



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE
ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA
TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA
DE CAYLLOMA- AREQUIPA**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RIDER HENRY ROMERO RODRIGUEZ

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

AREQUIPA – PERÚ

2019

*Con mucho cariño dedico la presente investigación a mis padres, por todo el esfuerzo que hicieron para darme una profesión y hacerme una persona de bien; gracias a mis padres **Enrique Romero y Rina Rodríguez**, que me dieron la vida, me cuidan y lo siguen haciendo, infinitas gracias.*

Papá, tú que me dices que no hay nada difícil en esta vida; bueno, lo voy a lograr, solo falta este paso.

Mamá, tú que me pides que nunca me olvide de Dios, tampoco me olvidaré de ti, ¡gracias!

*A mis hermanos, **Jhoel Denis y Luis Fernando**, por quienes me esfuerzo más cada día para darles el mejor ejemplo posible; decirles que yo estoy para ayudarlos y apoyarlos.*

Mi agradecimiento infinito a Dios, pues él es mi amigo y me guía en este mundo de obstáculos y permitir que llegue a esta etapa; solo pedirle que me siga apoyando como lo sigue haciendo.

A la Universidad Alas Peruanas filial Arequipa, que me dio la oportunidad de realizar este sueño hecho realidad y por todos los conocimientos brindados para afrontar la vida en adelante.

Agradezco sinceramente a todos los catedráticos de la **EAPIC**, por brindarme los conocimientos necesarios. A mis asesores **Mg. Luz Matilde García Godos Peñaloza** e **Ing. Felipe Alejandro Núñez Matta**, que me ayudaron y brindaron su apoyo en todo momento compartiendo sus conocimientos y asesoramiento. Al **Ing. Jorge Alejandro Quispe**, por brindar su laboratorio de mecánica de suelos "LAB CONSULT INGENIERIA" y hacer posible los ensayos necesarios. A todos ellos, infinitas gracias.

RESUMEN

La presente tesis de investigación busca mejorar las propiedades físicas mecánicas del suelo de la subrasante del tramo Ichupampa – Lari (4+085-14+702), provincia de Caylloma, Arequipa, haciendo uso de estabilizadores de suelo PERMA ZYME 22X.

El desarrollo experimental de la tesis de investigación se realizó en el Laboratorio Lab Conslt de Control de Calidad en Obras Civiles, que demuestran que aplicando el estabilizador de suelos Perma Zyme-22X, existe una tendencia a mejorar las propiedades iniciales del suelo e incrementar el CBR de 5.8% a 16.5%; es decir clasifica a una subrasante óptima según la tabla 2.5. del MTC.

El análisis comparativo de estabilizadores del CaCl_2 , TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X, se comprobó que todos actúan como estabilizantes, pero el de mejor resultados es el PZ-22X en cuanto a su aplicación y mejor aún como estabilizador de suelo por que mejora las propiedades físicas y mecánicas de la trocha carrozable; es por ello que se toma este mencionado estabilizador para los ensayos respectivos. Los ensayos de laboratorio indican que se redujo el índice de plasticidad de 10.3% a 9.4%; esto demuestra que el estabilizador Perma Zyme22X actúa como catalizador, reduciendo los espacios vacíos y lograr un suelo compacto.

Gracias a los ensayos en laboratorio de Proctor Modificado se pudo comprobar que aumentó la densidad máxima seca (DMS) de 2.124 gr/cm³ a 2.133 gr/cm³; es decir, impermeabiliza y reduce todo material que contenga un porcentaje de arcilla, también reduce la permeabilidad y el aglutinamiento de los finos en la trocha carrozable tratadas con PERMA ZYME-22X, impermeabiliza la superficie permite que se haga más fuerte, resistente y durable a los cambios de temperatura ambientales como heladas, inundaciones y altas temperaturas comunes en Ichupampa-Lari, provincia de Caylloma.

Se determinó que Perma-Zyme22X actúa como catalizador; reduce y elimina la contaminación ambiental; seguro para el medio ambiente; no hace daño a los humanos, animales ni a la vegetación por ser producto biodegradable; seguro de manejar y no es tóxico ni inflamable.

Así también, el mejoramiento de un suelo amerita adición de costos en la construcción de una vía, por lo que el producto Perma Zyme 22X es muy favorable en el aspecto económico con respecto a los demás estabilizadores de CaCl₂, Terra Zyme, Perma Zyme 11X.

El análisis de costo y presupuesto muestra que el estabilizador PZ-22X es el más económico, para el tramo Ichupampa – Lari, con una longitud de 10 617 m, 6 m de ancho y un espesor de 0.15 m; el costo es de S./41 707.10 (no incluye IGV) a la comparación a los demás estabilizadores, ya que solo requiere maquinarias convencionales como motoniveladora, cisterna y rodillo compactador; cabe señalar que se disuelve en agua que no contenga cloro.

Palabra clave: estabilizador de suelos Perma Zyme 22X, CaCl₂, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, mejorar las propiedades iniciales del suelo, Ichupampa-Lari, provincia de Caylloma.

SUMMARY

This research thesis seeks to improve the mechanical physical properties of the subgrade soil of the Ichupampa - Lari section (4 + 085-14 + 702), province of Caylloma, Arequipa, making use of PERMA ZYME 22X soil stabilizers.

The experimental development of the research thesis was carried out in the Laboratory Lab Conslt of Quality Control in Civil Works, which shows that applying the Perma Zyme-22X soil stabilizer, there is a tendency to improve the initial properties of the soil and increase the CBR from 5.8% to 16.5%; that is, it classifies a good subgrade according to table 2.5. of the MTC.

The comparative analysis of stabilizers of CaCl₂, TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X, proved that all act as stabilizers, but the best result is that of PZ-22X in its application and better yet as a soil stabilizer because it improves the physical and mechanical properties of the truck path; that is why this aforementioned stabilizer is taken for the respective tests. Laboratory tests indicate that the plasticity index was reduced from 10.3% to 9.4%; this shows that the Perma Zyme22X stabilizer acts as a catalyst, reducing empty spaces and achieving a compact floor.

Thanks to the laboratory tests of Proctor Modified, it was possible to verify that the maximum dry density (DMS) increased from 2,124 g / cm³ to 2,133 g / cm³; that is, it waterproofs and reduces all material that contains a percentage of clay, it also reduces the permeability and the agglutination of the fines in the truck track treated with PERMA ZYME-22X, it waterproofs the surface allows it to become stronger, more resistant and more durable the environmental temperature changes such as frosts, floods and high temperatures common in Ichupampa-lari, province of Caylloma.

It was determined that Perma-Zyme22X acts as a catalyst; reduces and eliminates environmental pollution; safe for the environment; it does not harm humans, animals or vegetation because it is a biodegradable product; Safe to handle and is not toxic or flammable. Likewise, the improvement of a floor warrants the addition of costs in the construction of a road, so that the product Perma Zyme 22X is very favorable in the economic aspect with respect to the other stabilizers of CaCl₂, Terra Zyme, Perma Zyme 11X.

The cost and budget analysis shows that the stabilizer PZ-22X is the most economical, for the Ichupampa-Lari section, with a length of 10 617 m, 6 m wide and a thickness of 0.15 m; the cost is S./41 707.10 (does not include IGV) to the comparison to the other stabilizers, since it only requires conventional machinery such as motor grader, tank and roller compactor; It should be noted that it dissolves in water that does not contain chlorine.

Keyword: soil stabilizer Perma Zyme 22X, CaCl₂, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, improve initial soil properties, Ichupampa-Lari, Caylloma province.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento social y económico de una región o de un país se debe principalmente a sus vías de comunicación; a través de ellas se dan las relaciones comerciales, sociales, culturales y de turismo.

Es así que la presente tesis de investigación es un esfuerzo por innovar en la tecnología de estabilización de suelos, con el único fin de aportar en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, por ende, en nuestra polarizada sociedad.

En la actualidad, las nuevas tecnologías de estabilizadores nos permiten mejorar las estructuras de un suelo, considerando una alternativa muy útil para la construcción de carreteras con la utilización de estabilizadores químicos como son las enzimas orgánicas; pues su simple y bajo costo además da como resultado vías estables de larga vida útil que requiere menos mantenimiento. Estos productos son relativamente nuevos para nuestro mercado; mejoran las propiedades físicas y mecánicas del suelo, con un incremento en la densidad de compactación, capacidad portante de CBR.

El uso de estabilizadores es una alternativa de solución para este tramo de la subrasante de nuestra trocha carrozable del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma – Arequipa. Se logrará realizando un análisis comparativo de estabilizadores, los cuales pasan por un trabajo exhaustivo experimental, el cual arrojará resultados que nos brinden soluciones para luego aplicar en el tramo Ichupampa – Lari, mejorando así las propiedades iniciales del terreno.

En el primer capítulo, se expone principalmente los aspectos generales del planteamiento metodológico de la tesis.

En el segundo capítulo, refiere a las definiciones y conceptos básicos de la tesis como la subrasante, base, sub base, tipos de suelo, estructuración de un suelo, clasificación de carreteras.

En el tercer capítulo, mencionamos la ubicación. Características, costumbres y tradiciones del lugar, cantidad de habitantes beneficiados, situación actual de la carretera del tramo Ichupampa – Lari.

En el cuarto capítulo, encontramos los tipos de estabilizadores de suelo que existe en el mercado, comparación de estabilizadores de suelo, características físicas/mecánicas de productos estabilizantes de suelo.

El quinto capítulo, alude al producto Perma Zyme-22X, como agente estabilizador de suelos, ventajas, características y parámetros que debe cumplir el tipo de suelo para su aplicación de este producto.

El sexto capítulo, anuncia los resultados y el análisis de laboratorio, comparación de resultados como ensayo de granulometría, índice de plasticidad, proctor modificado y CBR, haciendo uso del estabilizador PZ-22X, y sin estabilizador para cada ensayo.

En el séptimo capítulo, determinamos el costo y presupuesto total de cada estabilizador, comparación por cada tipo de recurso, mano de obra, materiales y herramientas y/o maquinarias.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

SUMARY

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFÍA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1. SÍNTESIS.....	1
1.2. PROBLEMÁTICA	1
1.2.1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4. EXPOSICIÓN DEL PROYECTO	3
1.5. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.6. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.6.1. PREGUNTA PRINCIPAL	4
1.6.2. PREGUNTA SECUNDARIA	4
1.7. OBJETIVOS	4
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.7.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	5
1.8. HIPÓTESIS	5
1.8.1. HIPÓTESIS GENERAL	5
1.9. VARIABLES	5
1.9.1. VARIABLE INDEPENDIENTE O ÚNICAS	5
1.9.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	6

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO	7
2.1. MARCO TEÓRICO	7
2.1.1. SUELOS	7
2.1.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	7
2.1.3. MEJORAMIENTO DE SUELOS	10
2.1.3.1. MÉTODOS FÍSICOS	10
2.1.3.2. MÉTODOS QUÍMICOS	11
2.1.3.3. MÉTODOS MECÁNICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS	12
2.1.4. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	13
2.1.4.1. DEFINICIÓN	13
2.1.4.2. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	17
2.1.4.2.1. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA DEMANDA	17
2.1.4.2.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN CONDICIONES OROGRÁFICAS	18
2.1.4.2.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	19
2.2. SISTEMA VIAL PERUANO	22
2.2.1. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERÚ	22
2.2.2. OBRAS EJECUTADAS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	22
2.2.2.1. MANTENIMIENTO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	22
2.2.2.2. MANTENIMIENTO RUTINARIO	23
2.2.2.3. MANTENIMIENTO PERIÓDICO	23
2.2.2.4. CONSERVACIÓN DE CARRETERAS	24
2.2.2.5. REABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	24
2.3. LA SUBRASANTE	26
2.3.1. GENERALIDADES DE LA SUBRASANTE	26
2.3.2. BASE	29
2.3.3. SUB BASE	29
2.3.4. PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SECTORES HOMOGÉNEOS SE ANALIZARÁ LO SIGUIENTE	30

CAPÍTULO III

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA 35

3.1.	UBICACIÓN	35
3.1.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	39
3.1.1.1.	PROVINCIA DE CAYLLOMA	39
3.1.1.2.	DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA	39
3.2.	UBICACIÓN DEL TRAMO DEL PROYECTO ICHUPAMPA-LARI	40
3.2.1.	DISTRITO DE ICHUPAMPA	41
3.2.1.1.	INFORMACIÓN GENERAL	41
3.2.1.2.	CARACTERÍSTICAS	41
3.2.1.3.	DESCRIPCIÓN DEL DISTRITO ICHUPAMPA	42
3.2.1.4.	TURISMO	42
3.2.2.	DISTRITO DE LARI	44
3.2.2.1.	INFORMACIÓN GENERAL	44
3.2.2.2.	DESCRIPCIÓN DEL DISTRITO	44
3.2.2.3.	POBLACIÓN BENEFICIADA DEL TRAMO ICHUPAMPA-LARI	45
3.3.	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA	46
3.3.1.	ESTRATIGRAFÍA	46
3.3.2.	ECOLOGÍA ESTRUCTURAL	47
3.3.3.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CARRETERA	47
3.3.3.1.	SISTEMA VIAL EXISTENTE	47
3.3.3.2.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA CARRETERA	48

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVA DE ESTABILIZADORES DE SUELO 51

4.1.	INTRODUCCIÓN	51
4.2.	TIPOS DE ESTABILIZADORES DE SUELO	52
4.3.	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES.....	52
4.3.1.	PROPIEDADES DE DESEMPEÑO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	54

4.3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZANTES	57
4.3.2.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO/QUÍMICAS DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES.....	57
4.3.2.2.	ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	58
4.3.2.3.	PELIGRO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	59
4.3.2.4.	PRESENTACIÓN Y ENVASE DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	60
4.3.2.5.	RENDIMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	61
4.3.2.6.	TRANSPORTE DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	62
4.3.2.7.	MANIPULACIÓN DE PRODUCTO ESTABILIZANTE	63
4.3.2.8.	ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	63
4.3.2.9.	MAQUINARIA REQUERIDA EN APLICACIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	64
4.3.2.10.	ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE TROCHA CARROZABLE Y APLICACIÓN DE PRODUCTOS	65
4.3.2.11.	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA-PRODUCTO REQUERIDO PARA EL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DE LA CARPETA DE PRUEBA	70
4.3.2.12.	DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE CADA ESTABILIZADOR	70
4.3.2.13.	TRÁNSITO VEHICULAR DURANTE Y DESPUÉS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN	75
4.3.2.14.	MANTENCIÓN DE CAMINOS TRATADOS CON PRODUCTOS ESTABILIZANTES	75
4.3.2.15.	PRODUCTOS COMPATIBLES CON EL TERRENO PRODUCTO Y/O ESTABILIZANTES ANALIZADOS	77
4.3.2.16.	USO/APLICACIÓN DE PRODUCTO ESTABILIZANTE	78
4.3.2.17.	CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES	79
4.3.2.18.	SALUD Y MEDIO AMBIENTE	81
4.2.3.	ELECCIÓN DEL ESTABILIZADOR A USAR	81

CAPÍTULO V

PRODUCTO ESTABILIZANTE PERMA ZYME 22X 82

5.1.	PARÁMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO	82
5.2.	ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO PERMA ZYME 22X	83
5.3.	CARACTERÍSTICAS DEL ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO PERMA ZYME	85
5.4.	PARÁMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO	85
5.5.	LUGARES EJECUTADOS CON EL PRODUCTO PERMA ZYME 22X	85
5.6.	ÁREAS DE APLICACIÓN DEL ESTABILIZADOR	86
5.7.	VENTAJAS DEL ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO PZ-22X	86
5.8.	ESPECIFICACIONES DEL ESTABILIZADOR	88
5.9.	ENSAYO A REALIZAR CON EL ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X	89
5.10.	DATOS TÉCNICOS DEL ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO	90
5.11.	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS TÍPICOS	90
5.12.	PROCESO DE APLICACIÓN DEL ESTABILIZADOR	91
5.13.	PROPIEDADES DE LOS SUELOS A TENER EN CUENTA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	91
5.13.1.	ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA	90
5.13.2.	RESISTENCIA	92
5.13.3.	PERMEABILIDAD	93
5.13.4.	COMPRESIBILIDAD	93

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y RESULTADO 95

6.1.	DETERMINACIÓN DEL ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X (PZ-22X), VENTAJAS EN LA APLICACIÓN COMO ESTABILIZADOR DE SUELO	95
6.2.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	95
6.2.1.	UBICACIÓN DE LAS CALICATAS	95
6.3.	GRUPO EXPERIMENTAL SIN ESTABILIZADOR	97

6.3.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	97
6.3.1.1.	RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA EN LA SIGUIENTE TABLA	99
6.3.1.2.	RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE GRANULOMETRÍA	99
6.3.2.	LÍMITES DE CONSISTENCIA O LÍMITES DE ATTERBERG	100
6.3.3.	PROCTOR MODIFICADO	105
6.3.3.1.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	107
6.3.4.	VALOR DE SOPORTE RELATIVO CBR	108
6.3.4.1.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE CRB	108
6.4.	GRUPO EXPERIMENTAL CON ESTABILIZADOR (PERMA-ZME22X)	112
6.4.1.	DOSIFICACIÓN DEL AGENTE ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X	112
6.4.2.	PROCTOR MODIFICADO Y CBR	113
6.4.3.	LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO	113
6.5.	ENSAYOS CON ADITIVO PERMA ZYME 22X	114
6.5.1.	UBICACIÓN DE CALICATA	114
6.5.1.1.	PROCTOR MODIFICADO CON ADITIVO PZ-22X	118
6.5.1.2.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	120
6.5.1.3.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CBR	121

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ESTABILIZADORES 128

7.1.	CONSIDERACIONES	128
7.2.	GENERALIDADES	129
7.3.	COMPARACIÓN DE COSTOS POR TIPO DE RECURSO	134
7.4.	COMPARACIÓN DE COSTO POR CADA ESTABILIZADOR	135

CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXO (A) PLANO DE UBICACIÓN Y DE CALICATAS	142
MAPA POLÍTICO DEL PERÚ TRAMO ICHUPAMPA-LARI	143
UBICACIÓN DE CALICATAS	144
ANEXO (B) ENSAYOS DE LABORATORIO C/S ESTABILIZADOR	145
ANEXO (C) EVALUCIÓN ECONÓMICA DE DIFERENTES ESTABILIZADORES	155
ANEXO (D) HOJA DE SEGURIDAD PERMA ZYME 22X	172
ANEXO (E) PANEL FOTOGRÁFICO	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	9
Tabla 2.2.	Nombres típicos de los materiales	10
Tabla 2.3.	Características básicas para la superficie de rodadura de las carreteras de bajo volumen de tránsito	21
Tabla 2.4.	Requisitos de calidad de material para una capa subrasante	27
Tabla 2.5.	Categoría y clasificación de una subrasante	27
Tabla 2.6.	Clasificación de suelos según índice de plasticidad	32
Tabla 4.1.	Rendimiento operario diario en faena de estabilizada c/ producto estabilizante	54
Tabla 4.2.	Incremento de CBR del suelo a ser tratado con productos estabilizados	54
Tabla 4.3.	Productos analizados/ control de la emisión de polvo	55
Tabla 4.4.	Productos analizados/ comportamiento ante los cambios de humedad	55
Tabla 4.5.	Productos analizados/ comportamiento ante ciclos de hielo-deshielo	56
Tabla 4.6.	Características físicas/químicas de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma zyme11X, Perma zyme 22X	57
Tabla 4.7.	Estabilidad y reactividad de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma zyme 11X, Perma Zyme 22X	58
Tabla 4.8.	Peligro de incendio y explosión de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, Perma Zyme 22X	59
Tabla 4.9.	Presentación y envase de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, Perma Zyme 22X	60
Tabla 4.10.	Rendimiento de Cloruro de Calcio, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, Perma Zyme 22X	61
Tabla 4.11.	Transporte de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, Perma Zyme 22X	62

Tabla 4.12.	Manipulación de cloruro de calcio, Terra Zyme, Perma Zyme 11X, Perma Zyme 22X	63
Tabla 4.13a.	Almacenamiento de Cloruro de Calcio	63
Tabla 4.13b.	Almacenamiento de Terra Zyme	64
Tabla 4.13c.	Almacenamiento de Perma Zyme 11X	64
Tabla 4.13d.	Almacenamiento de Perma Zyme 22X	64
Tabla 4.14.	Precio en dólares y soles de cada estabilizador 2017	71
Tabla 4.15a.	Proporción de cloruro de calcio por m3 de suelo	71
Tabla 4.15.b.	Proporción de agua para carpeta de prueba elaboradas con cloruro de calcio	71
Tabla 4.16a.	Proporción de Terra Zyme por m3 de suelo	72
Tabla 4.16b.	Proporción de agua para carpeta de prueba elaboradas con Terra Zyme	72
Tabla 4.17a.	Proporción de Terra Zyme 11X por m3 de suelo	73
Tabla 4.17b.	Proporción de agua para carpeta de prueba elaboradas con Perma Zyme 11X	73
Tabla 4.18a.	Proporción de Perma Zyme 22X por m3 de suelo	74
Tabla 4.18b.	Proporción de agua para la carpeta de prueba elaboradas con Perma Zyme 22X	74
Tabla 4.19.	Mantenimiento de caminos tratados con productos estabilizantes	76
Tabla 5.1.	Parámetros de un suelo para usar el estabilizador Perma Zyme 22X	83
Tabla 6.1.	Graduación granulométrica del material C-11	99
Tabla 6.2.	Determinación del límite líquido nominal ASTM D-4318	103
Tabla 6.3.	Determinación del límite plástico norma ASTM D-4318	104
Tabla 6.4.	Determinación del índice de plasticidad.....	105
Tabla 6.5.	Cantidad de agua para cada muestra de proctor modificado.	105
Tabla 6.6.	Resultados del ensayo CBR	112

Tabla 6.7. Determinación del límite líquido aplicando estabilizador	
Perma Zyme 22X	115
Tabla 6.8. Determinación del límite plástico aplicando estabilizador	
Perma Zyme 22X	117
Tabla 6.9. Resumen de los resultados de límite de A. Atterberg	117
Tabla 6.10. Cantidad de agua para c/d muestra de Proctor Modificado	118
Tabla 6.11. Resumen de resultados de Proctor Modificado	121
Tabla 6.12. Resumen de resultados de ensayo de CBR	125
Tabla 6.13. Resumen de resultados	126
Tabla 7.1. Comparación de costos por tipo de recurso: SIN	
ESTABILIZADOR, CaCl ₂ , TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X	134
Tabla 7.2. Comparación de costo de las alternativas de estabilizadores	
SIN ESTABILIZADOR, CaCl ₂ , TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X	135

ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS

Figura 2.1.	Sección de media ladera para una vía multicarril con separador central en tangente	15
Figura 2.2.	Sección de media ladera para una vía de dos carriles en curva ..	16
Figura 2.3.	Perfilado de terreno ensanche de carretera	25
Figura 3.1.	Municipalidad de Ichupampa	36
Figura 3.2.	Municipalidad de Lari	36
Figura 3.3.	Tramo Ichupampa – Lari	37
Figura 3.4.	Distancia Ichupampa – Lari 10 617 km	37
Figura 3.5.	Mapa político del Perú tramo Ichupampa – Lari	38
Figura 3.6.	Tramo Ichupampa – Lari progresiva 4+085 al 14+702	40
Figura 3.7.	Municipalidad de Ichupampa: mapa turístico	43
Figura 3.8.	Municipalidad de Lari: mapa turístico.....	45
Figura 3.9.	Tramo inicial Ichupampa – Lari	48
Figura 3.10.	Tramo final Ichupampa – Lari	49
Figura 3.11.	Tramo intermedio Ichupampa – Lari	49
Figura 3.12.	Toma de nota del estado del tramo Ichupampa – Lari	50
Figura 3.13.	Trocha carrozable en mal estado tramo Ichupampa – Lari	50
Figura 3.14..	Toma de notas progresiva 14+000 tramo Ichupampa-Lari	50
Figura 4.1.	Tipos de estabilizadores	52
Figura 4.2.	Elección del estabilizador a usar en la trocha carrozable	81
Figura 5.1.	Producto estabilizante Perma Zyme 22X	81
Figura 5.2.	Proceso químico del estabilizador con arcilla	87
Figura 5.3.	Proceso químico del estabilizador con arcilla	88
Figura 5.4.	Proceso químico del estabilizador con arcilla	88
Figura 6.1.	Ubicación de calicatas	96
Figura 6.2.	Calicata N°11 y una profundidad de 1.5m	97
Figura 6.3.	Cuarteo de muestra	98
Figura 6.4.	Peso de la muestra de cada tamiz y lavado de material arcilla	98

Figura 6.5. Tamizado de la muestra	99
Figura 6.6. Gráfica de la curva granulométrica	100
Figura 6.7. Mezcla de arcilla con agua para los ensayos de L.L. y L.P.....	101
Figura 6.8. Aparato Casagrande analizando el límite líquido	102
Figura 6.9. Toma de notas del pesado de la cápsula + muestra	102
Figura 6.10. Contenido de humedad vs. N° de golpes	103
Figura 6.11. Barritas cilíndricas 3mm y cápsulas en horno a 110°C	104
Figura 6.12. Mezclado de muestra-agua, saturado de muestra por 24 horas en bolsas	106
Figura 6.13. Compactación del proctor en 5 capas proporcionadas	107
Figura 6.14. Curva de densidad máxima seca vs. contenido de humedad óptima	107
Figura 6.15. Toma de nota del material compactado	108
Figura 6.16. Preparación y humedecimiento para realizar el ensayo de CBR	109
Figura 6.17. Compactación de muestra en molde y peso de la muestra más molde	109
Figura 6.18. Molde de 12, 25 y 56 golpes y muestras sumergidas en agua	110
Figura 6.19. Lectura de CBR	110
Figura 6.20. Esfuerzo vs. penetración	111
Figura 6.21. Densidad seca vs. CBR	111
Figura 6.22. Envase de Perma Zyme 22X de 212 Lts para 6996 m ³	114
Figura 6.23. Aplicación de Perma Zyme 22X en agua y aparato casa Casagrande.....	115
Figura 6.24. Contenido de humedad vs. N° de golpes	116
Figura 6.25. Barritas cilíndricas 3mm y cápsula en horno a 110 °C	116
Figura 6.26. Histograma de resultados Límite de A. Atterberg	118
Figura 6.27. Aplicando el estabilizador PZ-22X en agua	119
Figura 6.28. Colocación de muestras en proporciones iguales y compactación de Proctor Modificado	120
Figura 6.29. Densidad máxima seca vs. contenido de humedad óptima	120

Figura 6.30. Histograma de resultados de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo.....	121
Figura 6.31. Producto estabilizante PZ-22X diluyendo en agua	122
Figura 6.32. Enrazado de muestra en molde para su compactación.....	123
Figura 6.33. Molde de 12, 25 y 56 y muestras sumergidas en agua	123
Figura 6.34. Lectura del CBR y muestras sometida a cargas	124
Figura 6.35. Esfuerzo vs. penetración	124
Figura 6.36. CBR vs densidad seca	125
Figura 6.37. Histograma de CBR al 95% y 100%	126
Figura 6.38. Histograma de resultados de CBR con estabilizador y sin estabilizador	127
Figura 7.1. Histograma de resultados de costo por tipo de recurso	134
Figura 7.2. Histograma de resultado por cada estabilizador	135

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. SÍNTESIS

La presente tesis de investigación comprende en hacer una comparación de estabilizadores, analizando el costo, calidad y beneficio de estos mismos; consiste en mejorar su CBR de una trocha carrozable haciendo uso de estabilizadores de suelo, mejorando así las propiedades iniciales del terreno.

