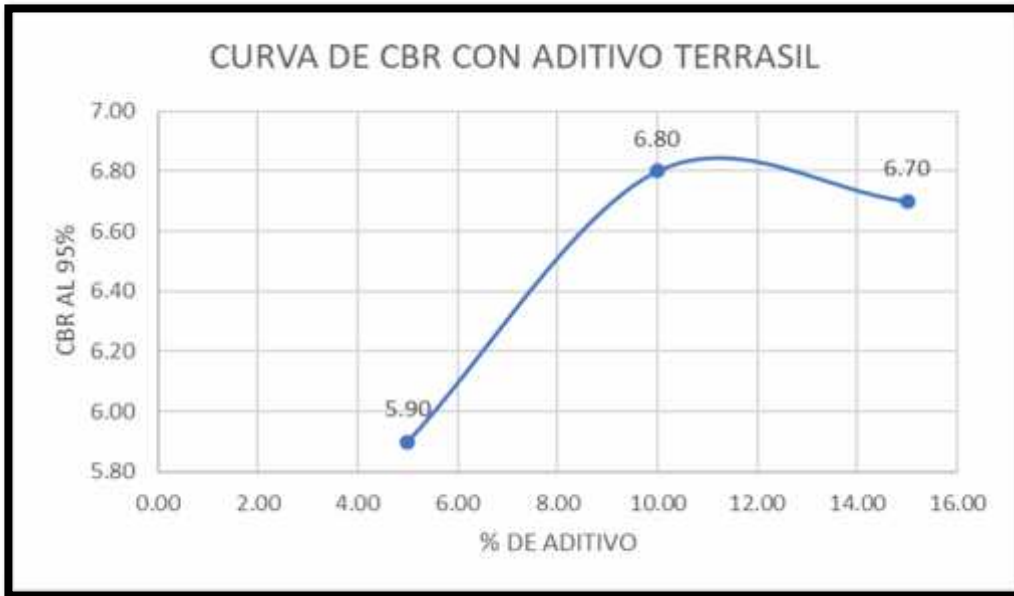


La adición de los porcentajes de aditivos en la muestra con las cantidades mostradas en la investigación de nos dio el resultado siguiente en este caso con el aditivo TERRASIL:

Cuadro 4 Resultado TERRASIL

TERRASIL	
% DE ADITIVO	CBR 95%
	5.70
5.00	5.90
10.00	6.80
15.00	6.70

Grafica 4 Curva de CBR de TERRASIL



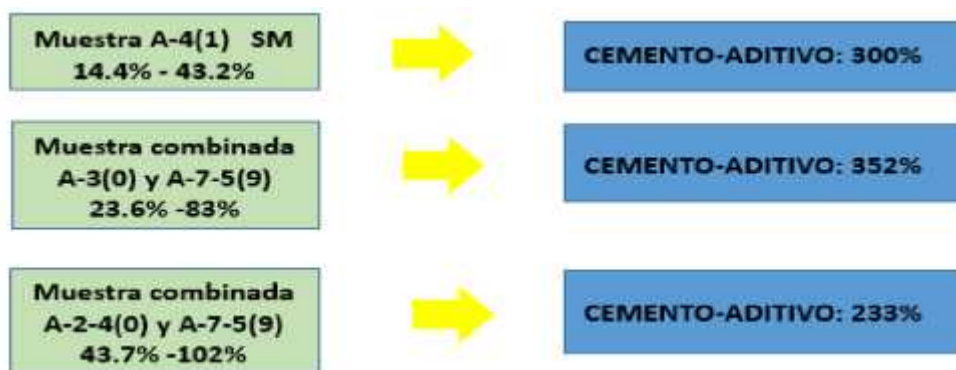
CAPÍTULO V: DISCUSION

Teniendo en cuenta la hipótesis planteada en la presente investigación, podemos determinar que efectivamente los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES, si influye considerablemente en la estabilización del suelo en la carretera de penetración al AA. HH “El Milagro” – Distrito de San Juan Bautista – Loreto. (ROLDAN, 2016)

Considerando que los autores en este proyecto de tesis trabajaron con la adición de un componente mas como el cemento dándole un plus de efectividad en los resultados. (Los autores)

El aditivo PROES generó las siguientes variaciones de CBR con las muestras de suelos encontradas en la zona:

Imagen 51 Autor tesis Diego Angulo y Hember Rojas



Mediante estos resultados, hemos podido determinar de qué podemos trabajar mejor en la zona realizando combinaciones Donde utilizamos los materiales que existe en gran volumen como: A-3(0) en 85% y A-7-5(9) en 15% de un (23.6 a 83) % triplicando el CBR de natural a uso con aditivos donde alcanzo un 352%. (ROLDAN, 2016)