Actualmente, la vía Ichupampa – Lari es de trocha carrozable con progresivas de 4+085 al 14+702, con una distancia de 10 640 m y, a partir de la progresiva 14+000, presenta un suelo nada favorable; pues está compuesto por arena limosa y en épocas de lluvia queda en mal estado, el uso de estabilizadores es una alternativa de solución para este tramo.

1.2. PROBLEMÁTICA

1.2.1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La provincia de Caylloma tiene uno de los más altos potenciales turísticos de la Región Arequipa, gracias a la presencia del Valle del Colca, visitado constantemente por innumerables turistas nacionales e internacionales que en los últimos años se ha visto incrementado, trayendo como consecuencia el desarrollo económico de la capital Chivay. Los pueblos de la margen izquierda del valle, por donde usualmente se trasladan los turistas hacia el principal atractivo turístico “El Mirador del Cóndor”, se encuentra asfaltada; Sin embargo, los pueblos de la

margen derecha han sido relegados a este flujo turístico, a pesar de tener también buenos atractivos como son **La Catedral del Valle del Colca** ubicado precisamente en Lari y las Ruinas de Chaca Chimpa en Madrigal, debido al mal estado de conservación de la trocha carrozable que conduce hacia estos lugares y no ofrecer un acceso rápido y seguro.

Se ha observado también que los tramos de carretera que se hallan pavimentadas, como la carretera Arequipa – Chivay, tramo Patahuasi – Chivay y el tramo de carreta Chivay – Yanque pertenecientes a la margen derecha, se encuentran deterioradas pese al poco tiempo transcurrido desde su construcción (no más de 8 años) debido a que no se toma en cuenta un buen estudio de geotecnia (suelo inestable) y los cambios brusco de temperatura.

Por todas estas razones, el propósito de la presente tesis de investigación se basa en mejorar la subrasante en los tramos que no cumplen las especificaciones necesarias, es el caso del tramo de carreta Ichupampa – Lari; se hará un análisis comparativo de estabilizadores y la aplicación del mismo.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis se justifica por la necesidad de realizar una comparación de estabilizadores analizando el costo, calidad y beneficio de estos; es imperativo mejorar su CBR de la trocha carrozable haciendo uso de estabilizadores de suelo, mejorando así las propiedades iniciales del terreno.

Actualmente, la vía Ichupampa – Lari es trocha carrozable con progresivas de 4+085 al 14+702 con una distancia de 10 640 m y, a partir de la progresiva 14+000, presenta un suelo nada favorable; pues está compuesto por arena limosa y en épocas de lluvia queda en mal estado, el uso de estabilizadores es una alternativa de solución para este tramo.

La mejora de la subrasante de nuestra trocha carrozable del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma – Arequipa, se logrará realizando un análisis comparativo de estabilizadores, que pasan por un trabajo exhaustivo experimental, el cual arrojará resultados que nos brinden soluciones a aplicar en el tramo Ichupampa – Lari, mejorando así, el flujo turístico del lugar y generando puestos de trabajo a los lugareños.

1.4. EXPOSICIÓN DEL PROYECTO

El tramo de carretera de trocha carrozable se encuentra entre los distritos de **Ichupampa - Lari** en la Provincia de Caylloma. Se hizo el estudio geotécnico del tramo de progresiva 4+085 al km 14+702 y se observó que en la progresiva 14+000 la subrasante es de 5.8% de CBR por lo que nos indica que es suelo regular a malo según la tabla de categorías de subrasante del MTC; sumándole a esto también el mal estado de conservación debido a la falta de un tratamiento a nivel de pavimento e incrementando con el clima frígido y lluvioso en épocas de helada de la zona.

Ante la pregunta, ¿cuál es el tratamiento que debe darse al tramo de la carretera Ichupampa – Lari para mejorar la subrasante y pueda cumplir con los estándares de diseño?

Para el mejoramiento de la Carretera Ichupampa - Lari, comprendido entre el km 04+085 al km 14+702 en el distrito de Ichupampa - Lari, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, se realizará un análisis comparativo de Estabilizadores de suelo; la que mejores resultados nos brinde se aplicará, mejorando así las propiedades iniciales del terreno y así más adelante ser asfaltado y pueda cumplir con el periodo de diseño para brindar comodidad y seguridad a lo largo de la vida útil de esta carretera.

1.5. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación referida al análisis de costo y calidad del uso de estabilizadores de suelos en subrasante de la trocha Ichupampa – Lari, Provincia de Caylloma – Arequipa”, presenta las siguientes limitaciones y restricciones:

- Sistemas de drenaje, el cual no se considera en la investigación por no ser un objetivo.
- Pavimentación, porque no es objeto de estudio
- Otros estabilizadores no mencionados porque no están previstos en la investigación
- Tramo de investigación a intervenir es la carretera de la progresiva 14+000 - 14+400
- Cabe resaltar que el tramo a intervenir es de trocha carrozable

1.6. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.6.1. PREGUNTA PRINCIPAL

¿Cómo mejorar la trocha carrozable, del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma – Arequipa?

1.6.2. PREGUNTAS SECUNDARIAS

- ¿Cómo estudiar experimentalmente las cualidades físicas y mecánicas del suelo?
- ¿Cómo realizar el análisis del costo y calidad del estabilizador cloruro de calcio (CaCl_2); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo?
- ¿Cómo realizar el análisis del costo y calidad del estabilizador Terra Zyme 11X (TZ-11X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo?
- ¿Cómo realizar el análisis del costo y calidad del estabilizador Perma Zyme 11X (PZ-11X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo?
- ¿Cómo determinar el costo y calidad del estabilizador Perma Zyme 22X (PZ-22X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo?

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el costo y calidad del uso de estabilizadores de suelos en subrazante de la trocha carrozable Ichupampa – Lari, Provincia de Caylloma – Arequipa

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar experimentalmente las cualidades físicas y mecánicas del suelo.
- Analizar costo y calidad del estabilizador cloruro de calcio (CaCl₂); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo.
- Analizar el costo y calidad del estabilizador Terra Zyme 11X (TZ-11X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo.
- Analizar el costo y calidad del estabilizador Perma Zyme 11X (PZ-11X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo.
- Analizar el costo y calidad del estabilizador Perma Zyme 22X (PZ-22X); ventajas técnicas, ambientales y rendimiento del estabilizador de suelo.

1.8. HIPÓTESIS

1.8.1. HIPÓTESIS GENERAL

La inserción de estabilizadores ClCa₂ en los suelos de la subrazante de la trocha carrozable Ichupampa – Lari, Provincia de Caylloma, mejorará las propiedades iniciales del terreno para que más adelante pueda ser asfaltado y cumplir con el periodo de diseño, así como brindar comodidad y seguridad a lo largo de la vida útil de esta carretera.

1.9. VARIABLES

1.9.1. VARIABLE INDEPENDIENTE O ÚNICA

- Estabilizadores de suelo ClCa₂, TZ-11X, PZ-11X y PZ-22X.
- Suelo de trocha carrozable del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma - Arequipa.

1.9.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	INDICADORES	MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Variable			Instrumentos de laboratorio
Estabilizadores de suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Económico. 	- Costo.	- Cotizaciones.
	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de encontrar en el mercado. 	- Acceso al producto.	- Página web. - Tiendas sucursales del producto.
	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manipulación del producto. 	- No requiere mano de obra especializada.	- Convocatoria de personal. - Curriculum vitae.
	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora considerablemente las propiedades iniciales del suelo. 	- Eleva el CBR y reduce la plasticidad del material de la subrasante.	- Informes de laboratorio certificado.
	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de maquinaria convencional. 	- Maquinaria básica. - Motoniveladora. - Rodillo compactador - Cisterna.	- Convocatoria para cotizaciones. - Revisión técnica vehicular del estado en que esta se encuentre.
<ul style="list-style-type: none"> • Producto biodegradable y no tóxico con el medio ambiente. 	- No afecta la salud del ser humano. - No contamina el suelo y su entorno. - Se descompone y se integra en forma natural al suelo de la subrasante.	- Certificado del MTC referido a estabilizadores. - Certificado del Ministerio de Salud en cuanto a la población afectada.	

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. SUELOS

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras civiles, arquitectónicas, viales, etc. Para poder definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide; se consideran tres grupos de parámetros, que son:

- a. Los parámetros de identificación: La granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de la consistencia del agregado en función del contenido de agua).
- b. Los parámetros de estado: La humedad (contenido de agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.
- c. Los parámetros estrictamente geomecánicos: La resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Para clasificar los suelos existen diversos «Sistemas de Clasificación» entre los cuales tenemos: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el

American Association of State Highway Officials (AASTHO), entre otros. Los suelos se clasifican teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La granulometría del suelo.
- Los límites de Atterberg.
- El contenido de materia orgánica.

La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su "Índice de Grupo", mediante esta clasificación divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares y otra por suelos de granulometría fina, limo-arcillosos.¹

Los suelos granulares son aquellos que tienen 35%, o menos, del material fino que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm). Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3. El grupo A-1, comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante; el grupo A-2, incluye una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% de material fino; y, el grupo A-3, incluye las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad; este grupo además incluye las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

Por otro lado, los suelos finos limo arcillosos contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz N°200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, a-5, A-6 y A-7. Pertenecen al grupo A-4, los suelos limosos y poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz N°200, además se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%; el grupo A-5 está comprendido por material semejantes a los del anterior, pero que tienen un límite líquido elevado; el grupo A-6 lo conforma principalmente la arcilla plástica, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%; y, el grupo A-7, lo conforman los suelos semejantes a los del A-6, con la diferencia de que son plásticos y sus límites líquidos son elevados.

¹ Roció Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilio. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2010.*

Tabla 2.1. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN			CLASIFICACIÓN	
				GRUPO	NOMBRE
SUELOS GRUESOS	Gravas	Gravas limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
Más del 50% es retenido en tamiz N° 200	Más del 50% de la fracción gruesa es retenido en tamiz N°4	Menos de 5% de finos	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos	Finos clasificados como ML o MH	GM	Grava limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasificados como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Arenas	Arenas limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
	50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Menos de 5% de finos	$Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos	Finos clasificados como ML o MH	SM	Arena limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasificados como CL o CH	SC	Arena arcillosa
SUELOS FINOS	Limos y arcillas	Inorgánico	$IP > 7$ y cae sobre o arriba de la recta "A"	CL	Arena de baja plasticidad
Más del 50% es retenido en tamiz N° 200	$LL < 50$		$IP < 4$ y cae debajo de la recta "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánico	$LL < 0,75$	OL	Arcilla orgánica
				OL	Limo orgánico
	Limos y arcillas	Inorgánico	IP cae sobre o arriba de la recta "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	$LL \geq 50$		IP cae debajo de la recta "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánico	$LL < 0,75$	OH	Arcilla orgánica
				OH	Limo orgánico
SUELOS MUY ORGÁNICOS	Prima la materia orgánica, color oscuro y hedor orgánico			PT	Turba

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

Tabla 2.2. Nombres típicos de los materiales.

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún
GP	Grava mal gradada, mezcla grava-arena, poco o ningún
GM	Grava limosa, mezclas gravas, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas gravo-arenas arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatómicos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

2.1.3. MEJORAMIENTO DE SUELOS²

El mejoramiento de un suelo, es un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia, su durabilidad, su insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido y/o a cambios de temperatura. Entre los métodos para mejorar el suelo sobre el cual se asienta una carretera tenemos.

2.1.3.1 MÉTODOS FÍSICOS

Los métodos físicos de mejoramiento de suelos incluyen:

- **Confinamiento (suelos no cohesivos):**

El confinamiento de un depósito de suelo puede lograrse con la aplicación de

² RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hemilio. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*: p.94.

columnas de grava, cuya construcción implica el reemplazo parcial de entre un 15 y 35% del suelo, que usualmente penetra hasta alcanzar un estrato resistente. La presencia de la columna crea un material compuesto de menor compresibilidad media y de mayor resistencia al corte que la del suelo natural. Los procedimientos para su construcción incluyen la vibro sustitución, que consiste en introducir un tubo por vibración, con inyección en la hincada para llegar hasta la profundidad máxima. El orificio se rellena luego con material de aporte (grava de tamaños en el rango de 2 a 80 mm); o bien con pilotes de grava, para lo cual se encamisa la perforación y alcanzado el nivel previsto se la rellena, para luego extraer la camisa. Pre consolidación (suelos cohesivos) La pre consolidación se logra aplicando una sobrecarga sobre un depósito de suelo, la que debe exceder la carga máxima que este va a soportar. Se busca así que la consolidación parcial sea equivalente al mayor grado que alcanzará con la carga máxima, la que requerirá mayor tiempo para producirse. El proceso puede acelerarse por medio de drenes verticales, conectados en su parte superior por un manto de arena que permita la liberación de la humedad.

2.1.3.2 MÉTODOS QUÍMICOS³

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales.

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.

³ *RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hemilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: p.94.*

Con cemento: Se mezcla el suelo con cemento Portland, lo que genera dos procesos:

- a) Los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales.
- b) Una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la pérdida de peso o se produzcan cambios de volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método.

2.1.3.3 MÉTODOS MECÁNICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS⁴

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los suelos. La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos; es la primera etapa del proceso de estabilización de los suelos que tiene como objetivo principal el obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda vida útil de la obra. La compactación ha figurado entre las técnicas de construcción desde las épocas más remotas de la que se tiene noticia. Los métodos de apisonado por el paso de las personas o animales se utilizaron en épocas muy lejanas, como por ejemplo en la construcción de grandes obras hidráulicas en diversas partes de Asia. Las principales variables que afectan el proceso de compactación de los suelos son:

⁴ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, *pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.*

La naturaleza del suelo: La clase de suelo-arcilloso, grueso o finos con la que se trabaja es una de las variables que influye de manera decisiva en el proceso de compactación de los suelos; tal es así que las técnicas y resultados que se obtengan responderán a un tipo de suelo.

El método de compactación: Los métodos de compactación pueden ser por impactos, por amasado, por aplicación de carga estática o por vibración.

La energía específica: Entendida como tal a la energía que se entrega al suelo por unidad de volumen; es decir, es la energía de compactación.

El contenido de agua original del suelo: Se refiere este concepto al contenido natural de agua que el suelo poseía antes de añadirle o quitarle humedad para compactarlo, en busca del contenido óptimo.

La temperatura: Ejerce un importante efecto en los procesos de compactación de campo, en primer lugar por efectos de evaporación del agua incorporada al suelo o de condensación de la humedad ambiente en el mismo.

2.1.4. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS⁵

2.1.4.1 DEFINICIÓN

Una carretera es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos terrestres. La carretera se distingue de un camino porque la primera está especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte. El diseño de una carretera y su respectiva superficie de rodadura responde a una necesidad justificada social y económica; es decir, ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta a fin de que los resultados buscados sean óptimos, en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, la cual normalmente se encuentra en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales.

Las carreteras han sido desde siempre el principal medio de desplazamiento de viajeros y la vía principal para la distribución de mercancías.

⁵ *RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hemilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: p.94.*

Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo. Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y también, el desarrollo social.

Los elementos que integran y definen la sección transversal de una carretera son:

- Ancho de zona o derecho de vía
- Calzada o superficie de rodadura:
Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.

- Berma:
Es la franja longitudinal, pavimentada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.
- Carril:
Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.
- Cunetas:
Son canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento. La sección transversal puede ser triangular, trapezoidal o rectangular.
- Taludes y elementos complementarios
Los taludes para las secciones en corte variarán de acuerdo a la estabilidad de los terrenos en que están practicados; la altura admisible del talud y su inclinación se determinarán en lo posible, por medio de ensayos y cálculos, aún aproximados.

2.1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS⁶

2.1.4.2.1 Clasificación de acuerdo a la demanda

A. Autopistas de primera clase

Son carreteras de IMDA (índice medio diario anual) mayor de 6000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m. cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingreso y salidas) que proporciona flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

B. Autopista de segunda clase

Son carreteras con un IMDA entre 6,000 y 4,001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00m hasta 1.00m, en cuyo caso se instalara un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60m de ancho como mínimo, con control parcial de acceso (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel de puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

C. Carreteras de 1ra. Clase

Son carreteras con un IMDA entre 4,000 y 2,001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su efecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operaciones, con mayor seguridad.

Las superficies de rodadura de estas carreteras deben ser pavimentadas.

⁶ *Manual de carreteras, diseño geométrico corregida enerp 2018, ministerio de transportes y comunicaciones MTC.*

D. Carreteras de 2da. Clase

Son aquellas con IMDA entre 2,000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operaciones, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura es estas carreteras debe ser pavimentadas.

E. Carreteras de 3ra. Clase

Son carreteras con un IMDA menores de 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta 2.50m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores en suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para carreteras de segunda clase.

F. Trochas carrozable

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen IDMA menor de 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m , cuyo caso se construirá ensanches denominado plazoletas de cruce, por lo menos cada 500m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

2.1.4.2.2 Clasificación según condiciones orográficas

Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por donde discurre su trazado, se clasifica en:

- **Terreno plano (tipo 1)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menos o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menos de tres por ciento

(3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazado.

- **Terreno ondulado (tipo 2)**

Tiene pendiente transversal al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6%, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado.

- **Terreno accidentado (tipo 3)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8 %, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazado.

- **Terreno escarpado (tipo 4)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superior al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimientos de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazado.

2.1.4.2.3 Clasificación según el tipo de superficie de rodadura

Teniendo en cuenta la estructura de la carpeta de rodadura, las carreteras pueden clasificarse en:

A. Carreteras pavimentadas:

Las carreteras pavimentadas son aquellas 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 solicitudes que impone el tránsito. Las carreteras pavimentadas son construidas plenamente desde el punto de vista de la ingeniería, donde la superficie de rodamiento está formada por

capas de concreto asfálticos, concreto hidráulico o adoquines. Los costos de transporte de importar material adecuado han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. En muchas ocasiones, las resistencias requeridas pueden obtenerse de un material local de baja calidad, a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores (estabilizadores cementantes, asfálticos, entre otros) a un costo relativamente bajo. Estas técnicas son aplicables tanto al reciclado como a nuevas construcciones. A través del suplemento de un agente estabilizador, el material recuperado de un pavimento existente puede ser mejorado, eliminando así la necesidad de importar nuevos materiales que cumplan con las resistencias requeridas por la estructura del pavimento.

B. Carreteras no pavimentadas:⁷

Son aquellas 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:

- 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, de tamaño máximo de 75 mm.
- Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas 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.

⁷ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.

- 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 gigantes, cal, aditivos químicos y otros.

Tabla 2.3. Características básicas para la 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	1carril (*) 3.50-40.50	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.

2.2. 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, quien tiene la función mantener y ampliar dichas vías. Por la calidad y el tipo de vehículos que las recorre podemos clasificados en 3 categorías: autopista, carreteras asfaltadas y caminos afirmados.

2.2.1. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERÚ

La red vial en el Perú, la cual como se señaló en el capítulo anterior está compuesta por más de 78,000 km. de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales. La mayor parte de nuestra red vial son caminos afirmados construidos en base a tierra y ripio, es decir son carreteras no pavimentadas dentro de la cual se distinguen tres tipos: Los que pertenecen a la red nacional, los caminos secundarios y vecinales y las trochas carrozable.

2.2.2. OBRAS EJECUTADAS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

2.2.2.1 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”⁸. 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.

⁸ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada*; pág. 8.

2.2.2.2 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 este; 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, bache, 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.

2.2.2.3 MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Es el 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 reconformación 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 descalaminado, perfilado, nivelación, reposición de material granular, así como reparación o reconstrucción puntual de los puentes y obras de arte.

2.2.2.4 CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

Dentro de las tareas de conservación pueden distinguirse diferentes niveles; en primer lugar, se sitúa 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 esos deterioros han aparecido (conservación curativa). A su vez, 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. Otra de las actividades es la ejecución misma de las obras de conservación, las cuales que deberán realizarse correcta y oportunamente.

Como se señaló en las líneas precedentes, la conservación vial está a cargo del Estado, 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 viales¹⁴ -según el tipo de red vial son:

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

2.2.2.5 REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

En un segundo nivel de la conservación se sitúan las rehabilitaciones. En general, se recurre a ellas 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.

Figura 2.3. Perfilado de terreno, ensanche de la carretera.



Fuente: Elaboración propia.

2.3. LA SUBRASANTE

2.3.1. GENERALIDADES DE LA SUBRASANTE

La sub rasante es la proporción superior del suelo de fundación que se debe perfilar y compactada para servir como suelo de fundación de la superficie de rodadura en las carreteras rurales y su capacidad de soporte, depende del material que contenga.

Su 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.

Si el terreno de fundación es malo, debe desecharse el material que lo compone, sustituyéndolo por un suelo de mejor calidad; si no es tan malo se le puede colocar una sub-base prescindiendo de ésta última si el material de fundación es bueno o regular. La subrasante tiene una gran influencia en la construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, así las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de la base y sub base y no dan el soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación, los problemas que se presentan no serán observados sino hasta después de la culminación de la construcción, cuando la estructura entre en funcionamiento y deba soportar las cargas del tránsito. Los esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos son influidas en gran porcentaje por ésta capa, un gran porcentaje de las deflexiones que se producen en la superficie de un pavimento se le puede atribuir a las subrasantes, por este motivo se debe asegurar una buena caracterización de la subrasante.

Entre las propiedades requeridas para estos suelos tenemos:

- Resistencia.
- Fácil compactación.
- Estabilidad volumétrica.

Esta capa está expuesta a las condiciones ambientales por lo que debe cumplir requisitos de calidad indispensables para contrarrestar los efectos que por su condición se pueden originar:

Tabla 2.4. Requisitos de calidad de material para una capa subrasante.

Característica	Valor
Limite Líquido % máximo	35 - 40
Valor soporte de California (CBR) %	20
Expansión máxima %	2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 2.5. Categoría y clasificación de una subrasante.

Categorías de Subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se considera como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR o mayor de 10%. En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor al 10 %; para su estabilización.

Se estabilizaron las zonas húmedas locales y áreas blandas sobre la subrasante natural se colocará una capa de espesor mínimo de 0.30 m de piedras grandes.

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática; como mínimo de 0.60 m. cuando se trate de una subrasante muy buena a 0.80 m. cuando se trate de una subrasante regular a 1.00 m. cuando se trate de una subrasante muy pobre y a 1.20 m. en este caso necesario, se coloca o capas a contaminantes y/o drenantes, o se elevara la rasante hasta el nivel necesario.

Los sub drenes para proteger la capa del afirmado, se proyectarán cuando la sub rasante no esté constituida por material permeable y cuando las capas de rodadura no puedan drenar adecuadamente. Los subdrenes que se proyecten para interceptar filtraciones o para rebajar el nivel freático elevado, pueden utilizarse también para drenar él afirmar.

En zonas sobre los 3500 msnm. se evaluará la acción de las heladas en los suelos, en general la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. si la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20) acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante en el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (0.30 – 0.45 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor indicado o se levantará la rasante, con relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior 0.02 mm. No son susceptibles al congelamiento en general los que contienen menos de 3% de su peso en materia de tamaño inferior a 0.02 mm.

Para efectos del diseño del afirmado también se definirán sectores homogéneos, a lo largo de cada uno de ellos, donde las características del material del subrasante se identifican como uniformes.

Dicha uniformidad se establecerá sobre la base del estudio del suelo y de ser necesario, la relación de muestreo. El proceso de sectorización requiere de análisis y criterios de especialistas.

2.3.2. BASE⁹

Tiene una función netamente estructural. Esta capa debe cumplir con distribuir los esfuerzos creados por las cargas de los neumáticos que actúan sobre la superficie de rodadura; debe poseer alta densidad y estabilidad como características principales.

La principal especificación de calidad es la granulometría, pues esta capa debe ser densamente graduada, se debe restringir el porcentaje de finos pues se debe asegurar que permita el drenaje hacia ambos lados de tal manera que se pueda mantener la resistencia; una cantidad por encima de la deseada de finos podrían llenar los vacíos de la base, reduciendo su permeabilidad.

2.3.3. SUB BASE

Esta capa está a mayor profundidad que la capa base y por lo tanto la influencia de las cargas es menor así que su aporte a la resistencia estructural no es tan importante; por tanto, la mezcla de materiales no tiene que ser muy densa; sin embargo, se debe considerar que una gradación abierta puede contaminarse con la intrusión de granos finos, los que provienen de la subrasante, arrastrados por capilaridad; esto hace que se reduzca su capacidad de drenaje.

El objetivo principal de la construcción de la subbase es corregir posibles irregularidades o deficiencias que tenga el suelo de fundación para que éstos no afecten a la base como los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad. Además, debe de servir de drenaje al pavimento para evitar la infiltración de agua y arrastre de finos; y permitir o transmitir los efectos de la carga de manera uniforme a la subrasante. Con la construcción de esta capa también se controla la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de cualquier alguna otra fuente protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se pueden producir por ejemplo.

⁹ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, *pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.*

En las zonas donde existen heladas (congelamiento del agua capilar), por ello una recomendación es importante: el material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado.

2.3.4. PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SECTORES HOMOGÉNEOS SE ANALIZARA LO SIGUIENTE

1. Reconocimiento

En esta se efectúan un proceso de inspección visual, se identifican asentamientos, deslizamientos, etc. Que puedan ser atribuidos a factores técnicos y se establece en primera aproximación.

El reconocimiento visual de suelos y rocas debe complementarse con la observación de otras características del terreno y que ayudan a definir las propiedades de este, como topografía, geomorfología, vegetación, zonas húmedas o cursos naturales de agua y sobre todo, los taludes de cortes existentes próximos al tramo.

2. Diagnostico

Si el reconocimiento del terreno permite su clasificación inmediatamente, pueden realizarse algunas calificadas de comprobación cada 500 m. y los ensayos confirmatorios. Caso contrario si en el terreno se detectara su naturaleza problemática, se deberá establecer un programa de muestreos y ensayos, nos indican a continuación.

3. Programa de prospecciones y ensayos a realizar

Se establecerá una estrategia para efectuar el programa exploratorio y a partir de ello se ordenará la toma de la muestra la citada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que, siendo determinadas en su comportamiento, recientemente sencillas de indiscutible determinación.

❖ **Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:**

A. Granulometrías

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos son función directa de su granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas directamente (Huezo y Orellana, 2009, p.23)

A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis métrico de un suelo, tienen por finalidad de determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasifican en dos en función de su tamaño el ensayo de gran mezclilla se realiza según la norma técnica MTC E – 107.

B. Clasificación de suelos

Determinadas las características de los suelos, ser los ataques anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente en el conocimiento de la telemetría, plasticidad índice de grupo; y luego clasificar los suelos

La clasificación de suelos permitir a pericia del comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá delimitar los sectores homogéneos desde el punto de geotécnico.

C. Plasticidad

Depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. el análisis granulométrico no permite apreciar estas características, por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg.

Estos límites, llamados de Atterberg son: límite líquido; límite plástico

Característica para obtener el índice plástico se definen como la diferencia entre $IP = LL - LP$:

EL índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo. un índice de plasticidad grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario o un índice de plasticidad pequeño es característico de un suelo poco arcilloso sobre todo esto se puede dar la siguiente clasificación.

Tabla 2.6. Clasificación de suelos según índice de plasticidad.

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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se debe tener en cuenta que en un suelo, en contenido de arcillas es un elemento peligroso de una carretera, debido a su gran sensibilidad al agua.

D. Índice de grupo

Es un índice adoptado por **AASHTO** de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. el índice del grupo de un suelo se refieren mediante la fórmula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

- a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- b = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- c = LL – 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.
- d = IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

E. Relación densidad humedad - Proctor modificado

La compactación de suelos constituye un capítulo importantísimo y se haya íntimamente relacionada con la pavimentación de carreteras, vías urbanas y pista de aterrizaje.

La falta de adecuada compactación es causa de muchas fallas en el pavimento. La estabilidad de una obra vial exige entre otras cosas que los terraplenes y las distintas capas pavimento se hallan debidamente compactadas.

A fin de que el material a compactarse alcance la mayor densidad posible en el terreno, deberá tener una humedad adecuada en el momento de la compactación. Esta humedad previamente determinada en un laboratorio de suelos, se llama humedad óptima, y a la densidad obtenida se le conoce con el nombre de densidad seca

F. Humedad natural

otra característica importante de los suelos es su humedad natural ; puesto que la resistencia de la subrasante , en especial de los signos, se encuentra directamente asociada a las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presentan . Se determinarán mediante la norma MTC E 108.

la determinación de la unidad natural, permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos de proctor para obtener el valor de la capacidad de soporte del suelo se CBR. Si la humedad natural resulta igual o inferior a la húmeda óptima, el especialista propondrá la compactación normal de suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Si la humedad natural es superior a la unidad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá a aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

G. Ensayo de CBR

Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO, para caminos de menor tránsito, se elaborarán un perfil de taquigráfico por cada sector homogéneo, a partir del cual se determinara los suelos que controlarán el diseño y se establecerá del programa de ensayos y/o con lesiones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo referido al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de carga de 2.54 mm.

En caso de que un determinado sector se presente una gran heterogeneidad en los suelos de subrasante, que no permite definir uno como predominante, el diseño se basará en el suelo más débil que se encuentre.

CAPÍTULO III

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

3.1. UBICACIÓN

La tesis de investigación se localiza en:

REGIÓN	: Arequipa
DEPARTAMENTO	: Arequipa
PROVINCIA	: Caylloma
DISTRITO	: Ichupampa - Lari

A la zona de proyecto, se accede desde la ciudad de Arequipa por una carretera asfaltada de Arequipa – Control de cañahuas – Patahuasi, con una distancia de 76 km; de aquí se sigue por una carretera asfaltada hasta Chivay, con una distancia de 83 km y un tiempo de viaje total de 3 h y 15 min en bus. Desde Chivay a Yanque, nos conduce una carretera asfaltada de 8 km en 10 min; de aquí al distrito de Ichupampa nos conduce una carretera afirmada en su primer tramo y asfaltada en su segundo tramo de 4.5 km en bus de 10 min entonces de Arequipa hasta el punto de inicio del proyecto se recorre 171.5 km con una duración de viaje total de 3 horas y 35 minutos, hasta el punto de inicio.

Figura 3.1. Municipalidad de Ichupampa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2. Municipalidad de Lari.



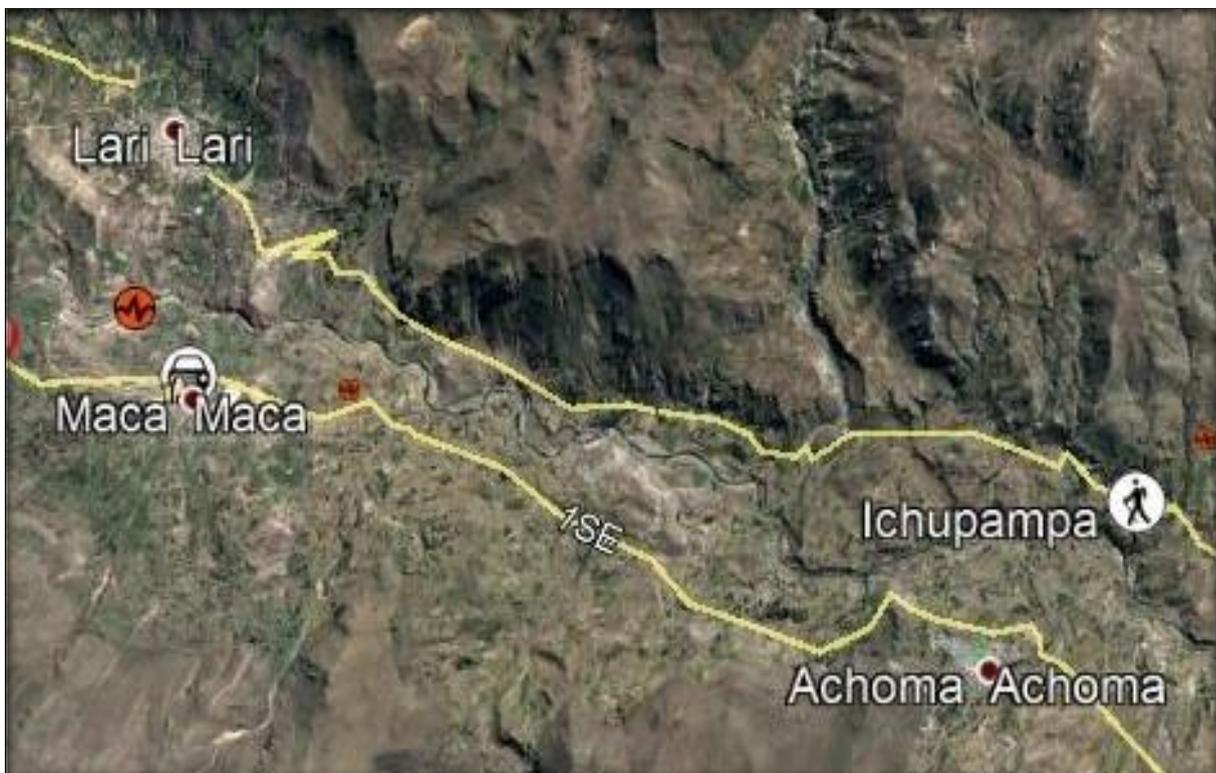
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3. Tramo Ichupampa - Lari.



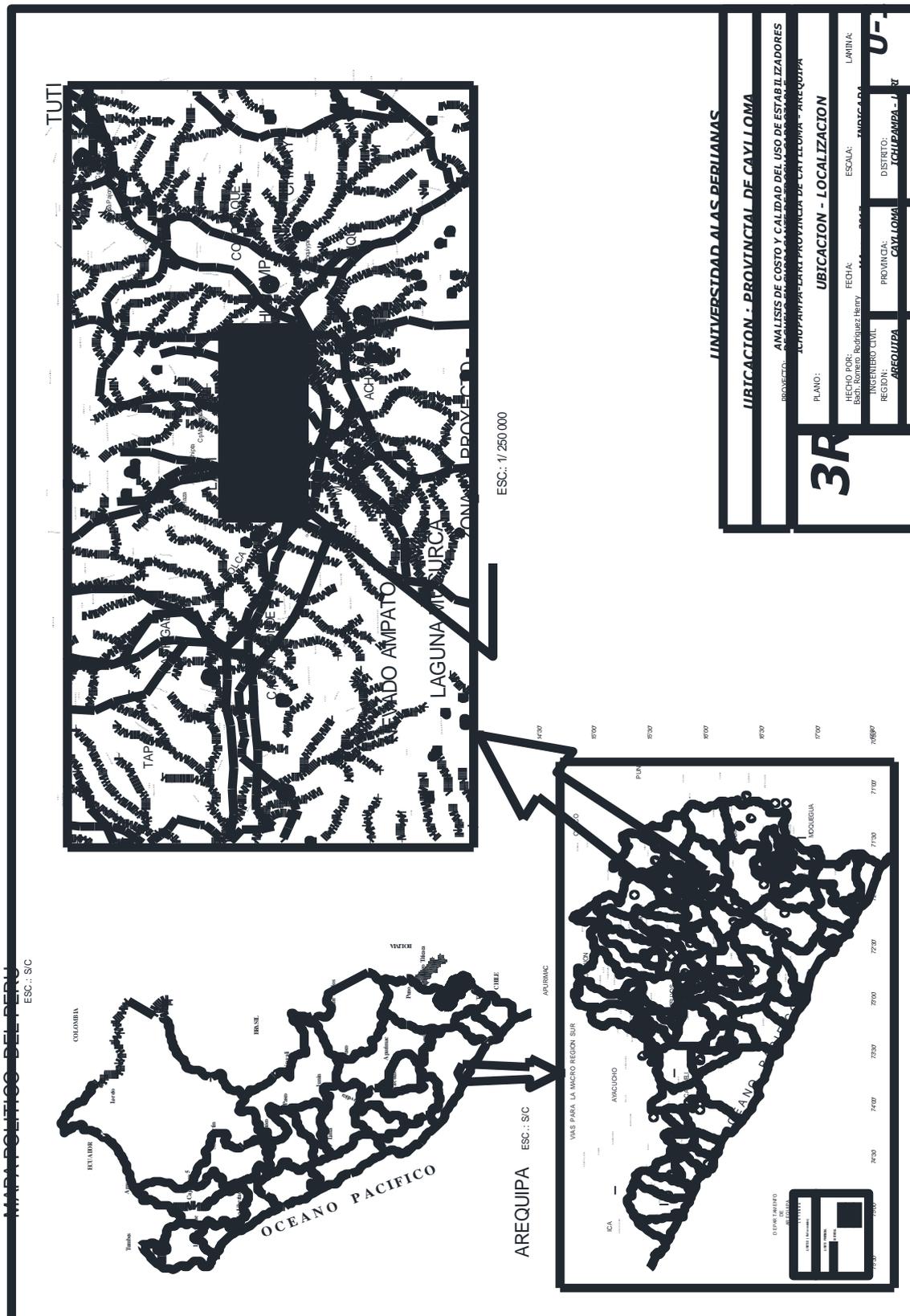
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4. Distancia Ichupampa – Lari 10 617 km.



Fuente: Google Maps.

Figura 3.5. Mapa político del Perú tramo Ichupampa – Lari.



Fuente: Google Earth Pro.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

3.1.1.1. PROVINCIA DE CAYLLOMA¹⁰

La provincia de Caylloma está situada en la parte noreste de la ciudad de Arequipa, entre los 2660 m.s.n.m., que esta Tapay y los 4815 de altitud que están los nevados de Ampato, Waishwillani, Poca Quellqa.

Tomando como referencia ecológica del Dr. Pulgar Vidal, Caylloma estaría entre las zonas ecológicas quechua, Suní y Jalca.

Limita por el norte con la Región Inca-provincia de Espinar-por el Sur con la provincia de Arequipa de la misma Región, por el Este con la Región José Carlos Mariátegui-Provincia e Lampa-, lo que equivale al 27.27 por ciento de la superficie total del departamento de Arequipa hoy Región Arequipa, siendo una de las Provincia más extensas de la región.

3.1.1.2. DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA

El territorio que comprende está ubicado en la Provincia de Caylloma, donde se ubica el Valle del Colca, está dentro del área de los llamados “Valles occidentales del área sur andina”, abarcando una extensa franja de tierras que se extiende a lo largo de 250 Km. con sus cabeceras de cuencas serranas cuyos valles se hallan liados entre sí por los desiertos costeños y por los altos interfluvios cordilleranos. La zona específica donde se emplaza la carretera se encuentra situado en la margen derecha del Valle del Colca, se trata de laderas empinadas y en la mayoría de los casos con presencia de andenería. La topografía de la zona es un tanto accidentada, teniendo pendientes desde moderadas hasta empinadas, generada mayormente por la presencia de macizos rocosos y la presencia del valle formado por el río Colca.

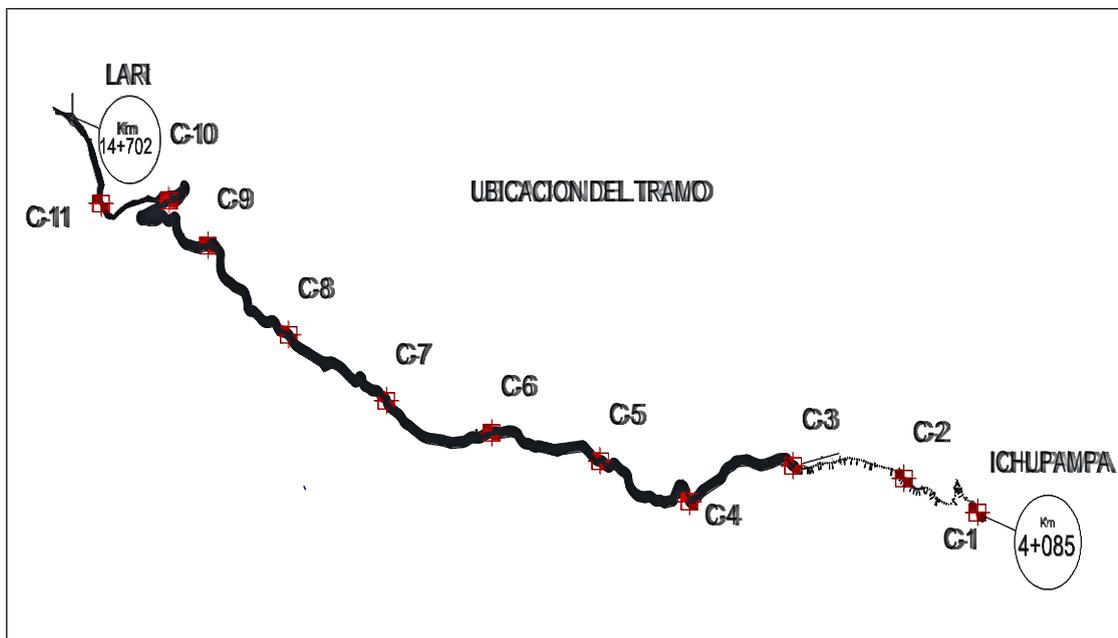
¹⁰ ORIHUELA, J. (1994). *Takyusuy folklore Collawa Provincia de Caylloma-Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú.

3.2. UBICACIÓN DEL TRAMO DEL PROYECTO ICHUPAMPA – LARI

Es el tramo de nuestra investigación de trocha carrozable, que abarca entre el km 4+085 Ichupampa al km 14+702 Lari, siendo 10 617 km de longitud de trocha carrozable. La Municipalidad Provincial de Caylloma con el fin de querer asfaltar este tramo hizo los estudios geotécnicos de mecánica de suelos, haciendo un total de 11 calicatas, separadas a 950m entre calicatas aproximadamente del tramo mencionado, donde se pudo observar que en la calicata 11, la subrasante es pobre con un CBR 5.8%, lo que nos indica que tiene que tratarse la subrasante para que este tramo no pueda fallar; es por ello que se busca una solución y se hace un análisis de comparación de estabilizadores.

Se elige el mejor estabilizador y aplicar en el tramo en mención para mejorar la subrasante de este tramo que es aproximadamente 900 ml del detrito de Ichupampa - Lari provincia de Caylloma, departamento de Arequipa.

Figura 3.6. Tramo Ichupampa – Lari, progresiva 4+085 al 14+702.



Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1. DISTRITO DE ICHUPAMPA¹¹

3.2.1.1. INFORMACIÓN GENERAL

- a. **Creación:** Los primeros pobladores se ubicaron en la parte baja llamada Hanansaya (Malata) y en Urinsaya (Marcapampa) que es la parte alta de un pueblo de Collaguas refundado por los españoles el 12 de febrero de 1825. El distrito fue creado en los primeros años de la República.
- b. **Ubicación:** Se encuentra situada en la ribera derecha del río Colca.
- c. **Distancia desde la capital:** A 12 Km. al oeste de la capital Chivay.
- d. **Altitud media:** 3 397 m.s.n.m.
- e. **Superficie:** 74.89 Km².
- f. **Población (INEI 2016):**
 - ✓ Total: 1957 Hab.
 - ✓ Densidad: 26.11 hab/km²

3.2.1.2. CARACTERÍSTICAS

- a) **Su cerro tutelar:** “wiraqhawa”, su nombre original debió ser “wiraquya” que es igual a la khuruja que es la planta que sirve para las ofrendas, rituales a pacha mama, esta planta es de las zonas de bajas temperaturas y crece en estos cerros.
- b) **Apodo o sobrenombre:** “Chaupi Cristal”, igual a medio vaso´, pero antes fue “ChaupiManka”, igual a media Olla completando el mote de los ichupampeño.

¹¹ ORIHUELA, J. (1994). *Takyusuy folklore Collawa Provincia de Caylloma-Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú, 1ra. Ed. pp. 41.*

3.2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL DISTRITO ICHUPAMPA

a) Etimología

La palabra proviene del quechua antiguo, del vocablo "ichu", que significa "al lado izquierdo"; mirando hacia la salida del sol, río arriba, se diría "pampa del lado izquierdo". El cerro tutelar es el Wiraghawa, al norte del pueblo.

Los primeros pobladores se ubicaron en la parte baja llamada Hanansaya (Malata) y en Urinsaya (Marcapampa) que es la parte alta de un pueblo de Collaguas refundado por los españoles el 12 de febrero de 1825.

b) Atractivos turísticos

- ✓ Wiracchua: Centro tutelar y paisaje panorámico.
- ✓ Marcapampa: Restos arqueológicos y cuevas.
- ✓ Lamparashi: Restos fósiles.
- ✓ Malata: Vivienda de los primeros pobladores de Ichupampa.
- ✓ CcancaicoCcucho: Cataratas misteriosas.
- ✓ Andenería Incaica.

c) Festividades

- ✓ Virgen de la Candelaria: 2 de febrero.
- ✓ San Isidro: 15 de mayo.
- ✓ San Juan Bautista: 24 de junio.
- ✓ Santa Rosa: 22 de agosto.
- ✓ Fiesta de la Virgen Inmaculada Concepción: Diciembre.

3.2.1.4. Turismo

- Al ingresar al distrito de Ichupampa, un hermoso arco de piedra con la escritura del nombre del distrito da la bienvenida a los visitantes, los lugareños, agricultores por excelencia, salen muy temprano en las mañanas rumbo a sus chacras donde permanecen hasta horas de la tarde, cultivan: maíz, cebada, trigo, habas, papas, entre otros.

- Uno de los principales atractivos turísticos de Ichupampa es el templo de San Juan Bautista de Ichupampa,
- Otro de los atractivos turísticos de Ichupampa es el Anfiteatro de Chachahuani, el cual muestra unas impresionantes terrazas construidas aunque algunas de ellas hayan dejado de ser utilizadas.
- En la zona de Marcapampa encontramos Las Tumbas de Lamparashi que están ubicadas en el cerro del mismo nombre, en el lugar es posible apreciar algunos cráneos en una cueva.

Figura 3.7. Municipalidad de Ichupampa: mapa turístico.



Fuente: Elaboración turismo y hotelería Caylloma.

3.2.2. DISTRITO DE LARI

3.2.2.1. INFORMACIÓN GENERAL

- a. **Creación:** El distrito fue creado en los primeros años de la República.
- b. **Ubicación:** El pueblo de Lari se sitúa, en la margen derecha del cañón del Colca.
- c. **Distancia desde la capital:** A 25 Km de distancia de la ciudad de Chivay.
- d. **Altitud media:** 3 358 m.s.n.m.
- e. **Superficie:** 384.02 Km².
- f. **Población (INEI 2015):**
 - ✓ Total: 2 543 Hab.
 - ✓ Densidad: 6,62 hab/km².

3.2.2.2. Descripción del Distrito ¹²

LariCollaguas o Recollaguas es un enigmático poblado ubicado en la parte media, banda derecha del río Colca, fue uno de los tres grandes repartimientos del valle, dividido a su vez en las parcialidades de Hanansaya y Urinsaya.

Cuenta con el sistema de andenería más impresionante del planeta; se ubica al costado del Cañón del Colca, donde la mano del hombre y naturaleza han conseguido perfecta comunión.

Es una de las localidades del valle del Colca que conserva en parte el modelo de pisos ecológicos y un sistema de andenería impresionante por el sistema de riego usado. Los anexos que podemos encontrar son:

- ❖ Capilla Visillo en el Anansaya.
- ❖ Capilla Lloqueta en el Urinsaya.
- ❖ Capilla Challpo.²

¹² ORIHUELA, J. (1994). *Takyusuy folklore Collawa Provincia de Caylloma-Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú.

Los cuales están destinados por la inclemencia del tiempo a labores de pastoreo: Challpo, Visuyo y Lloqueta que son las más representativas.

Sus habitantes viven en lo fundamental de la agricultura y ganadería, orientados a la producción de alimentos en una economía de subsistencia; recientemente el incremento del turismo está posibilitando que algunos se dediquen a la artesanía.

Figura 3.8. Municipalidad de Lari: mapa turístico.



Fuente: Elaboración turismo y hotelería Caylloma.

3.2.2.3. POBLACIÓN BENEFICIADA DEL TRAMO ICHUPAMPA - LARI

Las poblaciones que se beneficiarán directamente con el proyecto entre Ichupampa y Lari suman 3 829 habitantes (censo 2016); sin embargo, indirectamente, los beneficiarios son toda la población de la provincia, pues con el asfaltado de la carretera se logrará atraer mayor flujo turístico y comercio, por la facilidad que brindará la futura carretera.

3.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA

3.3.1. ESTRATIGRAFÍA

En la región las unidades estratigráficas reconocidas abarcan desde el Jurásico Superior, hasta el Cuaternario reciente sus características se describen a continuación:

- **Grupo Yura**

El Grupo Yura está presente sólo en la parte occidental del área del Proyecto en los cuadrángulos de Chivay, Condorama, Callalli y Ocuvirí. El Grupo Yura fue dividido por BENAVIDES (1962) en cinco formaciones, siendo mapeada primero en su área típica en el cuadrángulo adyacente de Arequipa por VARGAS (1970). Las tres formaciones superiores: Labra, Gramadal y Hualhuaní, afloran en el extremo SO del cuadrángulo de Chivay y en Toroya. Otros afloramientos ocurren cerca de Sumbay y Sibayo.

- **Formación Labra**

La formación Labra se compone de cerca de 500 m. de areniscas cuarzosas blancas a marrón claro con estratificación cruzada, las cuales afloran al SO de Toroya. Ellas se distinguen por su bandeamiento fino y sus tonos blancos.

- **Formación Gramadal**

La formación Gramadal aflora en la Quebrada Seraj, donde se observan pequeños afloramientos de calizas gris oscuro, lajas, cubiertas por una caliza nodular masiva que suma en total cerca de 200 m. de grosor.

- **Formación Hualhuaní**

Los principales afloramientos de esta formación se encuentran al ser de Toroya es un testigo cerca de Sibayo y en la esquina extremo SE del cuadrángulo de Condorama. Se compone de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color blanco a gris claro y marrón claro con menor cantidad de fangolitas rojas, algunas

areniscas feldespáticas, marrón rojizo de grano fino a medio y capas conglomerádicas con clastos de vena de cuarzo hasta de 2 cm.

- **Grupo Yura Indiviso**

En afloramientos donde las formaciones componentes del Grupo Yura, no se pueden diferenciar, se las muestra en el mapa como indiviso. Los afloramientos más grandes están en Sumbay y Sibayo.

3.3.2. ECOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona cuenta con recursos naturales animales y vegetales. En cuanto al recurso animal, existen gran cantidad de ganado vacuno, ovino, porcino y animales menores.

En cuanto a los recursos naturales vegetales, tenemos la presencia de cultivos de productos de pan llevar y la existencia de pastos naturales y muchas otras hierbas propias de la latitud y la zona.

El recurso natural mineral también está presente en zonas muy cercanas al de ejecución del proyecto, se trata de la mina Madrigal, hoy permanece cerrada, pero que se conoce que tiene aún reservas y podría reiniciar su explotación en cualquier momento.

3.3.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CARRETERA.

3.3.3.1. SISTEMA VIAL EXISTENTE

La carretera Ichupampa – Lari articula la unión de pueblos de la margen derecha del Valle del Colca, integrando consecuentemente con la provincia de Arequipa, por lo que resulta de suma importancia la realización del mejoramiento de la vía. La carretera a mejorar fue ejecutado por la mina Madrigal por los años de 1970 a nivel de trocha carrozable; con el pasar de los años y paralizar las labores mineras, aproximadamente en el año 1990, la carretera ha quedado en total abandono, habiéndose realizado esporádicos mantenimientos, mejorando la capa de rodadura, realizando el lastrado por la presencia de material arcilloso.

La mala conservación de la carretera de la margen izquierda en el sector de Maca, ha obligado a una cierta cantidad de carros de turismo que realizaba sus viajes al mirador del Colca, a desviar sus rutas por esta margen y retomar la vía de la margen izquierda en un punto más aguas debajo de la zona deteriorada de esta carretera de la margen izquierda.

Con el único fin de interconectar vías de acceso en la provincia de caylloma mejorando así la infraestructura vial a nivel de asfaltado.

3.3.3.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CARRETERA

Actualmente, la vía entre los distritos de Ichupampa - Lari es de trocha carrozable con una distancia de 10.64 km. Presenta un deterioro propio de estas zonas alto andinas, debido a las constantes lluvias e inclemencias del tiempo, por lo que los tiempos de viaje entre los mencionados distritos se alargan más de lo previsto, así como se observa el deterioro de vehículos, cuyo mantenimiento atenta contra la economía de la población y el comercio no es del nivel esperado.

Figura 3.9. Tramo inicial Ichupampa-Lari



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10. Tramo final del tramo Ichupampa-Lari.



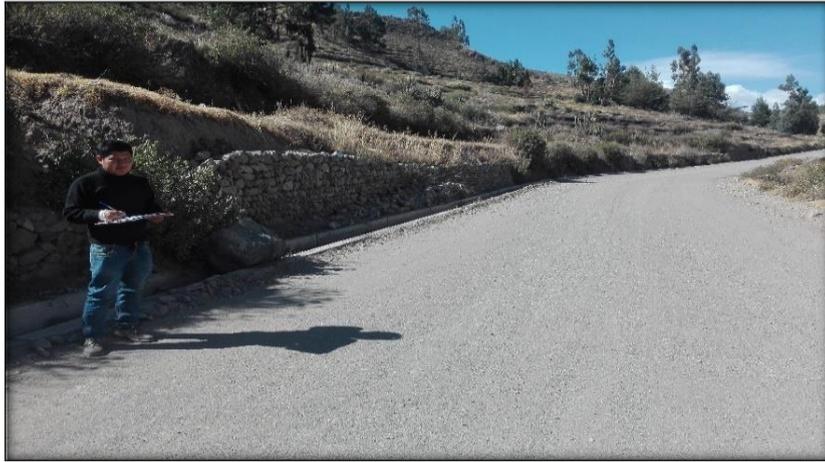
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11. Tramo intermedio Ichupampa-Lari.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12. Toma nota del estado del tramo Ichupampa-Lari.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13. Trocha carrozable en mal estado tramo Ichupampa - Lari.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.14. Toma de notas progresiva 14+000 tramo Ichupampa - Lari.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVAS DE ESTABILIZADORES DE SUELO

4.1. INTRODUCCIÓN

Es normal y frecuente que el ingeniero no encuentre favorable el suelo de fundación, base y/o sub base de algunas trochas carrozables; este hecho abre obviamente a tres posibilidades.