Los autores en este contexto obtuvieron resultados significativos usando cemento aditivo, en cambio la tesis de los bachilleres Fredy Roland Hidalgo Reategui y José Hidalgo Reategui se realizaron pruebas en su estado natural y solo adicionando porcentajes del 5%,10% y 15 % de aditivo de acuerdo a la cantidad de masa que se tomaron en los ensayos de los moldes teniendo resultados positivos en

la en el aumento de los porcentajes de los CBR en el 95% y el 100%.
(Los autores)

Comparando ambos resultados podemos decir que con solo adicionar el aditivo PROES Y TERRASIL se obtienen resultados positivos en la esta investigación y de las cuales el aditivo TERRASIL tiene más a mejorar el suelo en su estado natural. (Los Autores)

CAPÍTULO VI: CONCLUSION

❖ ADITIVO PROES

- En lo planteado podemos decir que los dos aditivos PROES y TERRASIL tienen resultados positivos en suelos arcillosos.
- Teniendo en cuenta lo planteado se concluye que desde un 10% a 15% se sugiere la adición del aditivo TERRASIL o PROES para una mejor trabajabilidad poca variación porcentual de CBR.
- Se tiene que el aditivo PROES mejora el suelo de acuerdo a la curva según cada porcentaje de aditivo:

❖ ADITIVO TERRASIL

- Con aditivo TERRASIL según la adición en los porcentajes propuestos tiene una variación de CBR al 95% que en un 10% de adición del aditivo llega a una estabilización optima, en cuanto al 15% de edición de aditivo el CBR al 95% baja estabilización optima:

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados positivos de la investigación se recomienda estandarizar las dosificaciones de porcentaje de adición de aditivos para suelos arcillosos de acuerdo a lo investigado.
- ✓ Se recomienda hacer estudios de estabilización de suelos para futuros proyectos de carreteras o trochas carrozables para así optimizar el tema de costos.
- ✓ Se recomienda realizar más pruebas de adición de aditivos en diferentes suelos.
- ✓ Se recomienda el uso de la geomembrana o geomalla después de la estabilización para garantizar a más del 100% la estabilidad del suelo.
- ✓ Se recomienda hacer un mantenimiento periódico a estos tipos de vías, cada 3 a 5 años, y de 5 a 10 años contratamiento de bacheo (**referencia**. PROYECTO PILOTO ESTABILIZACION QUIMICA, EN YARINA COCHA PUCALLPA JR. IUATIA).
- ✓ De acuerdo a los resultados positivos de estos aditivos, la estabilización se tarda 24 horas x cada 100 m, y a los 3 días ya se puede dar tránsito. (**referencia**. PROYECTO PILOTO ESTABILIZACION QUIMICA, EN YARINA COCHA PUCALLPA JR. IUATIA).

CAPÍTULO VIII: BIOGRAFIA

1. Torrente , B. M., & Sagúes, A. L. (1947). *Estabilización de suelos. Suelo-cemento.* (3^a edición. ed.). Barcelona: Editores Técnicos.
2. Arrieta, I. F. (2008). *GUÍA PARA LA ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE RUTAS NO PAVIMENTADAS.* SAN JOSE.
3. Atarama-Mondragón, E. (2015). *EVALUACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO ESTABILIZADOS CON ADITIVO PROES.*
4. BREM S.A.C. Environmental Solutions. (2016, Octubre). *BREM S.A.C.* Retrieved from Ventajas de la NANOTECNOLOGIA aplicada

en la construcción y en el mantenimiento vial:
<http://www.brem.com.pe/>

5. CALDERON, M. A. (2015). *ESTABILIZACION IONICA DE SUELOS CON TERRASIL EN LOS CONTRATOS DE MATENIMIENTO Y CONSERVACION VIAL*. LIMA.
6. CHOQUE SÁNCHEZ, H. M. (2012). *EVALUACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA EFICIENCIA DE LA CONSERVACIÓN DE SUPERFICIES DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS*. LIMA.
7. DE LA CRUZ GUTIERREZ, L. M. (2016). "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS (*Eco Road 2000*) PARA PAVIMENTACIÓN EN PALIAN – HUANCAYO - JUNIN.". HUANCAYO.
8. Elizondo Arrieta, I., & Sibaja Obando, I. (2008). *Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas*. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José. San Pedro de Montes de Oca: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
9. MININCO, F. (2016). *OPORTUNIDADES DE ESTABILIZADOR A TRAVÉS DEL CASO PROES*.
10. MONTES, C. A. (2010). "ESTABILIZACION QUIMICA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERU Y VENTAJAS COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE CALCIO". LIMA.
11. MTC. (2007). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS*.
12. MTC, M. d. (2005). *Manual para El Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito*. (P. e.-P. Rural, Ed.) Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
13. PROESTECH. (2013). *PROESTECH desde 1999 Estabilizando Caminos*. Retrieved from PROESTECH PERÚ: www.proes.cl/#tech
14. ROLDAN, D. A. (2016). "ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA. HH EL MILAGRO, 2016". IQUITOS.
15. Salas, M. D. (2018). *Estabilización de Suelos con Adición de Cemento y Aditivo Terrasil para el Mejoramiento de la Base del Km 11+000 Al Km 9+000 de la Carretera Puno – Tiquillaca – Mañazo*. Universidad Andina "Nestor Cáceres Velásquez", Puno. Juliaca: Facultad de Ingeniería y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Retrieved Agosto 2018
16. VELA, I. M. (2013). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO*. LIMA.
17. Vincés, D. I. (2016). "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA COMPACTACIÓN Y HUMEDAD DE LA SUBRASANTE NATURAL Y LA SUBRASANTE UTILIZANDO PRODUCTOS QUÍMICOS