- Aceptar el material tal y como se encuentre, pero tomando en cuenta las propiedades físicas del suelo.
- Eliminar el material que no ayuda al suelo de fundación y cambiar por otro con que cumpla con las especificaciones.
- **Modificar las propiedades del material existente, para hacer cumplir según las especificaciones del MTC aplicando estabilizadores de suelo.**

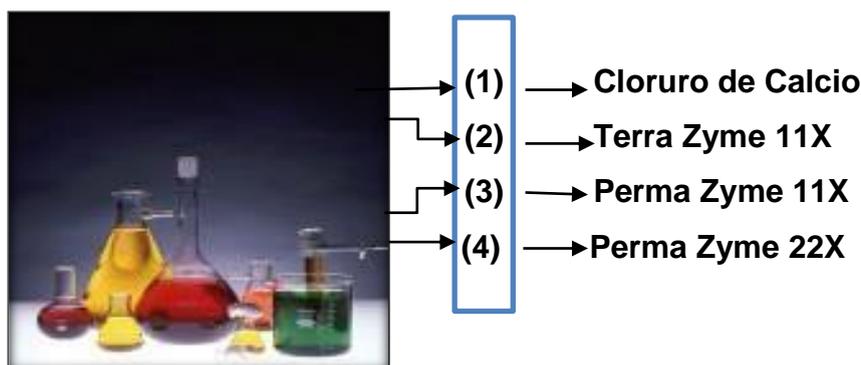
La última alternativa da lugar a las técnicas de estabilización de suelos; en rigor, son muchos los procedimientos que puedan seguir para lograr la mejoría de las propiedades de los suelos.

Desde un principio, tiene que reconocerse que la estabilización no es una herramienta ventajosa en todos los casos y desde luego hay que saber los resultados y utilizar convenientemente.

En un sentido amplio, se puede definir la estabilización de suelos como la combinación y manipulación de suelos con o sin mezclar, para producir una masa firme que soporte el tráfico en todas las condiciones climatológicas.

4.2. TIPOS DE ESTABILIZADORES DE SUELOS

Figura 4.1. Tipos de estabilizadores.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

A. Estabilización con cloruro de calcio

El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener en algunos pozos naturales, siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. La solubilidad del cloruro de calcio es de 60g aproximadamente, por cada 100c.c de agua destilada a 0 °C, o de 159g aproximadamente, por cada 100 c.c. de agua destilada a 100°C.

Se ha demostrado que con la adición de cloruro de calcio disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas. Hay autores que inclusive aseguran que la película de agua que rodea a las partículas se ve eléctricamente reforzada con la adición del cloruro de calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente. Como en el intercambio catiónico se sustituye un anión Ca^{++} por 2 iones Na^{+} , la doble capa se ve reducida en su espesor lo que hace que se reduzca el potencial eléctrico y en consecuencia se reduzcan las fuerzas de repulsión entre las partículas.

Se ha encontrado un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5% a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo. Sin embargo, existen datos que reportan disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga el cloruro de calcio. Así también se tiene el cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable, se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, lo que permite mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante el día de calor seco, lo aceptable por el cuerpo de ingenieros para el caso de camino con tránsito muy ligero.

B. Terra-Zyme11X:

Producto proveniente de la fermentación de extractos vegetales que dan como resultado enzimas orgánicas que en presencia de agua reaccionan actuando como catalizadores que tienen la propiedad de aumentar el grado de aglutinación (unión) y consolidación de las partículas componentes de los suelos, creando una textura más permanente que resiste de mejor manera las inclemencias del tiempo, el desgaste, la fatiga y la penetración del agua.

C. Perma-Zyme 11X:

Compuesto derivado de la fermentación de materiales orgánicos que contiene multienzimas, agentes activos humectantes y polímeros orgánicos, que en presencia de agua aceleran el proceso de unión de los suelos. La acción catalizadora de las enzimas de PZ-11X, provoca una acción aglutinante sobre los suelos finos plástico arcilloso, provocando una disminución de la relación de vacíos y un aumento en la densidad del suelo.

D. Perma-Zyme 22X:

Producto a base de enzimas, el cual se utiliza para estabilizar suelos plásticos, arcillosos. Las enzimas de PZ-22X actúan como catalizadores, debido a que la estructura de sus moléculas contienen partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas, es si como PZ-22X incrementa notablemente

el proceso humectante del agua y provoca una acción aglutinante sobre los materiales finos, disminuyendo la relación de vacíos. La acción cohesiva de este proceso, produce una fuerte actividad cementante, formando finalmente un estrato resistente y permanente.

4.3.1. PROPIEDADES DE DESEMPEÑO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

A.- TRABAJABILIDAD (Rendimiento operativo):

Tabla 4.1. Rendimiento operativo diario en faena de estabilizada c/ productos analizados.

Productos estabilizantes	avance operativo diario*
Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	3 000 a 3 500 m ²
TerraZyme 11X (TZ-11X)	3 000 a 7 000 m ²
Perma-Zyme 11X(PZ-11X)	4 000 m ²
Perma-Zyme 22X(PZ-22X)	5 000 m ²

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

*: Avance por día, en estabilizado de trocha carrozable bajo condiciones normales de clima con un equipo entrenado y certificado.

B.- CAPACIDAD DE SOPORTE:

Alcance: Propiedad cuantificable a través del ensayo de CBR (California Bearing Ratio). La capacidad de soporte de carga otorgada por estabilizantes analizados variara según el tipo de suelo.

Tabla 4.2. Incremento del CBR del suelo al ser tratado con productos analizados.

Producto Estabilizante	Incremento del CBR del suelo al ser tratado		
	Porcentaje	ejemplo cuantitativo	
		CBR suelo	CBR suelo + producto
Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	8%	8 - 12 kg/cm ²	10 - 12 kg/cm ²
Terra Zyme 11X (TZ-11X)	10%	8 - 12 kg/cm ²	11 - 13.2 kg/cm ²
Perma Zyme 11X(PZ-11X)	15%	10 - 12 kg/cm ²	11.5 - 13.8 kg/cm ²
Perma Zyme 22X(PZ-22X)	15%	10 - 12 kg/cm ²	11.5 - 13.8 kg/cm ²

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Interpretación tabla 6.2: Perma-Zyme 22X proporciona a los suelos un aumento en su capacidad de soportar carga desde hasta un 15% sobre el valor determinado, es decir un suelo con valores CBR promedio de 10-12Kg/cm² alcanza como mínimo una vez que ha sido tratado con PZ-22X una capacidad de soporte de 11.5-13.8 kg/cm²

C.- CONTROL DE LA EMISIÓN DE POLVO:¹³

Alcance: Para efectos de lograr el control de la emisión de polvo garantizada por los estabilizantes analizados se debe hacer un tratamiento denominado sello de carpeta, en base al mismo estabilizador. Los resultados pueden ser cuantificados monitoreando un área de trabajo.

Tabla 4.3. Productos analizados/Control de la emisión de polvo.

Productos estabilizantes		Elimina la emisión de polvo
Cloruro de calcio	(CaCl ₂)	75 %
Terra-Zyme	(TZ-11X)	85 %
Perma-Zyme 11X	(PZ-11X)	85 %
Perma-Zyme 22X	(PZ-22X)	85 %

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Interpretación tabla: Se extermína la emisión de polvo en más de un 90%. Se reduce el material fino en suspensión en un 85%.

D.- COMPORTAMIENTO ANTE LOS CAMBIOS DE HUMEDAD:

Tabla 4.4. Productos analizados/Comportamiento ante los cambios de humedad.

Cloruro de Calcio: El cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable, se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, lo que permite mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante el día de calor seco, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo en terracerías, lo aceptable por el cuerpo de ingenieros para el caso de camino con tránsito muy ligero.

¹³ Estabilizar de suelos Perma Zyme 22X, proveedor BIOTOKA S.A.C. Wanchaq – Cusco – Perú.

Terra-Zyme: Una carpeta tratada con TZ-11X es afectada en menor proporción por los cambios de humedad que un suelo sin tratar ya que la mayor densidad y la mejor adherencia de las partículas más pequeña de suelo otorgada por TZ-11X, genera que la carpeta pueda resistir mejor la penetración de la humedad, disminuyendo o impidiendo la migración de las partículas de suelo del camino.

Perma-Zyme 11X: Lo afectan en mucho menor grado que un suelo sin tratar, pues la densidad es mayor y el tamaño de los capilares están reducidos, la permeabilidad del perfil esta disminuida y es muy baja.

PZ-22X: Un suelo tratado con PZ-22x que cuente con la suficiente cantidad de partículas finas cohesivas, es prácticamente no afectado por los cambios de humedad, debido a que la acción de las enzimas genera que se aglutinen de forma que se disminuye parte la relación de vacíos entre las mismas, lográndose con esto que el agua no penetre.

E.- COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS HIELO-DESHIELO:

Tabla 4.5. Productos analizados/Comportamiento ante ciclos hielo-deshielo.

Cloruro de Calcio: El cloruro de calcio es también usado como producto antideslizante en invierno de nieve y el hielo, reduce el riesgo de nueva congelación es eficaz a temperaturas de hasta 10 grados negativos
No presenta fallas estructurales como grietas por ciclos de hielo y deshielo.

Terra Zyme 11X: Ante un ciclo de congelamiento, las propiedades del suelo prácticamente se mantienen debido a la baja humedad que se genera en este ciclo, en tanto frente a un deshielo debido a una permanente humedad, es posible que la carpeta experimente un ablandamiento en el primer centímetro de profundidad.

Perma-Zyme 11X: El suelo es muy poco afectado por congelamiento pues la humedad en el perfil es casi nula por lo que no es perjudicado en su cualidad. Si hay descongelamiento y permanente humedad en la superficie de rodado, posiblemente afectará al primer centímetro de profundidad.

PZ-22X: Las carpetas tratadas con PZ-22X debido a que presentan buena resistencia a los esfuerzos no se ven afectadas por los ciclos de hielo y deshielo, descartando problemas de grietas o similares, sin embargo debido a la constante humedad a la que está expuesta la superficie de la carpeta en proceso de deshielo, es posible que se vea reblandecida en el primer centímetro de profundidad.

4.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZANTES¹⁴

4.3.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO/QUÍMICAS DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.6. Características físico/químicas de Cloruro de Calcio, Terra Zyme-11X, Perma Zyme-11X y Perma Zyme-22X

Detalle	Productos químicos			
	Cloruro de Calcio	Terra Zyme -11X	Perma Zyme-11X	Perma Zyme-22X
Estado Físico	En polvo y a granel	Líquido espeso	Líquido espeso	Líquido espeso
Punto de ebullición	1600°C	100°C	100°C	100°C
Punto de inflamación	No es inflamable	No es inflamable	No aplicable	No combustible
Solubilidad	En agua	En agua	En agua	En agua
Apariencia y olor	Sólido cristalino	Líquido color	Líquido color marrón	Líquido color café.
	Blanco. Sin olor	Marrón claro. Olor a	Ambar, con suave	Ligero olor
	característico	característico	olor dulce	fermento dulce
Gravedad específica (H ₂ O=1)	No disponible	1,0 - 1,1	1,07	1,05
Presión de vapor	No disponible	Como agua	21,84 mmHg	S/información
Densidad de vapor (aire =1)	No disponible	1	S/información	1
PH	8 - 9 (ácido débil)	4,2 - 5,2 (ácido débil)	4 - 5 (ácido débil)	4 - 5 (ácido débil)

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

¹⁴ Estabilizar de suelos Perma Zyme 22X, proveedor BIOTOKA S.A.C. Wanchaq – Cusco – Perú.

4.3.2.2. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.7. Estabilidad y Reactividad de Cloruro de Calcio, Terra Zyme-11X, Perma Zyme-11X y Perma Zyme-22X.

Detalle	PRODUCTOS QUÍMICOS			
	Cloruro de Calcio	Terra Zyme-11X	Perma Zyme-11X	Perma Zyme-22X
Estabilidad	Estable	Estable	Estable	Estable
Condiciones a evitar	Generación de polvo Calor excesivo	T°(s) sobre 55°C pueden reducir actividad enzimática.	T°(s) sobre 50°C y condiciones de fuerte acidez o bases pueden disminuir actividad enzimática.	T°(s) sobre 49°C puede Reducir actividad enzimática
Incompatibilidad (materiales a evitar)	Trifluoruro de bromo, zinc, ácido bórico	Agentes que oxidan	Pierde eficacia con sustancias de pH bajos y altos (Ácido cáustico). En materiales c/aceite, trabaja degradándolos y solubilizándolos.	Ninguna
Sustancias peligrosas desprendidas por descomposición	Ácido clorhídrico, Oxido de calcio	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Polimerización peligrosa	No ocurrirá	No ocurrirá	No ocurrirá	No ocurrirá

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Nomenclatura: T°(s) = Temperaturas. / °C = Grado Celsius.

4.3.2.3. PELIGRO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.8. Peligro de incendio y explosión de Cloruro de Calcio, Terra Zyme-11X, Perma Zyme-11X y PZ-22X.

Detalle	Productos químicos			
	Cloruro de Calcio	TZ-11X	PZ-11X	PZ-22X
Productos peligrosos de la combustión	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Peligro de incendio y explosión inusuales	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Procedimientos especiales y/o sugeridos para combate de incendios	No es combustible	No es combustible	No es combustible	No es combustible

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

4.3.2.4. PRESENTACIÓN Y ENVASE DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.9. Presentación y envase de Cloruro de Calcio, Terra Zyme11X, Perma-Zyme-11X, PZ-22X.

Productos	Presentación	Descripción	Peso (kg)	Tamaño (m3)	Rotulado y etiquetado
CaCl₂	Estado físico solido en escamas	Presentación: (saco) 25kg (saco) 5kg	25	0.025	Los productos analizados como estabilizadores están aprobados con resolución directoral lima 16 de marzo del 2004 N°007-2004-MTC/14 cumple y aprobada en la aplicación de proyectos viales que ejecuta el MTC.
	Que se entrega en polvo Bajo la Denominación de cloruro de calcio.		5	0.005	
TZ-11X	Producto liquido concentrado, que se Entrega bajo denominación TZ-11x	Tambores plásticos de 200 lts	200	0.20	
PZ 11X	Producto que se entrega como líquido concentrado (solución espesa) bajo la denominación de PZ-11X.	Tambores plásticos de 55gal (212lts)	212	0.21	
		Bidones plásticos de 5gal (19lts)	19	0.019	
PZ-22X:	Compuesto que se entrega como líquido concentrado bajo el nombre de PZ-22X	Bidones plásticos de 1gal (4lts)/	4	0.004	
		5gal (19lts)	19	0.019	

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

4.3.2.5. RENDIMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.10. Rendimiento de Cloruro de Calcio, Terra Zyme-11X, Perma Zyme-11X y Perma Zyme-22X.

PROCESO		
PRODUCTO	ESTABILIZADO	SELLO SUPERFICIAL
CaCl₂	<ul style="list-style-type: none"> * 3kg. de producto permite tratar 0.1 m³ de suelo. * 50kg de producto alcanza para tratar 1.667 m³ de suelo. 	3 Kg de CaCl ₂ permite sellar 1 m ² de superficie
TZ-11X	<ul style="list-style-type: none"> * 1 Lt. De producto permite tratar 27.5 m³ de suelo. * 1tambor de 200 Lts alcanza para tratar 5500 m³ de suelo 	1 Lt de TZ 11X permite sellar 186m ²
PZ-11X	<ul style="list-style-type: none"> * 1 Lt. de producto permite tratar 30 m³ de suelo. * 1 tambor de 212 Lts alcanza para tratar 6996 m³ de suelo. 	1 Lt de PermaZyme permite sellar 200m ²
PZ-22X	<ul style="list-style-type: none"> *1 Lt. de producto permite tratar 33 m³ de suelo. * 1 tambor de 212 Lts alcanza para tratar 6360m³ de suelo. 	1 Lt de PZ-22x permite sellar 215m ²

Fuente: World Zymes Inc.

4.3.2.6. TRANSPORTE DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.11. Transporte de CaCl₂, TZ-11X, Perma Zyme-11X y Perma-Zyme-22X.

Detalle	Productos químicos			
	CaCl ₂	TZ-11X	PZ-11X	PZ-22X
“Marcas para información de riesgos”		No aplica. “Marca en etiqueta: Ninguna”.		
“Clasificación o División de riesgos”		Clase 9 (Sustancias peligrosas varias: no revisten peligro) No aplica. (Producto no peligroso)		
Nº CAS	10043-52-4	S/información	s/información	s/información
Precauciones especiales	Cubrir adecuadamente Para proteger de la humedad, luz solar y cambios de temperatura extrema.	El producto no deberá estar expuesto a temperaturas que sobrepasen los 55°C	El producto no deberá exponerse a temperaturas mayores de 50°C	El producto no deberá exponerse a temperaturas mayores de 49°C
Regulación Internacional	Al no ser inflamable es aprobado y regulado por el ministerio de transportes y comunicaciones y por la Asociación Nacional de la Protección contra los Incendios.			

4.3.2.7. MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.12. Manipulación de Cloruro de Calcio, Terra Zyme-11x, Perma Zyme-11X y Perma Zyme-22X.

DETALLES	CaCl ₂	PZ-11X	PZ-11X	PZ-22X
Protección respiratoria	no se requiere	no se requiere	no se requiere	no se requiere
Ventilación	normal	normal	no requiere	no requiere
Guantes de protección	no se requiere	no se requiere	los normales	no se requiere
Protección ocular	anteojos inastillables	anteojos inastillables	anteojos inastillables	no se requiere
Otros equipos de protección personal	no se requiere	no se requiere	no se requiere	no se requiere
Prácticas de higiene en el trabajo	limpie las manos con agua y jabon antes de beber o comer algún alimento, tocar los ojos o colocarse lentes de contacto			

Fuente: hoja de datos de seguridad OQC.

4.3.2.8. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Tabla 4.13 a. Almacenamiento de Cloruro de Calcio.

Medidas	Cloruro de Calcio
Tiempo de almacenamiento	48 meses (4 años)
Condiciones de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> ↻ Almacenar en lugar seco, protegido de la intemperie, agua y/o lluvias. ↻ en lugar fresco y seco y bien ventilado, los envases deben estar bien cerrados, lejos de material incompatible.
Precauciones	<ul style="list-style-type: none"> ↻ Evite almacenar con productos químicos incompatibles con los que pudiera reaccionar violentamente. ↻ inspeccionar periódicamente los recipientes para detectar daños y prevenir fugas.

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Tabla 4.13 b. Almacenamiento de Terra-Zyme.

Medidas	TZ-11X
Tiempo de almacenamiento	36 meses (3 años)
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en envases cerrados Reduce actividad enzimática:
Precauciones	<ul style="list-style-type: none"> ☞ La exposición del producto sobre 55°C ☞ Si el pH del producto se encuentra bajo 2,5 o sobre 9,5

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Tabla 4.13 c. Almacenamiento de Perma-Zyme 11X.

Medidas	PZ-11X
Tiempo de almacenamiento	42 a 48 meses (3,5 a 4 años)
Condiciones de almacenamiento	Guardar en envases cerrados.
Precauciones	Para mantener las cualidades del producto, éste no deberá estar expuesto a temperaturas sobre 50°C

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

Tabla 4.13 d. Almacenamiento de PZ-22X.

Medidas	PZ-22X
Tiempo de almacenamiento	De 42 a 48 meses (3,5 a 4 años)
Condiciones de almacenamiento	Ninguna
Precauciones	El producto no deberá estar expuesto a temperaturas mayores a los 49°C (se desnaturalizan las enzimas)

Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

4.3.2.9. MAQUINARIA REQUERIDA EN APLICACIÓN DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

Productos que se aplican con equipo convencional para construcción de caminos:

- Camión cisterna (cisterna con aspersores)
- Motoniveladora (o arador rotatorio)
- Rodillo compactador 10Tn (de neumático o de tambor).

4.3.2.10. ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE TROCHA CARROZABLE Y APLICACIÓN DE PRODUCTOS

A. CLORURO DE CALCIO:

1. - Cantidad de estabilizador:

Cálculo de dosificación de producto en base a la cantidad de metros cúbicos a tratar. 3kg de concentrado de cloruro de calcio alcanza para tratar 0,1 m³ de material suelto.

2. - Consideraciones generales antes de comenzar la construcción de la carpeta:

La aplicación de producto estabilizante es fácil en cualquier tipo de superficie de rodadura. Para esta estabilización se requiere la maquinaria tradicional con la que se trabaja en las vías, es decir una moto-niveladora, un vibro-compactador y un carro tanque cisterna.

3. - Preparación de suelo:

Antes de aplicar el estabilizador al suelo por tratar, tiene que ser escarificado con la motoniveladora en el lugar o transportar material desde los sitios de origen aprobados.

4. - Mezclado:

Dentro del carro-tanque cisterna echar el cloruro de calcio en la cantidad necesaria, teniendo en cuenta la cantidad de suelo a tratar y el contenido de humedad óptimo hallado en laboratorio con la dosificación correcta. Sobre el material escarificado con la cisterna de adicionara la mezcla.

5. - Compactación:

Con la moto-niveladora se homogenizará la mezcla de suelo + agua + cloruro de calcio. Posteriormente se extiende y se nivela luego con el vibro-compactador se compacta procurando dejar los desniveles o bombeos adecuados.

6. - Apertura de tránsito:

Normalmente se proporciona a la vía un tiempo de curado de 24 a 72 horas en condiciones de clima seco, la vía puede abrirse inmediatamente al tránsito liviano.

B. TERRA-ZYME 11X:

1. - Cantidad de estabilizador:

Cálculo de dosificación de producto en base a la cantidad de metros cúbicos a tratar. Un litro de concentrado TZ-11X alcanza para tratar 27,5m³ de material suelto.

2. - Cantidad de agua:

Cálculo de la cantidad de agua a usar en el proceso de homogenización. Se requiere saber la humedad óptima del suelo, y en terreno comprobar la humedad natural del mismo; la diferencia (%) determina la cantidad de agua requerida. El producto se introduce directamente al camión cisterna.

3. - agua + estabilizador:

Una vez que la mezcla agua + producto haya sido depositado uniformemente en el suelo suelto, se debe proceder a homogenizar.

4. - Proceso de homogenización:

Se debe extender el material y prepararlo para su compactación. Es imperativo comprobar en esta etapa la humedad del terreno, ya que ésta no puede ser menor que la humedad óptima obtenida del ensayo Proctor Modificado (PM); si la humedad fuera menor, ya que en muchos casos se pierde humedad durante el proceso, hay que agregar agua hasta alcanzar la humedad óptima de compactación.

5. - Proceso de compactación:

Esta etapa es la que determina la calidad final del camino. Se deben hacer cuatro pasadas de rodillo por punto, siendo la primera con vibración en baja, de manera de distribuir el contenido de humedad uniformemente. La segunda y tercera pasada deberá ser con alta vibración, observando que no se produzcan grietas o hinchazones, ya que si esto es el caso, hay que volver a compactar en baja. Al comprobar densidades post-compactación debiéramos estar conformes únicamente si están sobre un 95% de la densidad máxima compactada seca (DMCS) dado por el ensayo PM. Con Terra Zyme, si los pasos en la aplicación han sido bien hechos, y la compactación fue óptima, las densidades obtenidas deberán estar cerca o sobre un 100% DMCS del PM.

C. PERMA-ZYME 11X:

1. - Cantidad de estabilizador:

Cálculo de dosificación de producto en base a la cantidad de metros cúbicos a tratar. Un litro de concentrado PZ-11X alcanza para tratar 30m³ de material suelto.

2. - Apertura:

Apertura de cajón de trabajo en los primeros 15 cm, enseguida realizar un primer riego para humectar, luego apisonar con rodillo neumático o motoniveladora (una pasada).

3. - Mezcla:

Remover el material en su totalidad, humectándolo con agua y PZ-11X a dosis adecuada (1litro de PZ-11X por 30m³ de suelo compactado). El agua de humectación debe ser igual a la humedad óptima de Proctor sin PZ-11X, como valor límite superior.

4. - Homogenización:

Mezclar bien, hasta lograr homogeneizar el material y perfilar con motoniveladora.

Esperar unos 15 minutos, luego compactar con rodillo liso vibrando primera y segunda pasada con alta amplitud, tercera y cuarta pasada con baja amplitud.

5. - Compactación:

Se hace un último riego de sello, se deja orear unos minutos para luego compactar con rodillo neumático. De acuerdo a observación de terreno, se da por terminado el proceso. Es conveniente dejar fraguar algunas horas para mejor resultado. Si es necesario utilizar el camino, hacerlo a bajas velocidades.

Alcance:

a) Temperaturas (T) óptimas de trabajo: Durante la elaboración de la carpeta las T_s° de trabajo idealmente deberán estar entre 7 y 40 °C.

b) Durante el periodo de fraguado (24/72hrs) el material tratado no deberá estar expuesto a T_s° extremadamente bajas. Si durante el periodo de fraguado (72hrs.), cae agua puede afectar la capa superior (2cm)

D. PERMA ZYME-22X:¹⁵

1. - Cantidad de estabilizador:

Cálculo de dosificación de producto en base a la cantidad de metros cúbicos a tratar. Un litro de concentrado PZ-22X alcanza para tratar 33m³ de material suelto.

2. - Mezcla:

Deben establecerse las proporciones de agua y PZ-22X. Una vez que el camión contenga el agua establecida se debe aplicar la cantidad de PZ-22X calculada. Se recomienda depositar primero el agua al camión ya que de colocar primero el estabilizante se corre el riesgo de perder la proporción de agua debido a que PZ-22X produce espuma.

¹⁵ Estabilizar de suelos Perma Zyme 22X, proveedor BIOTOKA S.A.C. Wanchaq – Cusco – Perú.

3. - Homogenización:

Una vez, escarificada la superficie, el suelo debe aflojarse como preparación para la aplicación de PZ-22X. Deposite la mezcla de agua-PZ-22X en forma pareja y a velocidad constante humedeciendo y mezclando el suelo hasta que toda haya sido aplicada. Debe dejarse que pase suficiente tiempo entre pasadas del aljibe para que así el suelo de la superficie no se sature y por tanto se dificulte el trabajo. Las condiciones de tiempo pueden variar el reposo. Tiempo caluroso puede permitir un periodo de reposo más corto, mientras que con tiempo más frío puede requerirse tiempo adicional.

La motoniveladora debe continuar cortando y apilando o amontonando el material hasta lograr el espesor apropiado.

El material tratado con PZ-22X puede dejarse en un arrume durante toda la noche sin que pierda su efectividad. Así no hay desperdicio de material.

Finalmente una vez que el material alcanza la humedad óptima de compactación, el proceso de homogenización finaliza.

4. - Compactación:

La motoniveladora deberá comenzar a retirar el material de los cordones y esparcirlo uniformemente sobre la superficie a estabilizar. Si se necesita agua adicional, está debe regarse ligeramente y en forma pareja durante este proceso. Formar el camino de tal manera que una pendiente mínima de 2% caiga del eje hacia la berma exterior del camino. La motoniveladora y el rodillo deben continuar trabajando juntos para nivelar y compactar hasta que la superficie esté pareja y suave con una apariencia sellada uniforme.

En los pasos finales no debe usarse el vibrador de la aplanadora, esto evitará que la superficie superior se agriete por el rápido secado.

Deben proveerse suficientes drenajes y desagües a lo largo de la carretera para asegurarse de que no se formen pozas.

4.3.2.11. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA-PRODUCTO REQUERIDA PARA EL PROCESO DE ESTABILIZACION DE LA CARPETA DE PRUEBA

El procedimiento seguido para la estimación de agua-producto necesaria para carpetas de prueba es aplicable como metodología estándar para procesos de estabilización. Nomenclatura:

(x) = Valor estandarizado dado por fabricante, según área y clima de trabajo. (**) = valores obtenidos en laboratorio.

DMCS = Densidad máxima compactada.

4.3.2.12. DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE CADA ESTABILIZADOR

Tabla 4.14. Precio en dólares y soles valor de cada estabilizador 2017.

PRODUCTO	Precio / Lt Dolares Americanos	Precio / Lt - kg Nuevos Soles
Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	\$. 0.615	S/. 2.00 x Kg
Terra Zyme 11X (TZ-11X)	\$. 178.00	S/. 578.50 x Lt
Perma Zyme 11X(PZ-11X)	\$. 170.00	S/. 552.50 x Lt
Perma Zyme 22X(PZ-22X)	\$. 160.00	S/. 520.00 x Lt

Fuente: Proveedor en Perú Wanchaq cusco – Perú Biótika S.A.C.

A. CLORURO DE CALCIO: Estimación de producto

Tabla 4.15a. Proporción de Cloruro de Calcio por m³ de suelo.

Proporción de CaCl ₂ por m ³ de suelo			Proporción de CsCl ₂ para carpetas de prueba			Total de producto (kg)
Producto	Unid.	(^x) Rendimiento (kg/m ³)	Suelo	Dosificación (kg/m ³)	Cant. de suelo a tratar (m ³)	
CaCl ₂	Kg	3	C-11	0.1	810	24,300
Total de producto a utilizar en la trocha de prueba						24,300 Kg

Estimación de agua:

Tabla. 4.15b. Proporción de agua para carpetas de prueba elaboradas con Cloruro de Calcio.

Suelo en estado natural:		PROPORCIÓN DE AGUA			Estimación para canchas de prueba	
Detalle		Unid.	Cálculo	Suelo	Unid.	
a) 1. Tipo de suelo a tratar				C-11		
b) 2. Humedad Natural			[%]	1.7	[%]	
c) 3. DMCS		[kg/m ³]	**	2124.0	[kg/m ³]	
d) Agua presente en el suelo		[lts/m ³]	$d = (c \cdot b)/100$	36.1	[kg/m ³]	
e) Rendimiento del estabilizante		[lt/m ³]	$e = 0,046$	-	-	
f) Cantidad de agua requerida para disolver 0,044 lt de producto		[lts]	$f = e \cdot 1000$	-	-	
g) Agua total en el suelo según humedad real y disolución de CaCl ₂		[lts/m ³]	$g = f + d$	82.1	[lts/m ³]	
h) Humedad Residual (humedad en el suelo posterior al riego)		(%)	$h = (g \cdot 100)/c$	3.9	(%)	
i) Agua a utilizar en el proceso por m ³ de suelo		[lts/m ³]	$i = [(h-b)/100 \cdot c]$	46.7	[lts/m ³]	
j) Volumen de material a tratar		[m ³]		810.0	[m ³]	
k) Agua a incorporar al camión aljibe		[lts]	$k = i \cdot j$	37,843.2	[lts]	

Total de agua a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 37 843.2 ltsH₂O + 24.3 Tn de cloruro de calcio (CaCl₂).

B. Fuente: World Zymes Inc. Productor de PZ-22X, EEUU.

C. TERRA ZYME: Estimación de producto

Tabla 4.16a. Proporción de Terra Zyme por m³ de suelo.

Proporción de TZ-11X por m ³ de suelo			Proporción de TZ-11X para carpetas prueba			Total de producto (lts)
Producto	Unid. ^(x)	Rendimiento (m ³ /lts)	Suelo	Dosificación (m ³ /lts)	Cantidad de suelo a tratar (m ³)	
TZ-11X	lts	0.036	C-11. Km 14+000	0.36	810	29.5
Total de producto a utilizar en la Trocha de prueba :						29.5

Estimación de agua:

Tabla 4.16b. Proporción de agua para carpetas de prueba elaboradas con Terra Zyme.

Suelo en estado natural:		PROPORCIÓN DE AGUA			Estimación para canchas de prueba	
	Detalle	Unid.	Cálculo	Suelo	Unid.	
	a) 1. Tipo de suelo a tratar			C-11		
	b) 2. Humedad Natural	[%]	**	1.7	[%]	
	c) 3. DMCS	[kg/m ³]	**	2,124.0	[kg/m ³]	
d)	Agua presente en el suelo	[lts/m ³]	$d = (c \cdot b)/100$	36.1	[kg/m ³]	
e)	Rendimiento del estabilizante	[lt/m ³]	$e = 0.036$	-	-	
f)	Cantidad de agua requerida para disolver 0.036 lt de producto	[lts]	$f = e \cdot 1000$	-	-	
g)	Agua total en el suelo según humedad real y disolución de TZ11X	[lts/m ³]	$g = f + d$	72.1	[lts/m ³]	
h)	Humedad Residual (humedad en el suelo posterior al riego)	(%)	$h = (g \cdot 100)/c$	3.4	(%)	
i)	Agua a utilizar en el proceso por m ³ de suelo	[lts/m ³]	$i = [(h-b)/100 \cdot c]$	36.1	[lts/m ³]	
j)	Volumen de material a tratar	[m ³]		810.0	[m ³]	
k)	Agua a incorporar al camión aljibe	[lts]	$k = i \cdot j$	29,247.5	[lts]	
l)	Mezcla total de agua+TZ 11X a incorporar al suelo	[lts]	$l = (e \cdot j) + k$	29,277.0	[lts]	

Total de agua a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 29 247.5 ltsH₂O / Total Mezcla a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 29,277.0 ltsH₂O+TZ11X.

D. PERMA-ZYME 11X: Estimación de Producto

Tabla 4.17a. Proporción de Perma Zyme-11X por m³ de suelo.

Proporción de PZ-11X por m ³ de suelo			Proporción de PZ-11X para carpetas de prueba a			
Producto	Unid.	(x) Rendimiento (lts/m ³)	Suelo	Dosificación (lts/m ³)	Cantidad de suelo a tratar (m ³)	Total de producto (lts)
PZ-11X	lts	0,033	C-11 Km 14+00	0,033	810	27.00

Total de producto a utilizar en carpetas de prueba: 27.00 litros

ESTIMACIÓN DE AGUA:

Tabla 4.17b. Proporción de agua para carpetas de prueba elaboradas con Perma-Zyme 11X.

PROPORCIÓN DE AGUA					
	Detalle	Unid.	Cálculo	Estimación para canchas de prueba	
				Suelo	Unid.
Suelo en estado natural:	a) 1. Tipo de suelo a tratar			Km 14+00	Nivel 11
	b) 2. Humedad Natural	[%]	**	1.7	[%]
	c) 3. DMCS	[kg/m ³]	**	2124.0	[kg/m ³]
d) Agua presente en el suelo		[lts/m ³]	$d = (c \cdot b)/100$	36.1	[kg/m ³]
e) Rendimiento del estabilizante		[lt/m ³]	$e = 0,033$	-	-
f) Cantidad de agua requerida para disolver 0,033 lt de producto		[lts]	$f = e \cdot 1000$	-	-
g) Agua total en el suelo según humedad real y disolución de PZ-11X		[lts/m ³]	$g = f + d$	69.1	[lts/m ³]
h) Humedad Residual (humedad en el suelo posterior al riego)		(%)	$h = (g \cdot 100)/c$	3.25	(%)
i) Agua a utilizar en el proceso por m ³ de suelo		[lts/m ³]	$i = [(h-b)/100 \cdot c]$	32.9	[lts/m ³]
j) Volumen de material a tratar		[m ³]		810.0	[m ³]
k) Agua a incorporar al camión cisterna		[lts]	$k = i \cdot j$	26,666.8	[lts]
l) Mezcla total de agua-PZ-11X a incorporar al suelo		[lts]	$i = (e \cdot j) + k$	26,693.8	[lts]

Total de agua a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 26,666.8 ltsH₂O / Total de Mezcla a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 26,693.8 ltsH₂O+PZ11X.

E. Fuente: World Zymes Inc. productor de PZ-22X, EEUU.

F. PERMA-ZYME 22X: estimación de producto

Tabla 4.18a. Proporción de PZ-22X por m³ de suelo.

Proporción de PZ-22X por m ³ de suelo			Proporción de PZ-22X para carpetas de prueba			
Producto	Unid.	Rendimiento (lts/m ³)	Suelo	Dosificación (lts/m ³)	Cantidad de suelo a tratar (m ³)	Total de producto (lts)
PZ-22X	lts	0,030	C-11 km 14+00	0,030	810	24.6

Total de producto a utilizar en carpetas de prueba: 24.6 litros

ESTIMACIÓN DE AGUA:

Tabla 4.18b. Proporción de agua para carpetas de prueba elaboradas con PZ-22X.

PROPORCIÓN DE AGUA					
Detalle	Unid.	Cálculo	Estimación para canchas de prueba		
			Suelo	Unid.	
Suelo en estado natural:			C-11		
a) 1. Tipo de suelo a tratar					
b) 2. Humedad Natural	[%]	**	1.7	[%]	
c) 3. DMCS	[kg/m ³]	**	2,124.0	[kg/m ³]	
d) Agua presente en el suelo	[lts/m ³]	$d = c \cdot b / 100$	36.1	[kg/m ³]	
e) Rendimiento del Estabilizante	[lt/m ³]	$e = 0,030$	-	-	
f) Cantidad de agua requerida para disolver 0,030 lt de producto	[lts]	$f = e \cdot 1000$	-		
g) Total de agua en el suelo según humedad real y disolución del PZ-22X	[lts/m ³]	$g = f + d$	66.1	[lts/m ³]	
h) Humedad Residual (humedad en el suelo posterior al riego)	(%)	$h = (g \cdot 100) / c$	3.11	(%)	
i) Agua a utilizar en el proceso por m ³ de suelo	[lts/m ³]	$i = [(h-b) / 100 \cdot c]$	29.8	[lts/m ³]	
j) Volumen de material a tratar	[m ³]		810.0	[m ³]	
k) Agua a incorporar al camión cisterna	[lts]	$k = i \cdot j$	24,138.0	[lts]	
l) Mezcla total de agua-producto a incorporar al suelo	[lts]	$l = (e \cdot j) + k$	24,162.6	[lts]	

Total de agua a utilizar en ejecución de carpetas: 24,138.0 ltsH₂O / Total de Mezcla a utilizar en ejecución de carpetas de prueba: 24,162.6 ltsH₂O+PZ22X.

Fuente: World Zymes Inc.

4.3.2.13. TRÁNSITO VEHICULAR DURANTE Y DESPUÉS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN

A.- Tránsito vehicular durante el proceso de estabilizado:

TZ-11X / PZ-11X / PZ-22X: No será necesario interrumpir el tránsito.

CaCl₂: El tráfico ha de ser desviado durante los trabajos, si no se puede interrumpir totalmente, dejar el espacio en el mismo camino o vías laterales. El tránsito sobre la muestra se reanuda en cuanto lo indique el representante del laboratorio de suelos.

B.- TRANSITO VEHICULAR TERMINADO EL PROCESO DE ESTABILIZADO:

CaCl₂: El tráfico ha de ser desviado durante los trabajos, si no se puede interrumpir totalmente, dejar el espacio en el mismo camino o vías laterales. El tránsito sobre la muestra se reanuda en cuanto lo indique el representante del laboratorio de suelos.

TZ-11X: El camino puede ser utilizado por tráfico liviano. El tráfico normal puede reiniciarse un día después bajo condiciones normales de tiempo.

PZ-11X: El camino puede ser utilizado por tráfico normal, cuidando que durante el periodo de fraguado 24/72hrs, la velocidad de circulación sea baja, esto con el fin de no provocar roturas por exceso de fricción o vibración que rompa el sellado.

PZ-22X: En climas secos la carpeta de rodado puede abrirse inmediatamente al tráfico. Las condiciones lluviosas o de alta humedad pueden aumentar el tiempo de secado de la carpeta (48 a 72 hrs.) y hacer necesario mantener la vía cerrada.

4.3.2.14. MANTENCIÓN DE CAMINOS TRATADOS CON PRODUCTOS ESTABILIZANTES

El mantenimiento de caminos estabilizados con productos alternativos, dependerá del uso (frecuencia y tipo de vehículo) y condiciones climáticas

al que se ve expuesto el camino tratado, tales factores provocan que a través del tiempo se produzca el deterioro de la carpeta, generándose entre otros, bombeo deficiente, formación de baches, calaminas, etc.

Las labores de mantenimiento demandaran material de empréstito (generalmente en bajas proporciones), producto estabilizante y maquinaria como pisones mecánicos manuales, rodillo de bajo tonelaje o simplemente el paso de vehículos que hacen uso del camino.

La frecuencia de mantenimiento requerida por un camino estabilizado así como la dosis de producto utilizado en cada una de estas faenas según alternativas de estabilizantes analizados, es la siguiente:

Mantenimiento de caminos estabilizados

Dosis de producto estabilizante Frecuencia de mantenimiento

Tabla 4.19. Mantenimiento de caminos tratados con productos estabilizantes.

Cloruro de Calcio: El mantenimiento de un camino tratado con cloruro de calcio se tendrá que realizar con 2 bolsas TZ-11X se realizara con una dosis de producto equivalente de 4 kg/m^3 en casos de depresiones y de 1 kg/m^2 .

Terra-Zyme 11x: El mantenimiento de un camino tratado con TZ-11X se realizara con una dosis de producto equivalente a $0,036 \text{ lts/m}^3$ en casos de depresiones y de $0,0036 \text{ lts/m}^2$ para el control de polvo. La frecuencia de mantención para el control de polvo es cada 3 a 4 meses, y en el caso de depresiones no antes de 6 meses.

Perma-Zyme 11X: El mantenimiento de un camino tratado con PZ-11X se deberá realizar con una dosis de producto equivalente a $0,033 \text{ lts/m}^3$ en casos de depresiones y de $0,0033 \text{ lts/m}^2$ para el control de polvo. La frecuencia de mantención por formación de hoyos o similares como para control de polvo es cada 3 a 4 meses.

PZ-22X: El mantenimiento de un camino tratado con PZ-22X se realizara con una dosis de producto equivalente a $0,030 \text{ lts/m}^3$ en casos de depresiones y $0,0030 \text{ lts/m}^2$ para el control de polvo. La frecuencia de mantención para el control de polvo es cada 3 a 4 meses, y en el caso de baches no debieran presentarse antes de 6 meses.

4.3.2.15. PRODUCTOS COMPATIBLES CON EL TERRENO PRODUCTOS Y/O ESTABILIZANTES ANALIZADOS

A. CLORURO DE CALCIO:

- 1.- Agua con la cual se diluye el producto orgánico: Limpia, libre de desechos.
- 2.- El terreno a estabilizar deberá cumplir con las siguientes características:
 - a) Estar exento de basura, raíces y agregado pétreo de tamaño superior a 2".
 - b) Presencia mínima de un 10% y máximo de 65% de finos.
- 3.- EL producto no puede ser aplicado antes o después de un acontecimiento de lluvia.

B. TERRA-ZYME 11X:

- 1.- Agua con la cual se diluye el producto enzimático: Limpia y libre de cloro.
- 2.- El terreno a estabilizar debe contener:
 - a) La presencia de algún porcentaje de arcilla.
 - b) La presencia mínima de un 20% a un 25% de finos, de naturaleza cohesiva y no granular (que pasen por el tamiz #200 de 0.075mm).

Alcance: Un suelo cohesivo se compone principalmente de limo y arcilla y un suelo granular se compone principalmente de arena y grava.

C. PERMA-ZYME 11X:

- 1.- Agua con la cual se diluye el producto enzimático: Agua limpia y libre de cloro.
- 2.- El terreno a estabilizar debe contener:
 - a) La presencia mínima de un 20% de finos, de naturaleza cohesiva (limo y arcilla) y no granular (arena y grava), con un mínimo de 8% de arcilla.
 - b) Índice plástico (I.P.): Entre un 8% y 20%. Si el I.P. del suelo es mayor, el desempeño sigue siendo bueno, pero en superficie requiere incorporar áridos para mejorar adherencia de rodamiento en condiciones de elevada humedad (lluvias).
- 3.- Al aplicarse el PZ-11X, la temperatura ambiente debe ser: $7^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 40^{\circ}\text{C}$.

- 4.- No realizar proceso de estabilizado si las condiciones climáticas no permiten completar el tiempo de fraguado mínimo (72hrs) necesario para evitar que la carpeta tratada pierda suelo a nivel de superficie.

D. PERMA-ZYME 22X:

1. - Agua con la cual se diluye el producto enzimático: libre de cloro en el agua a utilizar en el proceso de estabilizado no deberá ser superior a 3.000 m.g.p.l. (agua potable: 90 m.g.p.l. de cloro).

2. - El terreno a estabilizar debe contener:
 - a) La presencia mínima de un 20% de finos, de naturaleza cohesiva y no granular.
 - b) Índice plástico (I.P.): superior al 6%.- La presencia de material vegetal afectará negativamente la aplicación de PZ-22X.

3. - Al aplicar PZ-22X, la temperatura ambiente debe ser superior a 10°C.

4.3.2.16. USOS /APLICACIÓN DE PRODUCTO ESTABILIZANTES

a. Usos/Aplicaciones comunes de productos estabilizantes:

- Estabilización de caminos secundarios (rurales o no pavimentados), públicos o privados, caminos de acceso a zonas agrícolas, mineras, petroleras y forestales.
- Aplicables como pre tratamiento de la capa base antes de pavimentar u asfaltar, permitiendo de esta manera aumentar la durabilidad y la vida útil de los caminos. Esta forma de utilización de los productos estabilizantes tiene principal aplicación en caminos primarios, áreas de estacionamiento y pistas de aterrizaje de helipuertos, aeródromos y aeropuertos.
- Obtención de una buena plataforma de trabajo para el paso de tráfico en obra.

- Son la solución para caminos en áreas específicamente sensibles al medio ambiente, que requieran ser estabilizados sin impactar o cambiar el aspecto natural del paisaje, como ser parques, senderos, paseos peatonales o ciclo vías, playas estacionamiento, etc.
- Estabilización de rutas con control de malezas y corta fuegos.
- Usados para el mantenimiento de caminos ya sea para parchar o rellenar baches.
- Pueden aplicarse para el control de erosión de suelo, polvo en suspensión, eliminación de lodazales y calaminas.
- Construcción y control de polvo de terraplenes/taludes/relaves mineros entre otros.
- Efectivo reductor de erosión y escurrimiento de suelo en bermas o bordes de vías.

4.3.2.17. CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS DE PRODUCTOS ESTABILIZANTES

- No cambian en absoluto el método tradicional de construcción de caminos.
- Se aplican con maquinaria o equipos convencionales disponibles por cualquier empresa vial privada o pública.
- Aumentan y mantienen la integridad estructural de los suelos, elevando su densidad, estabilidad y resistencia, minimizando la formación de baches, calaminas y similares.
- Permiten controlar la emisión de polvo.
- Mejoran las propiedades de impermeabilidad de los suelos, evitando de esta manera la formación de grandes cantidades de lodo. (Alcance: PSD certifica 100% la impermeabilidad)
- De rápida dilución: Producto concentrado que se mezcla fácilmente con agua.
- De fácil aplicación, rápida penetración y dispersión en el suelo.
- Reducen esfuerzos de compactación: debido al efecto cohesivo que

producen entre las partículas de suelo, se reduce el porcentaje de huecos en la carpeta, permitiendo obtener una óptima compactación con menores esfuerzos.

- Seguros con respecto al manejo y aplicación, su uso no requiere medidas de mitigación.
- Son productos estables: no reaccionan ante cambios bruscos de pH, no presentan desprendimiento de gases corrosivos ni tóxicos y no son inflamables.
- No son corrosivos, por lo tanto fáciles y seguros de almacenar. No causan deterioro o daño en piezas y carrocería de vehículos u equipos que hacen uso del camino tratado.
- Inocuos al medio ambiente y salud: No contienen sustancias peligrosas, son orgánicos y biodegradables.
- El transporte del producto no es regulado: El producto al ser clasificado como no peligroso, no es regulado por el departamento de transporte del país de fabricación.
- Resistencia ante control de hielo: La alta resistencia a la compresión que logra una carpeta tratada con el producto estabilizante, permitirá que esta no se hunda con el paso de maquinaria como barre nieves o rompehielos, lo que facilitará el control de la máquina por parte del operador (seguridad) y minimizará la destrucción de la carpeta.
- Reduce los costos de construcción y de mantenimiento.
- Aumenta la vida útil de las carreteras.
- Incrementa la capacidad de carga o soporte de los caminos, permitiendo de esta forma disminuir el espesor de las capas superiores (pavimento/asfalto).
- Se producen bajo la certificación ISO 9001 (certificación de calidad).
- Vida útil de almacenamiento extensa: Productos que pueden ser almacenados (bajo condiciones razonables), por largos periodos de tiempo.

4.3.2.18. SALUD Y MEDIO AMBIENTE

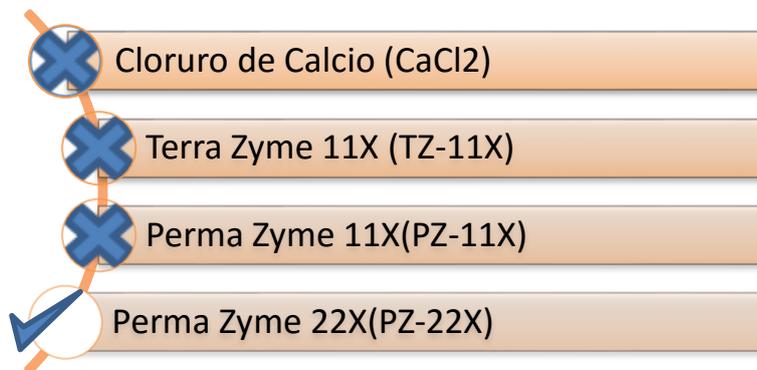
Los productos estabilizantes analizados no presentan ningún impacto negativo, son productos naturales, fácilmente descompuesto por los microorganismos propios del suelo (biodegradables), no manifiestan bioacumulación, son estables, no tóxicos, no contienen químicos alergénicos que contribuyan a reacciones respiratorias o cutáneas agudas, no se necesita ropa de protección especial, ventilación o manipulación como material peligroso, cumplen todos los estándares y requerimientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y del departamento de Administración Ocupacional de Seguridad y Salud del mismo país (OSHA), por lo que no requieren de aprobación ecología para usarse en caminos.

En consecuencia TerraZyme, Perma-Zyme 11X, PZ-22X y son estabilizadores de suelo que no contienen sustancias químicas arriesgadas o peligrosas por lo tanto son seguros para el Medio Ambiente y la Salud.

4.3.3. ELECCIÓN DEL ESTABILIZADOR A USAR

Haciendo el análisis y comparativo de estabilizadores de suelo, se llega a la conclusión que el estabilizador PERMA ZYME 22X nos brinda mejores resultados tanto en costo, calidad y uso del estabilizador.

Figura 4.2. Elección del estabilizador a usar en la trocha carrozable.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

PRODUCTO ESTABILIZANTE PERMA ZYME 22X

5.1. PARÁMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO

Son las características que debe cumplir un suelo para ser aplicado el estabilizador de Perma Zyme 22x, cuyas reacciones serán óptimas y mejorará las propiedades del suelo.

Figura 5.1. Producto estabilizador perma zyme 22X



Fuente: proveedor en Perú Wanchaq cusco – Perú Biótika S.A.C.

Tabla 5.1. Parámetros de un suelo para usar el estabilizador Perma Zyme 22X.

PARÁMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO	
ÍNDICE PLÁSTICO	5% a 15%
GRANULOMETRIA	Los finos deben pasar la malla N° 200 de 18% a 30%
CBR	Bajo CBR < a 10%
HUMEDAD ÓPTIMA	De acuerdo al análisis de laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

5.2. ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO PERMA ZYME 22X

Es un aditivo para suelos elaborados a partir de estratos de plantas naturales mediante el uso de la tecnología de fermentación, la formulación final contiene productos de un proceso metabólico microbial, incluyendo enzimas. Las moléculas del estabilizador, interactúan con las partículas cohesivas del suelo para mejorar los límites de solidez en el tiempo, el proceso reduce la permeabilidad y plasticidad en suelos arcillosos, elimina el agua e incrementa los límites de solides entre partículas cohesivas. Este incremento de límites ayuda a estabilizar los suelos y reducir el daño y deformación que generalmente se produce como resultados de determinadas condiciones Húmedas de los suelos, el incremento de la densidad y solidez de los suelos tiene un importante impacto en la performance de las carreteras.

Es también un catalizador eficaz que permite acelerar y fortalecer la unión del material de la base del camino, el estabilizador enzimático crea una base más densa, cohesiva y estable, cuya resistencia a la compresión aumenta con el tiempo.

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas hasta hacerlas instantáneas o casi instantáneas, son catalizadores altamente específicos. La especificidad de las enzimas es tan

marcada que en general actúan exclusivamente sobre sustancias que tienen una configuración precisa.

Como son moléculas estrictamente proteicas, éstas también sufren desnaturalización, no dializan y también pueden sufrir saturación. La desnaturalización de las enzimas es un cambio estructural en las proteínas donde pierden su estructura tridimensional o conformación química, de esta forma pierden a su vez su óptimo funcionamiento y a veces cambian sus propiedades físico-químicas; por ejemplo cuando las enzimas están desnaturalizadas pierden su actividad catalítica, pues los sustratos no pueden unirse al centro activo y porque los residuos de los aminoácidos implicados en la estabilización de los sustratos no están posicionados para hacerlo. La desnaturalización surge cuando la proteína es alterada por algún factor, sea éste físico o químico. Entre los factores físicos está el calor y factores químicos como el pH, los disolventes orgánicos y la fuerza iónica. En la ingeniería de carreteras, las enzimas Perma Zyme 22X, se utilizan para la estabilización de vías y carreteras muchas veces como aglutinante, así, la acción catalizadora de las enzimas incrementa el proceso humectante del agua y provoca la acción aglutinante sobre cierto tipo de materiales, disminuyendo la cantidad de vacíos.

Mejora las propiedades mecánicas y físicas de las diferentes capas de la estructura del pavimento (subrasante, sub base y base); en teoría y dependiendo el tipo de enzima, los diferentes efectos que se produce son los siguientes:

- Incrementa las densidades de compactación.
- Mejora la capacidad portante.
- Alarga la vida útil de las vías y carreteras.
- Como actúa a manera de adhesivo, alarga al tiempo de mantenimiento periódico y de la reposición de pérdidas del material pétreo.
- La capa de rodadura tratada con enzimas puede soportar cargas superiores a las cargas normales de diseño.
- Reduce costos.

5.3. CARACTERÍSTICAS DEL ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO PERMA ZYME 22X

Son las siguientes:

- ✓ Usa equipo normal
- ✓ Aplicable a un suelo de mala calidad
- ✓ Es 100% natural
- ✓ Compatible con el medio ambiente
- ✓ Ecológico – no toxico – biodegradable
- ✓ De manejo seguro
- ✓ No inflamable
- Condiciones normales de suelo, y suelos de alto contenido de arcilla.

5.4. PARAMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO

- ✓ Índice de plasticidad 5 a 15.
- ✓ PH. De 4.5 a 8.
- ✓ Granulometría: los finos deberán pasar la malla 200 de 18% a 30%.
- ✓ Humedad óptima: de acuerdo al análisis del laboratorio.