BIODEGRADABLES (TERRASIL), DE LA VÍA ECOLÓGICA DEL CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA DE LOS RÍOS.”. AMBATO.

CAPÍTULO IX: ANEXOS

9.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación de aditivos TerraSil y PROES en vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018”.					
Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables	Indicadores (x,y)	Índices
¿Cómo realizar la estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante la aplicación de aditivos TerraSil y PROES como la vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018?	Efectuar la estabilización química de subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante la aplicación de aditivos TerraSil y PROES como la vía de acceso Moralillos, Loreto, 2018.	La adición de los aditivos estabilizantes TerraSil y PROES en el suelo arcilloso de la subrasante de la vía de acceso “Moralillo”, distrito de San Juan Bautista, mejora sus características físicas y propiedades mecánicas de acuerdo al diseño óptimo.	Variable independiente X₁: Suelo arcilloso (natural, convencional o patrón)	-Contenido de humedad. -Granulometría -Peso unitario -Peso específico. -Proctor -California Bearing Ratio (CBR) - Compresión no confinada	Valores numéricos con su unidad de medida para todos los indicadores.
Problemas específicos	Objetivos Específicos		Variables	Indicadores (x,y)	Índices
1. ¿Cuál es la influencia de los estabilizantes y que efectos producen en el comportamiento de suelos, la aplicación de los aditivos TerraSil y PROES, para estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como la vía de acceso Moralillos, Loreto?	1. Evaluar la influencia de los estabilizantes y que efectos producen en el comportamiento de suelos, la aplicación de los aditivos TerraSil y PROES, como materiales alternativos para estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva		Variable dependiente Y₁: Propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado de subrasantes de suelos arcillosos en carreteras no	-Contenido de humedad. -Granulometría -Peso unitario -Peso específico.	Valores numéricos con su unidad de medida para todos los indicadores

<p>2.¿Cómo determinar el diseño óptimo para la dosificación de los aditivos TerraSil y PROES , para satisfacer la estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como la vía de acceso Moralillos, Loreto?</p> <p>3.¿Cuáles son las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrecen los proveedores de los aditivos TerraSil y PROES , para estabilización de subrasante de suelos arcillosos, en vías no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja como la vía de acceso Moralillos, Loreto?</p>	<p>Baja, como la vía de acceso Moralillos, Loreto”</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar varios diseños para conocer el diseño óptimo para la dosificación de los aditivos TerraSil y PROES, para satisfacer la estabilización química de subrasante en suelos arcillosos, en carreteras no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja, como la vía de acceso Moralillos, Loreto. 2. Describir las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrecen los proveedores de los aditivos TerraSil y PROES , para estabilización de subrasante de suelos arcillosos, en vías no pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja como la vía de acceso Moralillos, Loreto. 		<p>pavimentadas de bajo tránsito en Selva Baja mediante aplicación de aditivos químicos TerraSil y PROES .</p>	<p>-Proctor -California Bearing Ratio (CBR) - Compresión no confinada</p>	
---	--	--	--	---	--

9.2. PANEL FOTOGRAFICO



FOTO. 1 UBICACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACION



FOTO. 2 EXCAVACION DE CALICATA



FOTO. 3 EXCAVACION DE CALICATA



FOTO. 4 CALICATA 1



FOTO. 5 RECOJO DE MUESTRAS EN EL AREA DE INVESTIGACION



FOTO. 6 MUESTRAS



FOTO. 7 ACTIVIDAD PARTE DEL TRABAJO DE INVESTIGACION



FOTO. 8 MUESTRAS AL HORNO



FOTO. 9 MUESTRAS SECAS



FOTO. 10 ADITIVO TERRASIL



FOTO. 11 PESO DEL ADITIVO DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE LA PRUEBA EN LOS PORCENTAJES REQUERIDOS



FOTO. 12 ADITIVO PROES



FOTO. 13 FOTO DE LA PROBETA CON LA MUESTRA