5.5. LUGARES EJECUTADOS CON EL PRODUCTO PERMA ZYME 22X

Producto estabilizante de suelos PERMA-ZYME22X, con base central en world zyme, inc. 310 Wilshire blud Santa Mónica California – Estados Unidos (E.E.U.U.). Es la empresa productora de este estabilizante, aprobado y acreditado en más de 20 países, ya fueron aplicados y ejecutados satisfactoriamente en países como:

- | | |
|--------------|--------------|
| - Guatemala. | - Rusia. |
| - Colombia. | - EEUU. |
| - África. | - Argentina. |
| - Australia. | - Perú. |
| - China. | - Chile. |
| - Brasil. | - México. |
| - Filipinas. | - Vietnam. |

Es el único estabilizador de suelos aprobado en más de 20 países obteniendo buenos resultados y en diferentes tipos de suelos y climas de temperatura totalmente distintos.

5.6. AREAS DE APLICACIÓN DEL ESTABILIZADOR.

- En la construcción y rehabilitación de carreteras, caminos de tierra, caminos secundarios, áreas de control y erosión y otros.
- Tratamiento de subrasante, sub base, base antes de asfaltar caminos primarios, áreas de estacionamiento y pista de aeropuertos.
- Lugares de ambiente ecológico sensible, plantaciones, parques, senderos y otros.
- Estabilizador contra erosión y escurrimiento de bermas de caminos, canales y acequias.
- Complemento de relleno en reparación de caminos y baches.
- Sellador de fondos de lagunas, tanques y rellenos sanitarios.

5.7. VENTAJAS DEL ESTABILIZADOR ENZIMATICO PZ-22X¹⁶

- **Reduce problemas generales de trabajo y mantenimiento de caminos**

Estabilizador enzimático, aumenta la estabilidad disminuyendo la penetración del agua en la base del camino. De esta manera se reduce los efectos de ondulaciones, encala minados y baches, dando como resultado mayor tiempo de vida útil y menor costo de mantenimiento, incluyendo el de los vehículos.

- **Se puede usar materiales de menor calidad, lo que reduce la necesidad de importar material**

La tecnología del estabilizador usa más material del propio suelo, así mismo puede usar finos cohesivos no granulares, de menor calidad que a menudo, se encuentra en el camino entre 10 cm a 15 cm. de profundidad. Si se necesitaría material nuevo puede usarse materiales menos costosos, con más contenido de finos (20-30% pasando por la malla #200)

¹⁶ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.

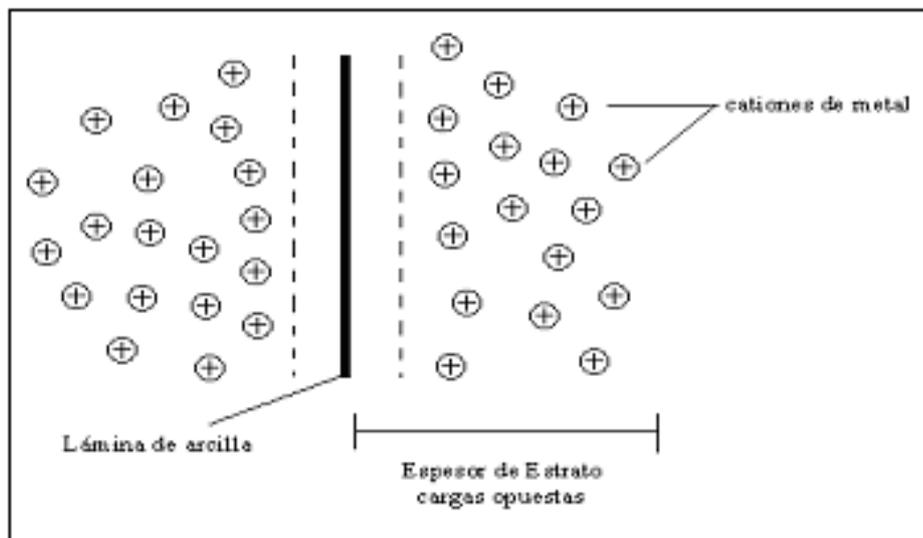
- **Mejora la capacidad de soportar carga (cbr%)**

El estabilizador enzimático mejora la integridad estructural de la base del camino y con el tiempo aumenta la capacidad para soportar (CBR). Esto extiende la vida útil del camino (Ver tabla 6.2).

- **Proceso químico del estabilizador enzimático con la arcilla¹⁷**

- a) Sistema típico de la arcilla-agua, los cationes cargados positivamente se sitúan alrededor de la lámina de arcilla cargados negativamente.
- b) Al mezclar con la porción de arcilla del terreno (iones negativos) PZ-22X (iones positivos) cambia la estructura molecular del suelo fusiona las partículas, acelerando su cohesión a través de acción catalítica de las enzimas.
- c) Este cambio acelera la unión cohesiva de las partículas, las partículas del suelo se acercan más durante el proceso de compactación.

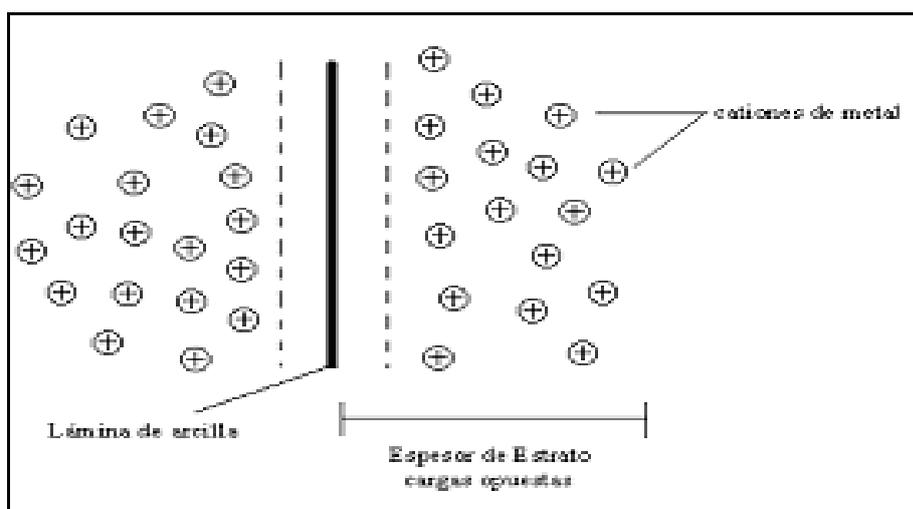
Figura 5.2. Proceso químico del estabilizador con la arcilla.



Fuente: Ing. Alejandra Revines producto estabilizante de suelos para carreteras.

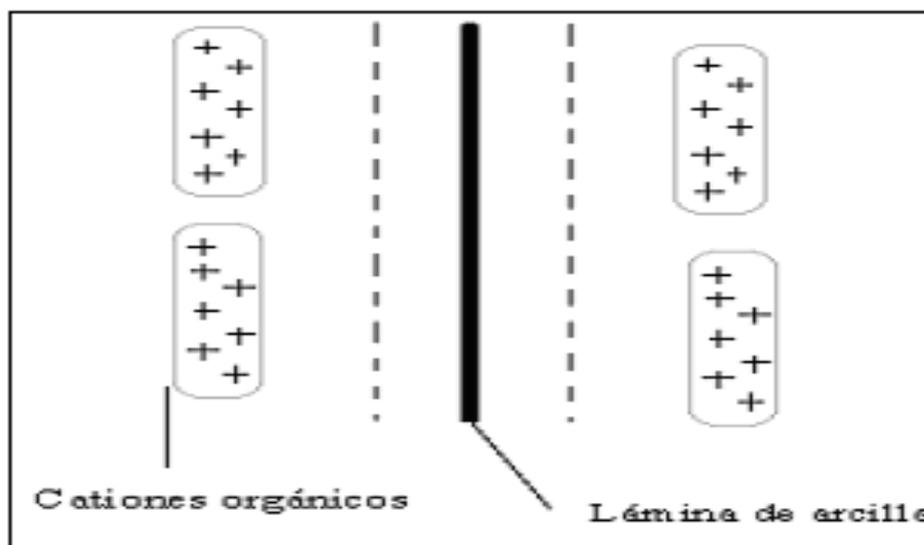
¹⁷ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.

Figura 5.3. Proceso químico del estabilizador con la arcilla¹⁸



Fuente: Ing. Alejandra Revines, producto estabilizante de suelos para carreteras.

Figura 5.4. Proceso químico del estabilizador con la arcilla.



Fuente: Ing. Alejandra Revine, producto estabilizante de suelos para carreteras.

¹⁸ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.

5.8. ESPECIFICACIONES DEL ESTABILIZADOR.

Los resultados óptimos en la estabilización con el estabilizador enzimático se dan cuando el suelo se mezcla completamente con la solución del estabilizador considerando las especificaciones de diseño que se muestran a continuación, adicionalmente los procedimientos de aplicación de estabilizador apropiados son críticos para asegurar la mejor estabilización y la performance de la carretera.

- **Granulometrías**

El estabilizador cataliza las reacciones con fines cohesivos (plásticos). Los finos pasan la malla N°200 y deben de constituir por lo menos el 15% del material de construcción

- **Plasticidad**

Suelos ideales tratados con el estabilizador deberán tener un límite líquido (LL) menor que 30 % y un índice plástico (IP) entre **4 a 15 %**

- **Humedad Natural**

El porcentaje de humedad natural del suelo, servirá para determinar los rangos y la cantidad de diluyente del aditivo con agua y el riego para el óptimo.

5.9. ENSAYOS A REALIZAR CON EL ESTABILIZADOR PERMAZYME - 22X.

Los siguientes ensayos en laboratorio también se pueden utilizar para estimar la performance de la carretera y ajustar la relación de aplicación.

Máximas densidad seca /óptimo contenido de humedad (CHO)

Se aplicará el aditivo en:

- ✓ Límite líquido
- ✓ Límite plástico
- ✓ Proctor modificado
- ✓ California Bearing Ratio (C.B.R.).

- **California Bearing Ratio (CBR)**

El ensayo mide la resistencia del suelo a la carga. Esto muestra el incremento de la carga en suelos tratados con el estabilizador enzimático, a niveles recomendados para compararlos con suelos no tratados. Cuando se requiere una prueba, es necesario que las muestras tratadas se curen antes de sumergirlas.

5.10. DATOS TÉCNICOS DEL ESTABILIZADOR ENZIMÁTICO

Los siguientes parámetros técnicos son datos importantes para el éxito de la estabilización con el estabilizador enzimático. La variabilidad de la graduación de suelos; la plasticidad, la química, así como el agua de los suelos de un lugar a otro influyen en el mecanismo del suelo y aseguran y predicen los resultados de estabilización. La mejor práctica incluye siempre la construcción de pruebas de secciones de carreteras para verificar las técnicas de aplicación apropiadas.

5.11. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS TÍPICOS

- **Análisis de graduación.**

El suelo ideal para la construcción, distribución de tamaños de partícula, considerando el rango de ¾" de grava hasta finos que pasan por la malla # 200. Esta mezcla provee la máxima capacidad de soporte de carga, minimizando los espacios vacíos. Muchos materiales **insitu** no tienen una graduación ideal. Las experiencias en campo con muchos perfiles de graduación indican que muchos suelos se benefician con el tratamiento. Las excepciones son las siguientes:

- En arena limpia con partículas inertes y que contengan alto porcentaje de vacíos.
- En suelos con alto contenido de finos donde el perfil de graduación muestre que las partículas pasan la malla # 200, se observa ausencia de arena, contenga poca arcilla y o alto porcentaje de limos;

Ejemplo; suelos según su clasificación, **SUCS: OH, CH, PT, OL.**

Suelos que reaccionan con el aditivo, teniendo presente que contengan el 6% de arcilla como mínimo, que pase por la malla # 200, según SUCS

Se ha encontrado que en las aplicaciones más exitosas del estabilizador han tenido lugar en suelos que contienen un rango completo de tamaños de partículas, así como una distribución pareja de ellas, desde huesos capaces de soportar las cargas del tráfico hasta los finos cohesivos. Arena de playa y roca triturada no han demostrado ser materiales adecuados cuando se les usa sin agregar ripio y material fino.

Es muy importante hacer un buen análisis del suelo para calificar con mayor precisión los suelos que se encuentran en condiciones de alcanzar la máxima densidad.

5.12. PROCESOS DE APLICACIÓN DE ESTABILIZADOR

La aplicación del estabilizador se realiza durante el afirmado de carreteras, donde se presentan ondulaciones, baches, diques, etc.

Demostraciones exitosas y su correspondiente aplicación en muchas partes del mundo, han permitido acumular valiosas experiencias respecto a los tipos adecuados de los suelos, su química, requerimientos de equipos y máquinas, así como métodos de aplicación del producto para obtener el mejor éxito.

5.13. PROPIEDADES DE LOS SUELOS A TENER EN CUENTA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS¹⁹

5.13.1. ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

La expansión y contracción de muchos suelos, originadas por los cambios de humedad, se pueden presentar en forma rápida. Por tanto si las expansiones que se desarrollan, debido a un incremento de humedad, no se controlan en alguna forma, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y roturas en el pavimento y en general en cualquier obra.

¹⁹ Fuente informativa MARIA ALEJANDRA RAVINES MERINO, pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.

Es por ello que resulta necesario detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado.

Actualmente las soluciones para evitar los cambios volumétricos en suelos expansivos, consisten en introducir la humedad del suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión de expansión y utilizar membranas impermeables y apoyar la estructura a profundidades tales que no se registre variación estacional en la humedad.

Otro medio podría consistir en modificar las arcillas expansivas, transformándola en una masa rígida o granular, cuyas partículas estén lo suficientemente ligadas para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medio químico o térmico.

5.13.2. RESISTENCIA.

La resistencia de los suelos, con algunas excepciones es en general más baja cuanto mayor sea su contenido de humedad.

Los suelos arcillosos, al secarse alcanzan grandes resistencias (teniendo inclusive más alta resistencia cuando se calientan a temperaturas muy elevadas, como sucede en la fabricación de ladrillos).

Existen casos donde la disminución de la humedad puede significar una reducción en la resistencia, pues se han presentado casos de deslizamientos de tierras provocadas por arcillas que se secaron y se agrietaron, provocando que el comportamiento del material sea de un suelo friccionante, que pueda tener menor resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores. La acción abrasiva del tránsito, por ejemplo, puede ser que un material cohesivo se pulverice y pierda su cohesión.

Por otra parte, dependiendo de la humedad y energía de compactación, se pueden lograr diferentes características de resistencia en un suelo, ya que un suelo compactado del lado seco en la curva de compactación presenta, con la humedad de compactación un comportamiento relativamente elástico y con una resistencia relativamente alta, mientras que este mismo suelo compactado con una alta humedad, no obstante que su peso volumétrico seco sea alto, presentaría resistencias bajas y comportamiento plástico o viscoso:

este efecto debe generalmente a que una alta humedad produce en una arcilla efectos de repulsión entre sus partículas, propiciando que la cohesión sea menor que en el caso de emplear humedades de compactación bajas. Así mismo se ha visto que en suelos finos, tiene una importancia decisiva a la forma de aplicación de la energía, sobre todo cuando se emplea humedades más altas que la óptima; por ejemplo, la energía aplicada por impactos, puede ocasionar que tenga una cuarta parte del grado de compactación.

Resulta evidente que los procedimientos que sirven para mantener a un suelo, sin que se produzcan cambios volumétricos, son también adecuados para mantener la resistencia en el suelo, como la adición de agentes que transformen a un suelo fino en una masa rígida o granular, estos agentes pueden ser químicos o térmicos, teniendo entre los primeros el cemento portland y la cal como los mas comunes.

5.13.3. PERMEABILIDAD.

No es difícil modificar sustancialmente la permeabilidad de formaciones del suelo por métodos como la compactación, la inyección etc. En materiales arcillosos, el uso de defloculantes (por ejemplo poli fosfatos) pueden reducir la permeabilidad también significativamente; el uso de floculantes (hidróxido de cal o yeso) aumenta correspondientemente el valor de la permeabilidad.

En los suelos la permeabilidad plantea, en términos generales dos problemas básicos como son lo relacionado con la disipación de las presiones de poros excesivas, puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede provocar tubificaciones y arrates.

Si se compacta un suelo arcilloso con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá finamente una alta permeabilidad en el suelo, debido a los grumos que no se disgregan, resistiendo al esfuerzo de compactación y permitiendo que se forme una gran cantidad de vacíos intersticiales. Mientras más alta sea la humedad de compactación, se producirá menor permeabilidad en el suelo compactado, ya que ese tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos.

5.13.4. COMPRESIBILIDAD.

Los cambios de volumen o compresibilidad tienen una importante influencia en las propiedades de los suelos: se modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, hecho que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, provocando desplazamiento.

Ahora bien, la compresibilidad de un suelo puede presentar variaciones importantes, dependiendo de algunos factores tales como la relación de la carga aplicada respecto al suelo que soporta.

Es obvio que al pre moldear un suelo se modifica su compresibilidad, por lo que esta característica se puede modificar mediante procedimientos de compactación, se ha encontrado que la humedad de la compactación tiene una gran importancia en la compresibilidad de suelos compactados, si se compactan dos especímenes al mismo peso volumétrico , pero uno en la rama seca de la curva de peso volumétrico contra humedad y el otro en la rama húmeda, se tendrá que para presiones de consolidación bajas el espécimen compactado del lado húmedo será más comprensible, debido a que su estructura se encuentra más dispersa; pero para grandes presiones, se tienen colapsos y reorientaciones.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. DETERMINACIÓN DEL ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X (PZ-22X), VENTAJAS EN LA APLICACIÓN COMO ESTABILIZADOR DE SUELO

Analizar el producto Perma Zyme 22X como estabilizador de suelos aplicado en el tramo Ichupampa – Lari en la calica 11, exactamente en la progresiva 14+000 se hizo los estudios de mecánica de suelos en laboratorio, obteniendo resultados que respaldan la hoja de seguridad y las especificaciones del producto estabilizador Perma Zyme 22X.

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para las características del suelo se ara ensayos de laboratorio; convenientemente se evaluó el suelo tanto física como químicamente.

6.2.1. UBICACIÓN DE LAS CALICATAS

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, es el único medio de exploración que puede entregar información confiable y posiblemente efectiva.

Figura 6.1. Ubicación de las calicatas.



Fuente: Elaboración propia.

- Es necesario registrar la ubicación y elevación de cada calicata, los que son numerados según la ubicación.
- La sección mínima recomendado es de 0.80 m por 1.00 m.
- Se dejó plataformas o escalones de 0.30 a 0.40m al cambio de estrato, esto para efectuar la determinación de la densidad del terreno.
- En cada calicata, se realizó una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

Las calicatas se hicieron en el tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma, un total de 11 calicatas distribuidas en 965m entre calicatas aproximadamente. Con un estudio geotécnico, se pudo observar que la calicata N° 11 ubicado en la progresiva 14+000 del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma, se encuentra en un suelo nada favorable por lo que se hizo los ensayos necesarios de laboratorio.

Figura 6.2. Calicata N°11 y una profundidad 1.5m.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de obtener las muestras, se transportó en un automóvil hasta el laboratorio LAB CONSULTO (laboratorio y control de calidad en obras civiles, estudio mecánica de suelos pavimentos y concreto).

6.3. GRUPO EXPERIMENTAL (SIN ESTABILIZADOR)

6.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- Con este análisis, se logra una clasificación de los distintos tamaños de áridos que conforman el suelo.
- Para este ensayo, se tomó una muestra de 944 gr, pasante la malla #4 con el fin de separar en finos y gravas.
- Para hacer el análisis granulométrico, se cuartea la muestra para que esta quede uniforme. Se hizo 4 veces el cuarteo y se tomó la muestra necesaria.

Figura 6.3. Cuarteo de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

- Clasificación de SUCS : CS – GC; arena arcillosa – grava arcillosa.
- Clasificación AASHTO : A – 4(0).
- La muestra presenta un 26.4% de fino pasante la malla 200, arena 58.4% y 15.3 de grava, color rosado claro material arcilla.
- El secado de la muestra se hizo en el horno a temperatura de 110°C para comenzar los ensayos respectivos para el proyecto de investigación.
- El material grava arcilloso se lavó con agua para tener mejor el resultado, ya que la arcilla estaba pegada a la grava y se sometió a esta actividad como se muestra en la siguiente (figura 8.4):

Figura 6.4. Peso de la muestra de cada tamiz y lavado de material arcilla.



Fuente: Elaboración propia.

- Luego de esta actividad, se realizó el secado de la muestra en el horno a 110°C durante 24 horas.
- Después del secado, se realizó el tamizado por las mallas requeridas para graficar la curva granulométrica.

Figura 6.5. Tamizado de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

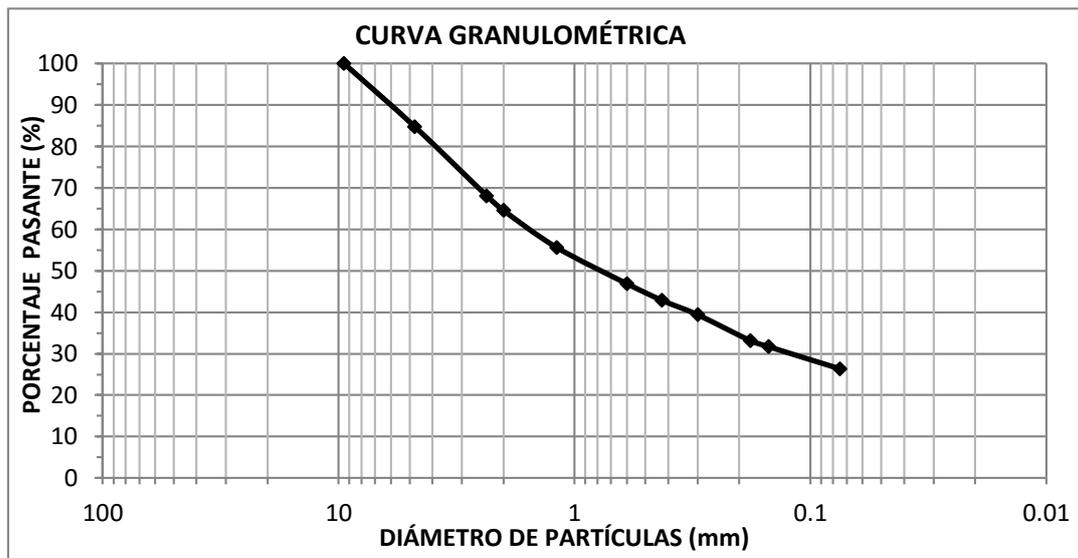
6.3.1.1. Resultados de la granulometría

Tabla 6.1. Graduación granulométrica del material C-11.

MALLA ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)
>3"		
3"	75.00	
2 1/2"	63.00	
2"	50.00	
1 1/2"	37.50	
1"	25.00	
3/4"	19.00	
1/2"	12.50	
3/8"	9.50	
N° 4	4.75	144.0
N° 8	2.36	156.8
N° 10	2.00	33.7
N° 16	1.19	84.4
N° 30	0.60	82.3
N° 40	0.425	38.1
N° 50	0.300	32.9
N° 80	0.180	58.5
N° 100	0.150	14.1
N° 200	0.075	50.2
FONDO		249.0

Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

Figura 6.6. Grafica de la curva granulométrica²⁰



Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

6.3.1.2. Resultados obtenidos según la clasificación de granulometría

Los resultados de laboratorio según la clasificación de granulometría nos dan lo siguiente resultados:

CLASIFICACIÓN SUCS : SC = ARENA ARCILLOSA CON GRAVA.

CLASIFICACIÓN AASHTO : A – 4(0).

6.3.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA O LÍMITES DE ATTERBERG

Cuando en un suelo hay presencia de minerales de arcilla, se debe estudiar la facilidad con la cual un suelo puede ser deformado; en este caso el material obtenido de la calicata 11 del tramo Ichupampa – Lari, provincia de Caylloma de la progresiva 14+00 se obtuvo material arcillar gravoso color marrón claro:

- Estos ensayos se realizaron según a la norma Manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), tal como se muestra en la figuras 6.8.
- Se toma la muestra y se tamiza por el tamiz N° 40, aproximadamente, 600gr.

²⁰ Fuente informativa LAB CONSULT INGENIERIA laboratorio y control de calidad en obras civiles estudio mecánica de suelos.

- Se agregó agua a la muestra de arcilla al cálculo.
- Una vez mezclado el agua con la muestra, se le dejó saturar, aproximadamente, 24 horas.

Figura 6.7. Mezcla de arcilla con agua para los ensayos L.L. y L.P.



Fuente: Elaboración propia.

- Una vez saturado el material, se hizo los ensayos de L.L y L.P.

A. Límite líquido

Es la mezcla de la arcilla con el agua para determinar su límite líquido.

Como ensayo de laboratorio, se trata de encontrar el más bajo contenido de humedad necesario para que dos mitades de pasta del suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm en el fondo del corte:

- Una vez amasado el material, se coloca en el aparato Casagrande al ras; se pasa con la manilla por el medio y se deja golpear.
- Primero se hizo para 17 golpes, se cerró y se llegó a juntar la muestra aproximadamente 13mm; es decir, está bien. La parte que se juntó se colocó en cápsulas; estas son pesadas junto con la muestra y enseguida llevadas al horno para la toma de dato: WMH, WMS.

WMH= peso de la muestra húmeda

WMS= peso de la muestra seca

Figura 6.8. Aparato Casagrande analizando el Límite Líquido.



Fuente: Elaboración propia.

- Segundo, para 25 golpes, se aumenta un poco de arcilla y se hace el mismo procedimiento hasta juntar 12mm; esta es lo reglamentario. Se hace un corte en la parte que se juntó y se coloca en cápsulas; las cápsulas son pesadas junto con el muestra y enseguida llevadas al horno para la toma de dato: WMH, WMS.
- Tercero, para 33 golpes, se aumenta un poco de arcilla y se sigue el mismo procedimiento; esta vez llegó a juntarse 1.3cm, está en lo reglamentario. Se hace un corte en la parte que se juntó y se coloca en cápsulas; las cápsulas son pesadas junto con la muestra y enseguida llevadas al horno, se toma como dato: WMH, WMS.
-

Figura 6.9. Toma de notas del pesado de la cápsula + muestra.



Fuente: Elaboración propia.

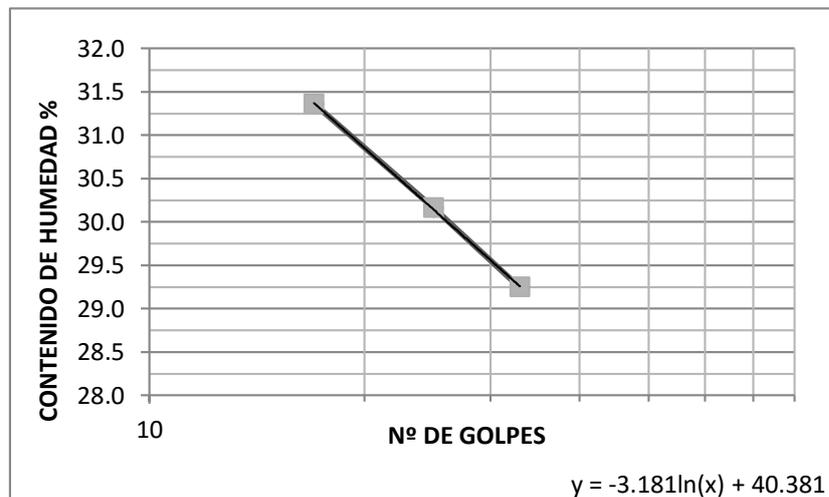
Tabla 6.2. Determinación del límite líquido según la norma ASTM D-4318

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	49.99	52.8	49.8
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	44.36	46.9	43.9
Peso de la cápsula	(g)	25.11	27.5	25.2
Peso del suelo seco	(g)	19.3	19.4	18.8
Peso del agua	(g)	5.6	5.9	5.9
Contenido de Humedad	(%)	29.25	30.16	31.36
Número de Golpes	(N)	33	25	17

Fuente: Elaboración norma ASTM D-4318.

Límite Líquido = 30.1%

Figura 6.10. Contenido de humedad vs. N° de golpes.



Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

B. Límite plástico

Es el contenido de agua en porcentaje para el cual el suelo se encuentra en el límite entre el estado semisólido y el estado plástico o se expresa como el mínimo porcentaje de agua para que el suelo no se resquebraje y sea trabajable.

- En el laboratorio, se toma la misma muestra que se tomó para hacer el límite líquido; se hizo 6 bolitas, para luego hacer barritas cilíndricas de unos 3 mm menos de diámetro, aproximadamente. Cuando comienza a agrietarse es cuando las barritas alcanzan su límite plástico.

Figura 6.11. Barritas cilíndricas 3mm y cápsulas en horno a 110°C.



Fuente: Elaboración propia.

- Se toma la muestra de las 2 barritas y se pone en cápsulas. Se hace 3 puntos y se repetirá 3 veces, siempre haciendo la misma metodología que la primera.
- Se tomó peso de la cápsula de barritas cilíndricas y se llevó al horno para que estas se sequen, es decir, WMH y WMS.

WMH= peso de la muestra húmeda.

WMS= peso de la muestra seca.

Tabla 6.3. Determinación del límite plástico, norma ASTM D-4318.

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	29.09	37.58	34.08
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	28.14	36.33	32.89
Peso de la cápsula	(g)	23.53	29.74	26.89
Peso del suelo seco	(g)	4.61	6.59	6.00
Peso del agua	(g)	0.95	1.25	1.19
Límite Plástico	(%)	20.6	19.0	19.8

Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

Límite Plástico = 19.8%

C. Índice plástico

Indica al grado de plasticidad del suelo. Cuando el índice de plasticidad es $IP > 10$, entonces, los suelos se caracterizarán por su plasticidad; cuanto más alto es este valor, el suelo será más plástico y más débil.

El IP es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución.

Tabla 6.4. Determinación del índice de plasticidad.

Límite Líquido	30.1%
Límite Plástico	19.8%
Índice de Plasticidad Ip	10.3%

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. PROCTOR MODIFICADO

Es un ensayo de compactación que tiene como finalidad principal obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación. Esta humedad óptima de compactación es aquella humedad (porcentaje de agua) para la cual la densidad del suelo es máxima; es decir, qué cantidad de agua será la que se añadirá para poder compactar al máximo con una energía concreta.

Este ensayo se realizó con el método A; se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°4 (4.57mm)

- Se tomó muestras para 5 puntos de 3 kg c/d uno, luego se le pone en bolsas para que no pierda su humedad.
- La muestra de 3 kg se mezclará con agua de 3%, 5%, 7% y 9% respectivamente, es decir:

$$3000\text{gr} \times 0.01\text{ml} = 30\text{ml de agua para cada porcentaje.}$$

Tabla 6.5. Cantidad de agua para cada muestra de proctor modificado.

Muestra	1	2	3	4
%	3%	5%	7%	9%
Peso (kg)	3kg	3kg	3kg	3kg
Agua	90ml	150ml	210ml	270ml

Fuente: Elaboración propia.

- Se mezcla con la cantidad de agua con el porcentaje propuesto para cada muestra de 3%, 5%, 7% y 9%.
- Se deja saturar la muestra en bolsas para que no pierda su humedad durante 24 h aproximadamente.

Figura 6.12. Mezclado de muestra-agua, saturado de muestra por 24 horas en bolsas.



Fuente: Elaboración propia.

Características del molde de Proctor Modificado

- Peso del molde: 4 470 gr
 - Dimensiones: diámetro=10.15cm, altura= 11.67 cm
 - Peso martillo: 4.54 kg
 - Número de capas: 5
 - Golpes por capa: 25
- El suelo es colocado en 5 capas iguales, dentro de un molde de dimensiones ya especificadas; cada una de las capas es compactada en 25 golpes con un pisón de 10 libras (44.5N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm) sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación.
 - Se hizo el mismo procedimiento en las 4 capas restantes, para obtener resultados satisfactorios de ingeniería.
 - El procedimiento es el mismo para los 3 puntos restantes es decir, 5%, 7% y 9%; cada punto se grafica para luego hallar el contenido de humedad óptima (CHO), y densidad máxima seca (DMS).

- Se toma la muestra una vez compactada, se pesa en la balanza y se lleva al horno de 110°C de temperatura; esto se repite en todos los puntos y se toma nota de WMH y WMS de cada ensayo.



Figura 6.13. Compactación del Proctor en 5 capas proporcionadas.



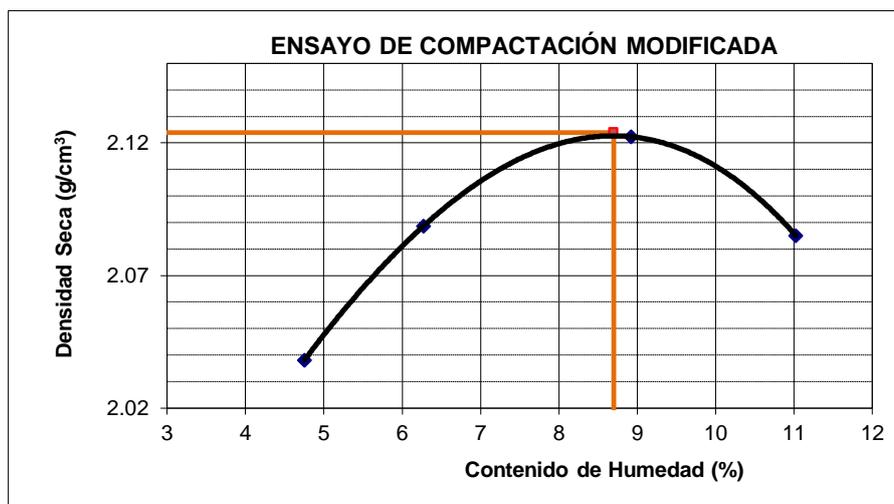
Fuente: Elaboración propia

6.3.3.1. Resultados obtenidos del ensayo de proctor modificado

Densidad máxima seca (DMS) = 2.1240 g/cm³

Contenido de humedad óptima (CHO) = 8.7%

Figura 6.14. Curva de Densidad Máxima Seca vs. Contenido Humedad óptima.



Fuente: Lab consult ingeniería.

Figura 6.15. Toma de nota del material compactado.



Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

6.3.4. VALOR DE SOPORTE RELATIVO (CBR)

El objetivo principal para realizar este ensayo es determinar la resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes; además, evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub base y base, bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

6.3.4.1. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE CBR

- Se tomó la muestra y se llevó al horno para saber cuánto de humedad tiene el suelo; se tomó nota de WMH y WMS, nos dio como resultado 1.97% de humedad; es decir, la muestra natural tuvo poca humedad.
- Se tomó 3 muestras de 6000 gr c/u, para obtener 3 resultados.
- Una vez hallado el contenido de humedad óptima de 8.7%, se le resta 1.97% que es la humedad del suelo natural.
 $8.7\% - 1.97\% = 6.73\%$
 $6.73\% * 6000 / 100 = 403.8$ ml de agua.
- Se le agregó 403.8ml de agua a cada muestra de 6000 gr, se le mezcló y se dejó en bolsas para su saturación.

Figura 6.16. Preparación y humedecimiento para realizar el ensayo de CBR.



Fuente: Elaboración propia.

- Preparación de moldes para la compactación de 12, 25 y 56 golpes respectivamente.
- Toma de muestra WMH y WMS.

Figura 6.17. Compactación de la muestra en el molde y peso de la muestra más molde.



Fuente: Elaboración propia.

- La muestra más molde fueron sumergidos en agua durante 96 horas, luego se hizo correr el CBR y lectura de los resultados.

Figura 6.18. Molde de 12, 25 y 56 golpes y muestra sumergidos en agua.



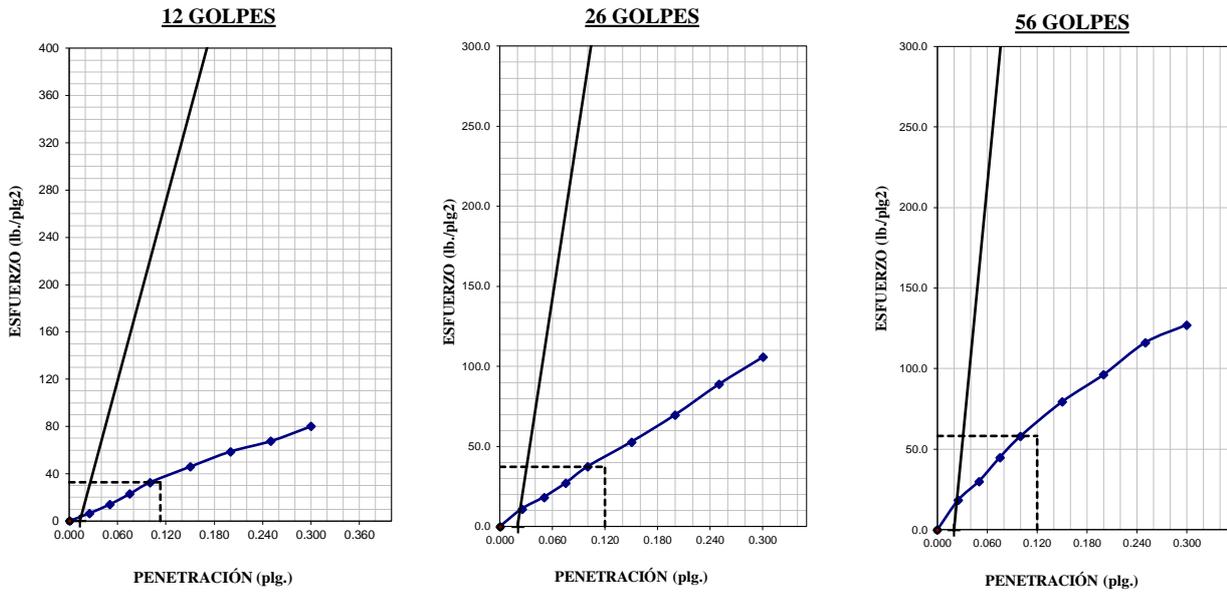
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.19. Lectura de CBR.



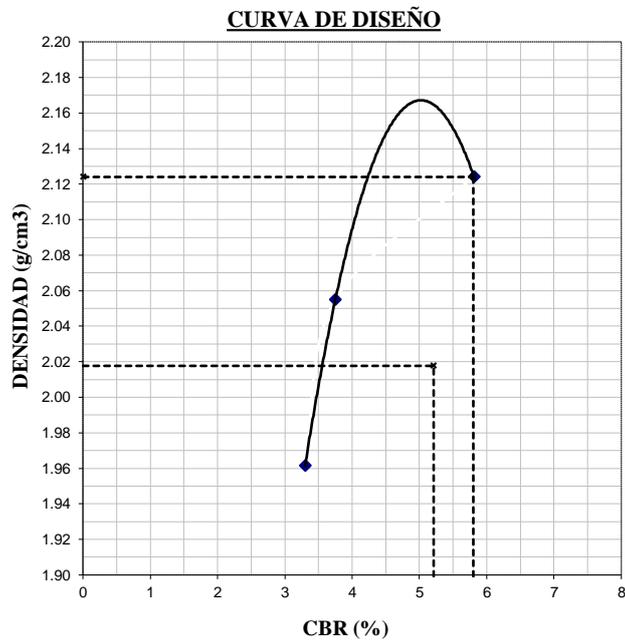
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.20. Esfuerzo vs. penetración



Fuente: Elaboración Lab consult ingeniería.

Figura 6.21. Densidad seca vs. CBR.



Fuente: Elaboración Lab consult ingeniería.

Tabla 6.6. Resultados del ensayo CBR.

Característica	valores y resultados
Densidad máxima seca del P.M.	2.124 gr/cm ³
Contenido de humedad óptima del P.M.	8.7%
Densidad máxima seca al 100%	2.124 gr/cm ³
CBR al 100%	5.8%
Densidad máxima seca al 95%	2.018 gr/cm ³
CBR al 95%	5.2%

6.4. GRUPO EXPERIMENTAL CON ESTABILIZADOR (PERMA-ZYME 22X)

Esta muestra sometida con estabilizador de Perma-Zyme 22X, permite observar las ventajas y desventajas de este producto estabilizante aplicado en nuestra muestra.

Calicata 11, progresiva 14+000 de tramo Ichupampa – Lari (con aditivo)

Ensayos a realizar:

- Límite líquido
- Límite plástico
- Proctor modificado
- CBR



6.4.1. DOSIFICACIÓN DEL AGENTE ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X

Según las especificaciones del producto, se dosifica a razón de 1 litro por cada 33m³ de cada material compactado mezclando el agua necesaria para obtener la humedad óptima para compactar.

✓ Muestra equivalente de 1 L de estabilizador para 33m³ de material
Muestra experimental de la C-11, progresiva 14+000 tramo Ichupampa – Lari

6.4.2. PROCTOR MODIFICADO Y CBR

Cálculo empleado para 33m³ de suelo compactado referido al proctor modificado de la muestra de control de la C-11 del tramo Ichupampa – Lari.

- ❖ Densidad máxima seca = 2.124 gr/cm³
- ❖ Contenido de humedad óptimo = 8.7%

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ m}^3 \text{ de suelo compactado} \text{ ----- } 2124 \text{ kg suelo suelto} \\
 X \text{ ----- } 6 \text{ kg suelo suelto} \\
 X = 2.8249 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ de suelo compactado.}
 \end{array}$$

Con esta cantidad de suelo compactado, se halla la cantidad necesaria de aditivo. Se trabaja haciendo equivalencias, pues es la forma en la que se conoce la cantidad exacta de estabilizador.

a.1) 1 L de estabilizador por 33 m³ de material: Se halla la cantidad de aditivo que se necesita para nuestro suelo compactado, según las especificaciones técnicas del producto.

Se trabaja haciendo equivalencias y/o haciendo una regla de tres simple, ya que la cantidad de estabilizador es mínima.

$$\begin{array}{r}
 33 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} \text{ ----- } 1000 \text{ ml aditivo} \\
 2.8249 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ de suelo compactado} \text{ ----- } X \\
 X = 0.087 \text{ ml de aditivo}
 \end{array}$$

Densidad del Perma-Zyme 22X = 1.08 gr/ml

Entonces, el peso del aditivo que se añade es:

$$P_{\text{adit}} = 1.08 \text{ gr/ml} * 0.087 \text{ ml} = 0.095 \text{ gr} \approx 0.10 \text{ gr. estabilizador}$$

6.4.3. LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

Los datos del ensayo proctor modificado, como son el contenido de humedad óptimo según la dosificación del aditivo, donde este último fue calculado por equivalencias en cada prueba será la solución para la saturación de la muestra del material objeto de estos ensayos; para eso, tomamos en cuenta el peso del material suelto que se usó para el ensayo del proctor modificado.

6.5. ENSAYOS CON ADITIVO PERMA ZYME 22X

Para los análisis de laboratorio con estabilizador perma-zyme22X, se creó conveniente evaluar el suelo, física y luego químicamente, y los resultados esperados.

Figura 6.22. Envase de Perma Zyme 22X de 212 Lts para 6 996 m³.



Fuente: Elaboración propia.

6.5.1. UBICACIÓN DE CALICATA

El tipo de muestra se ubica en la calicata N° 11, progresiva 14+000 del tramo Ichupampa Lari – provincia de Caylloma, Arequipa y tiene las siguientes propiedades físicas y mecánicas:

a. Límite líquido (L.L.)

A este ensayo se le adicionó el estabilizador Perma Zyme-22X

- Los ensayos se realizaron según la norma manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- Se tomó la muestra y se tamizó por el tamiz N° 40, aproximadamente, 600gr. Una vez mezclada el agua con 0.11 ml de estabilizador, se le vertió a la muestra y se le dejó saturar, aproximadamente, 24 horas.

Figura 6.23. Aplicación de PZ-22X en agua y aparato Casagrande.



Fuente: Elaboración propia.

- Haciendo uso de una jeringa, calculamos la cantidad de PZ22X que debe agregarse a la muestra y continuamos con el procedimiento mencionado anteriormente.

Tabla 6.7. Determinación del límite líquido aplicando estabilizador Perma Zyme 22X. ²¹

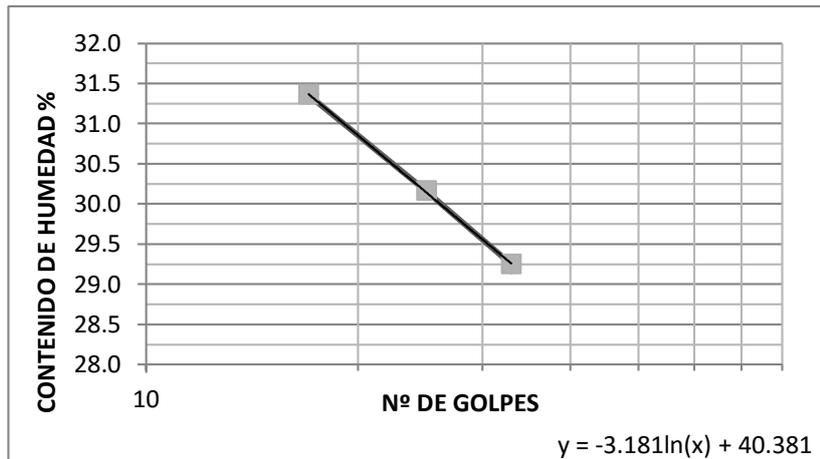
Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	43.64	51.3	57.3
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	39.72	46.1	51.0
Peso de la cápsula	(g)	25.10	27.5	29.7
Peso del suelo seco	(g)	14.6	18.6	21.3
Peso del agua	(g)	3.9	5.2	6.3
Contenido de humedad	(%)	26.81	27.96	29.68
Número de Golpes	(N)	33	25	17

Fuente: Elaboración propia.

Límite líquido = 28%

²¹ Fuente informativa LAB CONSULT INGENIERIA laboratorio y control de calidad en obras civiles estudio mecánica de suelos.

Figura 6.24. Contenido de humedad vs. N° de golpes.²²



Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

b. Límite plástico

Para el límite plástico, se le agrega el aditivo PZ.22X a la muestra para luego hacer el ensayo respectivo:

- En laboratorio, se toma la misma muestra que se tomó para hacer el límite líquido. Se hizo 6 bolitas para luego hacer barritas cilíndricas de 3mm aproximadamente de menos diámetro cada vez, cuando comienza a agrietarse es cuando las barritas llegan a su límite plástico.

Figura 6.25. Barritas cilíndricas 3mm y cápsulas en horno a 110°C.



Fuente: Elaboración propia.

²² Fuente informativa LAB CONSULT INGENIERIA laboratorio y control de calidad en obras civiles estudio mecánica de suelos.

- Se tomó la muestra de las 2 barritas y se colocó en cápsulas; se hizo 3 puntos y se repitió 3 veces siempre haciendo la misma metodología que la primera.
- Se pesó la cápsula de barritas cilíndricas y se llevó al horno para que estas se sequen; es decir, WMH y WMS.

WMH= peso de la muestra húmeda.

WMS= peso de la muestra seca.

Tabla 6.8. Determinación del Límite Plástico aplicando estabilizador Perma Zyme 22X.²³

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	27.55	29.44	32.05
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	26.94	28.76	31.23
Peso de la cápsula	(g)	23.53	25.18	26.89
Peso del suelo seco	(g)	3.41	3.58	4.34
Peso del agua	(g)	0.61	0.68	0.82
Límite Plástico	(%)	17.9	19.0	18.9

Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

Límite plástico = 18.6%

Límite Líquido	28.0%
Límite Plástico	18.6%
Índice de Plasticidad Ip	9.4%

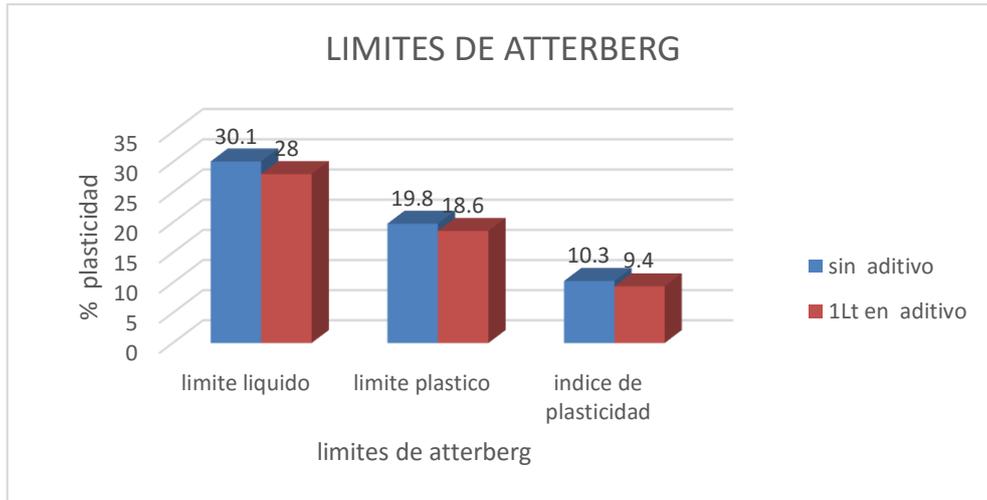
Tabla 6.9. Resumen de los resultados del límites de A. Atterberg.

Perma Zyme 22X	Sin Estabilizador	Con Estabilizador
Límite líquido	30.1%	28.0%
Límite plástico	19.8%	18.6%
Índice de plasticidad	10.3%	9.4%

Fuente: Elaboración propia.

²³ Fuente informativa LAB CONSULT INGENIERIA laboratorio y control de calidad en obras civiles estudio mecánica de suelos.

Figura 6.26. Histograma de resultados del índice de plasticidad



Fuente: Elaboración propia.

6.5.1.1. Proctor modificado con aditivo estabilizante (PZ-22X)

Para este ensayo de Proctor Modificado, se le agrega el producto Perma Zyme 22X, que tiene como finalidad principal obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación.

- Se tomó muestras para 4 puntos de 3 kg c/d uno, se repite el mismo procedimiento del Proctor Modificado sin aditivo.
- La muestra de 3 kg se mezcló con agua de 3%, 5%, 7% y 9% respectivamente, es decir:

$3000\text{gr} \times 0.01\text{ml} = 30\text{ml}$ de agua para cada porcentaje.

Tabla 6.10. Cantidad de agua para c/d muestra de Proctor Modificado.

Muestra	1	2	3	4
%	3%	5%	7%	9%
Peso	3kg	3kg	3kg	3kg
Agua	90ml	150ml	210ml	270ml
Estabilizador	0.10ml	0.10ml	0.10ml	0.10ml

Fuente: Elaboración propia.

- Se le agregó el estabilizador Perma Zyme 22X a la cantidad de agua hallada con el porcentaje propuesto para cada muestra de 3%, 5%, 7% y 9%. Se procedió al mezclado con la muestra del suelo.
- Se deja saturar la muestra en bolsas para que no pierda su humedad durante 24 h aproximadamente.

Figura 6.27. Aplicando el estabilizador PZ-22X en agua



Fuente: Elaboración propia.

- Mismo procedimiento del proctor modificado, el suelo es colocado en 5 capas iguales, dentro de un molde de ciertas dimensiones ya especificadas. Cada una de las capas, es compactada en 25 golpes con un pisón de 10 lbs (44.5N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm) sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente 56000 pie-lbf/pie³.
- Se aplicó el mismo procedimiento en las 4 capas restantes, para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería.
- Se hizo lo mismo para los 3 puntos restantes, cada punto se graficó para luego hallar el contenido de humedad óptima (CHO), densidad máxima seca (DMS).
- Se tomó la muestra una vez compactada, se pesó en la balanza y se llevó al horno de 110°C de temperatura; esto se repitió para todos los puntos tomó nota del WMH y WMS de cada ensayo.

Figura 6.28. Colocación de muestra en proporciones iguales y Compactación de Proctor Modificado.



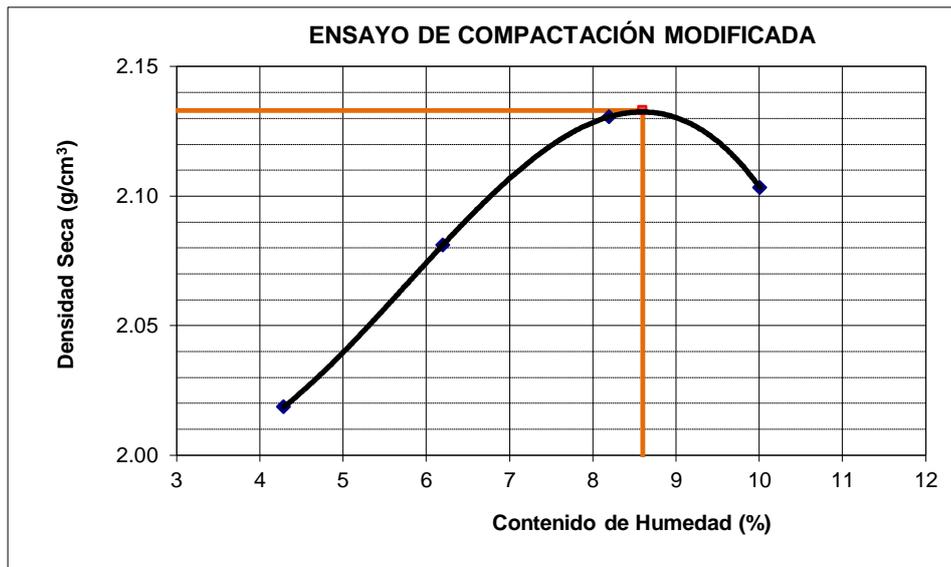
Fuente: Elaboración propia.

6.5.1.2. Resultados obtenidos del ensayo de proctor modificado

Densidad máxima seca (DMS) = 2.133

Contenido humedad óptima (CHO) = 8.6%

Figura 6.29. Densidad máxima seca vs. contenido de humedad óptima



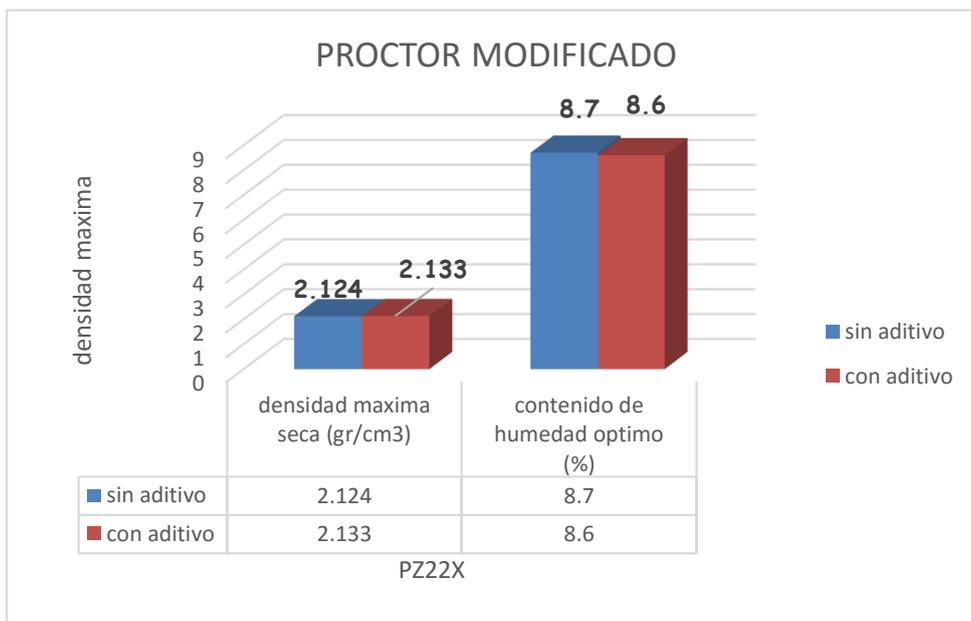
Fuente: Laboratorio LAB SONSULT.

Tabla 6.11. Resumen de resultados de Proctor Modificado.

Perma Zyme 22X	sin estabilizador	con estabilizador
Densidad máxima seca (gr/cm ³)	2.124	2.133
Contenido de humedad óptimo (%)	8.7%	8.6%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.30. Histograma de resultados de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo.



Fuente: Elaboración propia.

6.5.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CBR

Al realizar este ensayo con PZ-22X, se tomó en cuenta la guía de laboratorio de este producto.

- Al producto estabilizante PZ-22X, se le agregó 10 ml de agua, para mezclar con la muestra y saturar por 24 horas.
- Se tomó 3 muestras de 6000 gr c/u para obtener 3 resultados.

- Una vez hallado el contenido de humedad óptima de 8.6%, se le restó 1.7% que es la humedad del suelo natural.

$$8.6\% - 1.7\% = 6.9\%$$

$$6.9\% * 6000 / 100 = 414 \text{ ml de agua.}$$

- Se le agregó 414 ml de agua a cada muestra de 6000 gr, se mezcló y se dejó en bolsas para su saturación.

Figura 6.31. Producto estabilizante PZ-22X diluyendo en agua.



Fuente: Elaboración propia.

- Preparación de moldes para la compactación de 12, 25 y 56 golpes respectivamente.
- Enrase del molde y la colocación del disco.
- Toma de muestra WMH y WMS.

Figura 6.32. Enrazado de la muestra en molde para su compactación.



Fuente: Elaboración propia.

- Se tomó nota del peso del molde + muestra húmeda.
- La muestra más molde fue sumergido en agua durante 96 horas, luego se hizo correr el CBR y lectura de los resultados.

Figura 6.33. Molde de 12, 25 y 56 golpes y muestra sumergido en agua.



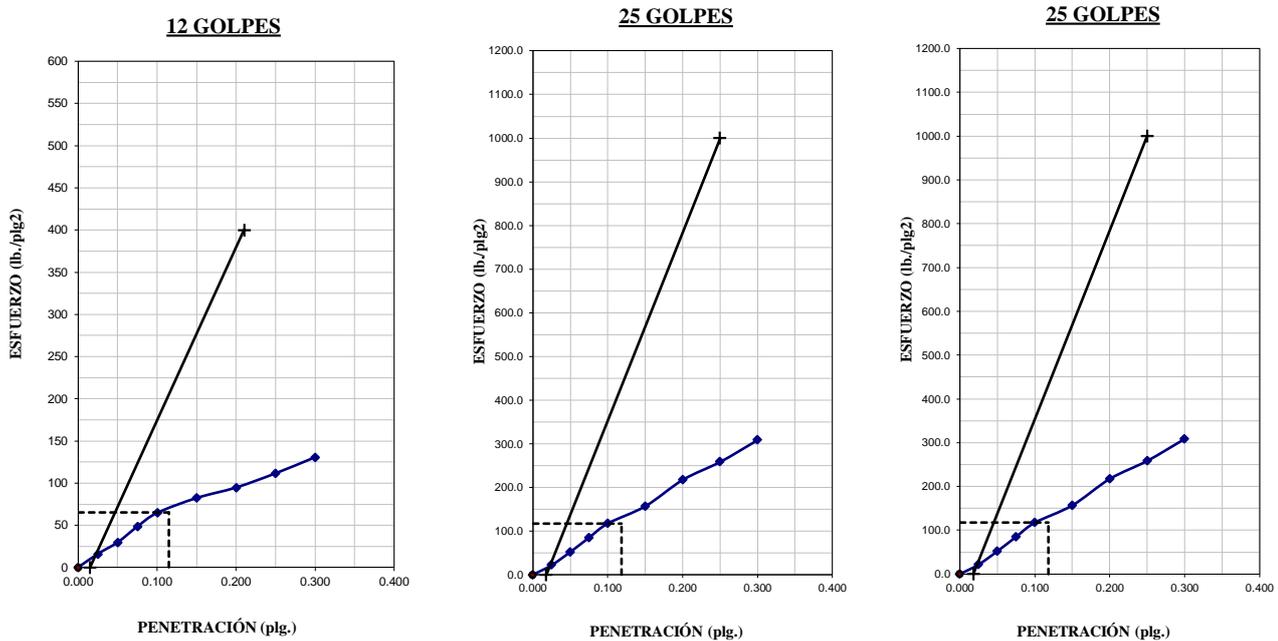
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.34. Lectura del CBR y muestras sometidos a prueba de carga.



Fuente: Elaboración propia.

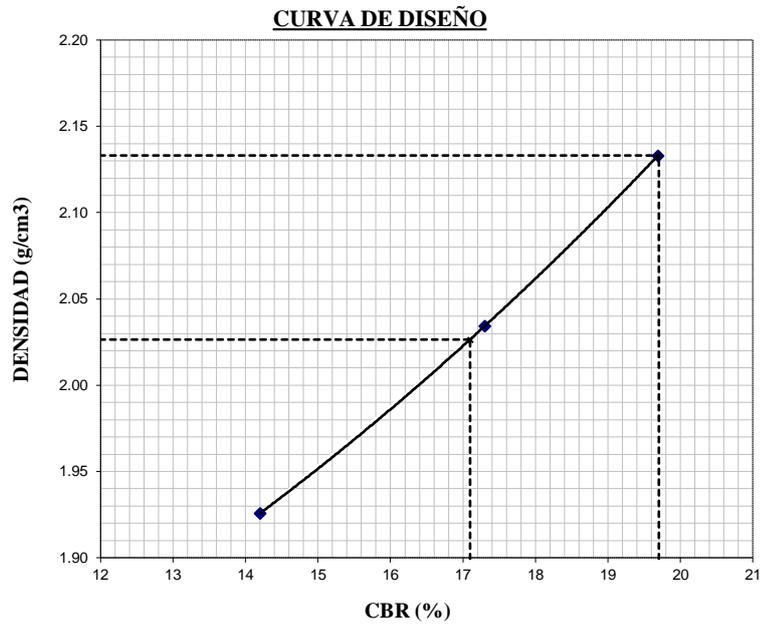
Figura 6.35. Esfuerzo vs. penetración.²⁴



Fuente: Elaboración Lab consult ingeniería..

²⁴ Fuente informativa LAB CONSULT INGENIERIA laboratorio y control de calidad en obras civiles estudio mecánica de suelos.

Figura 6.36. CBR vs. Densidad seca.



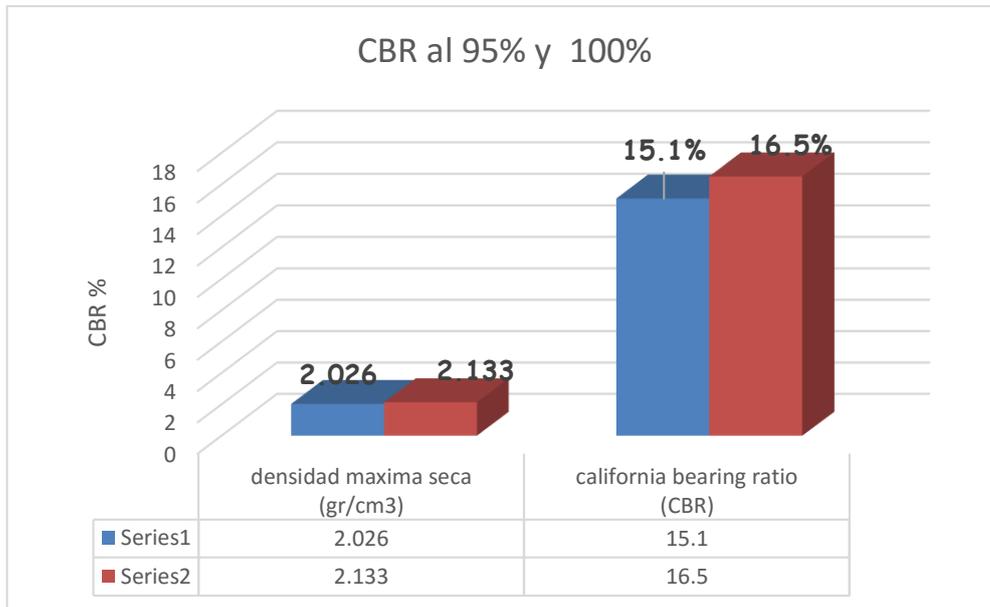
Fuente: Elaboración Lab consult ingeniería..

Tabla 6.12. Resumen de resultados del ensayo de CBR

Característica	valores y resultados
Densidad máxima seca del P.M.	2.133 gr/cm ³
Contenido de humedad óptima del P.M.	8.6%
Densidad máxima seca al 100%	2.133 gr/cm ³
CBR al 100%	16.5%
Densidad máxima seca al 95%	2.026 gr/cm ³
CBR al 95%	15.1%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.37. Histograma de CBR al 95% y 100%.



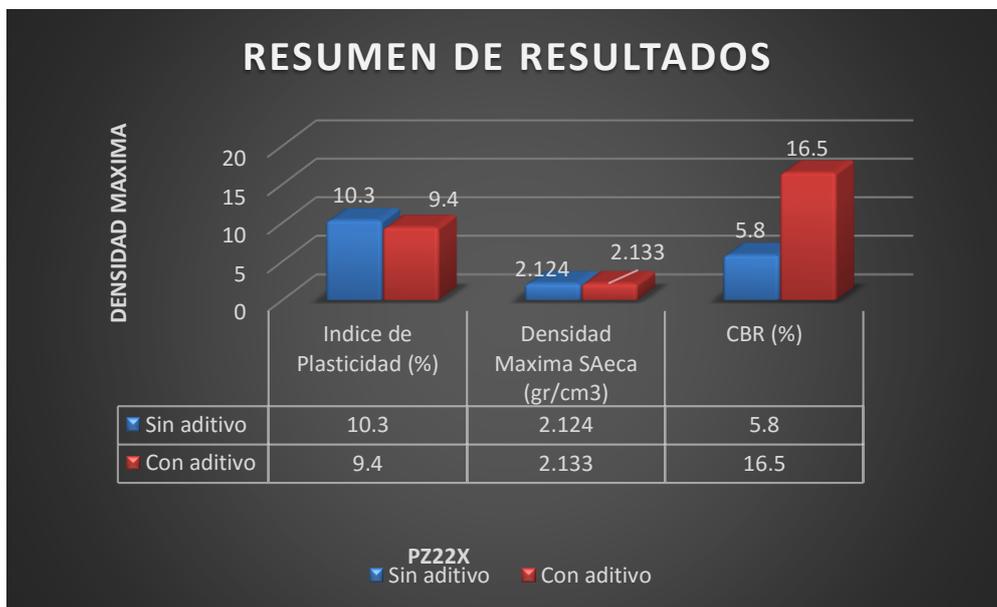
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.13. Resumen de resultados.

Perma Zyme 22X	sin estabilizador	con estabilizador
ÍNDICE DE PLASTICIIDAD (IP)	10.3%	9.4%
DENSIDAD MÁXIMA SECA (DMS)	2.124 gr/cm3	2.133 gr/cm3
CBR	5.8 %	16.5 %

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.38. Histograma del resultado de CBR con estabilizador y sin estabilizador.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ESTABILIZADORES

7.1. CONSIDERACIONES

En el presente capítulo, se evalúa los costos de los estabilizadores con cloruro de calcio, Terra zyme11x, Perma Zyme 11x y Perma Zyme 22x de una carpeta de rodadura de 900 m de longitud considerado como un tramo de prueba; para luego comparar los costos, independientemente. Para tal efecto, se cuantifican los costos para mejorar la subrasante de la trocha carrozable. La evaluación de los costos unitarios por producto se realizó considerando los casos más favorables y menos favorables para cada uno de los productos para una carpeta de espesor igual a 15 centímetros

(e = 0,15m) y ancho promedio de 6 metros.

Las premisas a tenerse en cuenta en la evaluación económica entre las alternativas con aditivo (Cloruro de Calcio, Terra Zyme11x, Perma Zyme 11x y Perma Zyme 22x) son:

- Se realiza una comparación de los precios de insumos y análisis de los precios unitarios, rendimiento de cada estabilizar por m³.

- El sistema constructivo de toda la carpeta (subrasante) se desarrolla de forma óptima, los materiales usados están sujetos a norma.
- La dosificación con cada uno de los agentes estabilizadores fue la adecuada (sujeto a norma técnica, manual de aplicación del producto y tipo de suelo).

Para determinar los costos de mejora de la sub rasante de la trocha carrozable y de operación de las alternativas propuestas:

- ✓ Cloruro de calcio
- ✓ Terra Zyme 11x
- ✓ Perma Zyme 11x
- ✓ Perma Zyme 22x

El escenario fue el mismo para todos los casos. En el caso de los estabilizadores mencionados, para la determinación de los costos, se tomó en cuenta los rendimientos, mano de obra, maquinarias y costos unitarios por partidas.

Dimensiones:

Longitud	=	900 m
Ancho	=	6 m
Espesor	=	0,15 m
Área	=	5400 m ²
Volumen	=	810 m ³

7.2. GENERALIDADES

Este capítulo tiene como finalidad principal cuantificar en soles el probable gasto en la ejecución del proyecto de mejorar la subrasante de la trocha carrozable, para que pueda alcanzar un CBR óptimo y pueda ser asfaltada. Es determinante el presupuesto de los diferentes estabilizadores y cómo varía cada agente estabilizador para elegir la que mejor resultado nos ofrezca.

El análisis económico realizado tanto al cloruro de sodio como las alternativas de los productos estabilizantes refleja el valor anual que demanda o demandaría (de tomar algún producto alternativo en reemplazo del actualmente utilizado por Andina) el estabilizado del camino industrial.

DATOS GENERALES

TEMA : ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE : 0.15 m
 ANCHO : 6 m
 LARGO : 900 m
 DOSIFICACIÓN : 30 Kg x m3
 ÁREA TOTAL : 5400 m2
 VOLUMEN A ESTABILIZAR : 810 m3
 ESTABILIZADOR : Cloruro de Calcio (CaCl2)
 PRESUPUESTO : NO INCLUYE IGV

Presupuesto

Presupuesto **0201004** **TESIS DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA - PRODUCTO ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ, RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5 000
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2 000	2 000
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3 000	3 000
02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN				4 000
02.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4 000	4 000
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACIÓN DE SUB RASANTE e= 0.15m				51 343.2
03.01	PREPARACIÓN DEL ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO	m3	810.00	43.52	35 251.2
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	5 400	2.98	16 092
	ENSAYOS DE LABORATORIO				2 000
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2 000	2 000
	Costo Directo				62 343.2

SON : SESENTA Y DOS MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y TRES Y 20/100 NUEVOS SOLES

DATOS GENERALES

TEMA : ANÁLISIS COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE
DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m
ANCHO	:	6 m
DOSIFICACIÓN	:	27.5 m ³ x Lt
LARGO	:	900 m
ÁREA TOTAL	:	5400 m ²
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m ³
ESTABILIZADOR	:	TERRA-ZYME11X (TZ-11X)
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV

Presupuesto

Presupuesto **0201003** TESIS DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO
EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA -

PRODUCTO **ESTABILIZADOR TERRA ZYME 11X**

Ciente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ, RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5 000
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2 000	2 000
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3 000	3 000
02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN				4,000.00
02.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4 000	4 000
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE e= 0.15m				37 000.8
03.01	PREPARACIÓN DEL ESTABILIZANTE TERRA ZZYME-11X	m3	810.00	24.48	19 828.8
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	5 400	3.18	17 172
	ENSAYOS DE LABORAORIO				2 000
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2 000	2 000
	Costo Directo				48 000.8

SON : CUARENTA Y OCHO MIL Y 80/100 NUEVOS SOLES

DATOS GENERALES

TEMA : ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m	
ANCHO	:	6 m	
LARGO	:	900 m	
DOSIFICACIÓN	:	30 m ³ x Lt	
ÁREA TOTAL	:	5400 m ²	
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m ³	
ESTABILIZADOR	:	PERMA-ZYME11X (PZ-11X)	
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV	

Presupuesto

Presupuesto **TESIS DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA -**

PRODUCTO **ESTABILIZADOR PERMA ZYME 11X**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ, RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5 000
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2 000	2 000
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3 000	3 000
02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN				4 000
02.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4 000	4 000
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE e= 0.15m				33 563.7
03.01	PREPARACIÓN DEL ESTABILIZADOR PERMA ZYME-11X	m ³	810.00	21.17	17 147.7
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m ²	5 400	3.04	16 416
	ENSAYOS DE LABORAORIO				2 000
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2 000	2 000
	Costo Directo				44 563.7

SON : CUARENTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS SESENTA Y TRES Y 70/100 NUEVOS SOLES

DATOS GENERALES

TEMA : ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUB RASANTE
DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m
ANCHO	:	6 m
LARGO	:	900 m
ÁREA TOTAL	:	5400 m ²
DOSIFICACIÓN	:	33m ³ x Lt
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m ³
ESTABILIZADOR	:	PERMA-ZYME 22X
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV

Presupuesto

Presupues **0201001** **TESIS DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROSABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA - AREQUIPA**

PRODUCTO **ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ, RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA - ICHUPAMPA**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5 000
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	100	2 000	2 000
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	100	3 000	3 000
02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN				4 000
02.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y	glb	100	4 000	4 000
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE e= 0.15m				30 707.1
03.01	PREPARACIÓN DEL ESTABILIZADOR PERMA-ZYME 22X	m3	810.00	18.71	15 155.1
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	5 400	2.88	15 552
04	ENSAYOS DE LABORATORIO				2 000
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	100	2 000	2 000
	Costo Directo				41 707.1

SON : CUARENTA Y UN MIL SETECIENTOS SIETE Y 10/100 NUEVOS SOLES

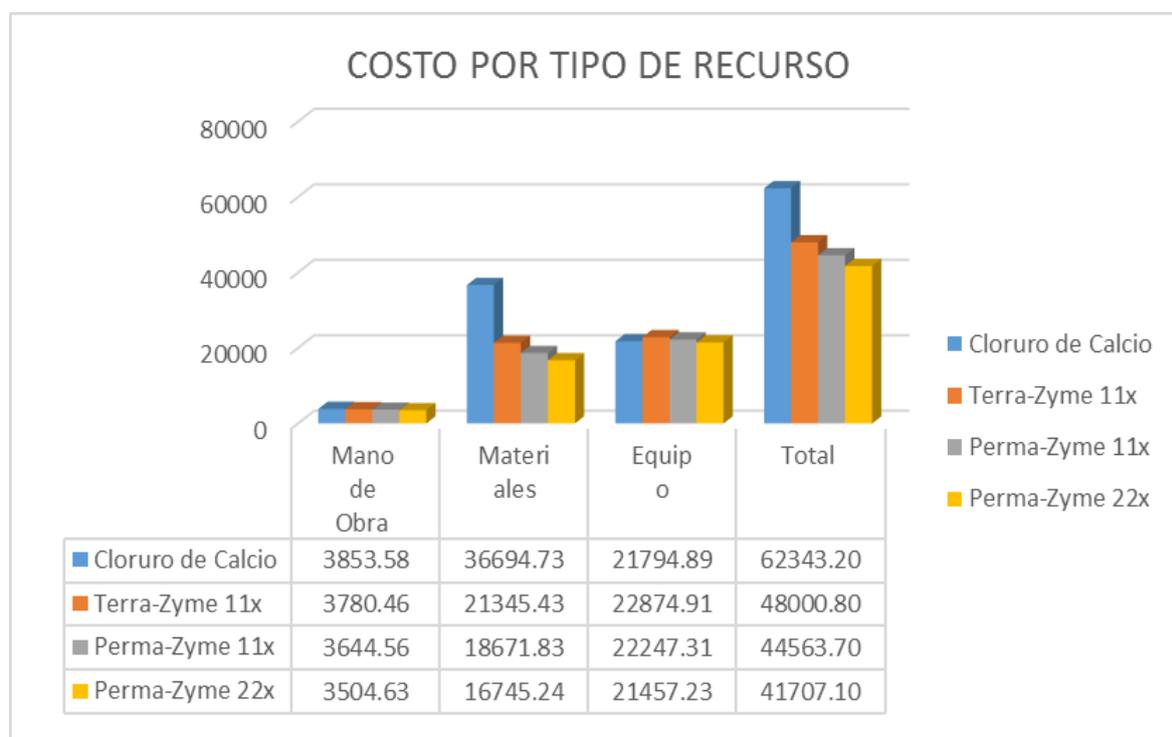
7.3. COMPARACIÓN DE COSTOS POR TIPO DE RECURSO

Tabla 7.1. Comparación de costos por tipo de recurso: SIN ESTABILIZADOR, CaCl₂, TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X.

Estabilizador	Mano de Obra	Materiales	Equipo	Total
Cloruro de Calcio	3 853.58	36 694.73	21 794.89	62 343.20
Terra-Zyme 11x	3 780.46	21 346.43	22 874.91	48 000.80
Perma-Zyme 11x	3 644.56	18 671.83	22 247.31	44 563.70
Perma-Zyme 22x	3 504.63	16 745.24	21 457.23	41 707.10

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.1. Histograma de resultados de costo por tipo de recurso.



Fuente: Elaboración propia.

7.4. COMPARACIÓN DE COSTOS POR CADA ESTABILIZADOR

Tabla 7.2. Comparación de costos de las alternativas de estabilizadores: SIN ESTABILIZADOR, CaCl₂, TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X.

ESTABILIZADOR	TOTAL
Cloruro de calcio	S/. 62 343.20
Terra-Zyme 11x	S/. 48 000.80
Perma-Zyme 11x	S/. 44 563.70
Perma-Zyme 22x	S/. 41 707.10

Figura 7.2. Histograma de resultados por cada estabilizador.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- PRIMERA** : Las pruebas realizadas en laboratorio LAB CONSLT de control de calidad en obras civiles, demuestran que existe una tendencia a mejorar las propiedades iniciales del suelo. Aumentando CBR de un 5.8% a un 16.5%; es decir, clasifica a una subrasante buena según la tabla 2.5. del MTC.
- SEGUNDA** : Del análisis comparativo de estabilizadores de CaCl₂, TZ-11X, PZ-11X, PZ-22X, se pudo comprobar que todos actúan como estabilizantes, pero la de mejor resultado es la de PZ-22X en cuanto a su aplicación y mejor aún como estabilizador de suelo, mejorando las propiedades físicas y mecánicas de la trocha carrozable; es por ello que se tomó este estabilizador para los ensayos respectivos.
- TERCERA** : Haciendo los ensayos de laboratorio se observó que se redujo el índice de plasticidad de 10.3% a un 9.4%, esto demuestra que el estabilizador Perma Zyme22X actúa como catalizador, reduciendo los espacios vacíos convirtiéndolo en un suelo compacto.
- CUARTA** : Haciendo los ensayos en laboratorio de proctor modificado, se pudo comprobar que aumentó la densidad máxima seca (DMS) de 2.124 gr/cm³ a 2.133 gr/cm³; es decir, impermeabiliza y reduce todo material que contenga un porcentaje de arcilla.
- QUINTA** : Reduce la permeabilidad y aglutinamiento de los finos en la trocha carrozable tratadas con PERMA ZYME-22X; impermeabiliza la superficie y permite que se haga más fuerte, resistente y durable a los cambios bruscos de temperatura como heladas, lluvias, granizos e inundaciones que son usuales en Ichupampa-Lari provincia de Caylloma.

SEXTA : Perma-Zyme22X actúa como catalizador; reduce y elimina la contaminación ambiental; seguro para el medio ambiente; no hace daño a los humanos, animales ni a la vegetación por ser producto biodegradable; seguro de manejar y no es tóxico ni inflamable.

SETIMA : El mejoramiento de un suelo amerita adición de costos en la construcción de una vía, por lo que el producto Perma Zyme 22X es muy favorable en el aspecto económico con respecto a los demás estabilizadores de CaCl₂, Terra Zyme, Perma Zyme 11X.

OCTABA : Haciendo un análisis de costo y presupuesto para el tramo Ichupampa – Lari con una longitud de 10 617 m, 6 m de ancho y un espesor de 0.15 m se observa que el costo del estabilizador CaCl₂ es de S/. 62 343.20, TZ-11X S/. 48 000.80, PZ-11X S/. 44,563.70 y PZ-22X es de S/. 41 707.10 (no incluyen IGV).

NOVELA : Siendo el estabilizador PZ-22X el más económico en comparación a los demás estabilizadores, ya que solo requiere maquinarias convencionales como motoniveladora, cisterna y rodillo compactador; cabe señalar que se disuelve en agua que no contenga cloro.

RECOMENDACIONES

Según las especificaciones técnicas de estabilización de suelos con PERMA ZZYME 22X, en la mejora de la subrasante de trocha carrozable se dan algunas recomendaciones que se considera pertinentes tener presente.

PRIMERA : Utilizar estabilizadores de suelo para mejorar la subrasante de la trocha carrozable.

SEGUNDA : Un estabilizador de suelo adecuado es el Perma Zyme 22X por su economía y facilidad de aplicación.

TERCERO : Realizar los ensayos necesarios en un laboratorio que esté acreditado; tomar muestras en campo de preferencia 25% más de lo normal y llevarlos al laboratorio de preferencia en bolsas y sacos para que no pierda la humedad del suelo natural.

CUARTO : Tener todo lo necesario antes de la ejecución y aplicación del estabilizante como maquinaria, herramientas y personal.

QUINTO : Utilizar las herramientas adecuadas y calibradas; pues según datos estadísticos, las maquinarias no son calibradas.

SEXTO : Para obtener una buena subrasante, se recomienda escarificar 15 cm del suelo de fundación y compactar al 95% de la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado.

SETIMO : Realizar un estricto control de campo durante la etapa, de aplicación de estabilizador en especial en el mezclado del estabilizante-agua, recordar que el agua no contenga cloro.

OPCTAVO : Para la preparación agua- estabilizador, el agua se tomará del río Chacapi que se encuentra a 437.26 m del punto de inicio del proyecto. El agua tendrá que ser analizada antes de su aplicación, se puede hacer pruebas químicas en campo como las cintas reactivas, kits de discos de colores e instrumentos digitales, y en el laboratorio se harán los ensayos de cloración y ensayos de mohr para descartar cualquier inconveniente que afecte las propiedades del estabilizador.

NOVENO : No se debe trabajar bajo condiciones de lluvia, puesto que si el suelo se encuentra disgregado absorberá más agua de la necesaria y se deberá eliminar el exceso de la misma antes de aplicar el Perma-Zyme22X.

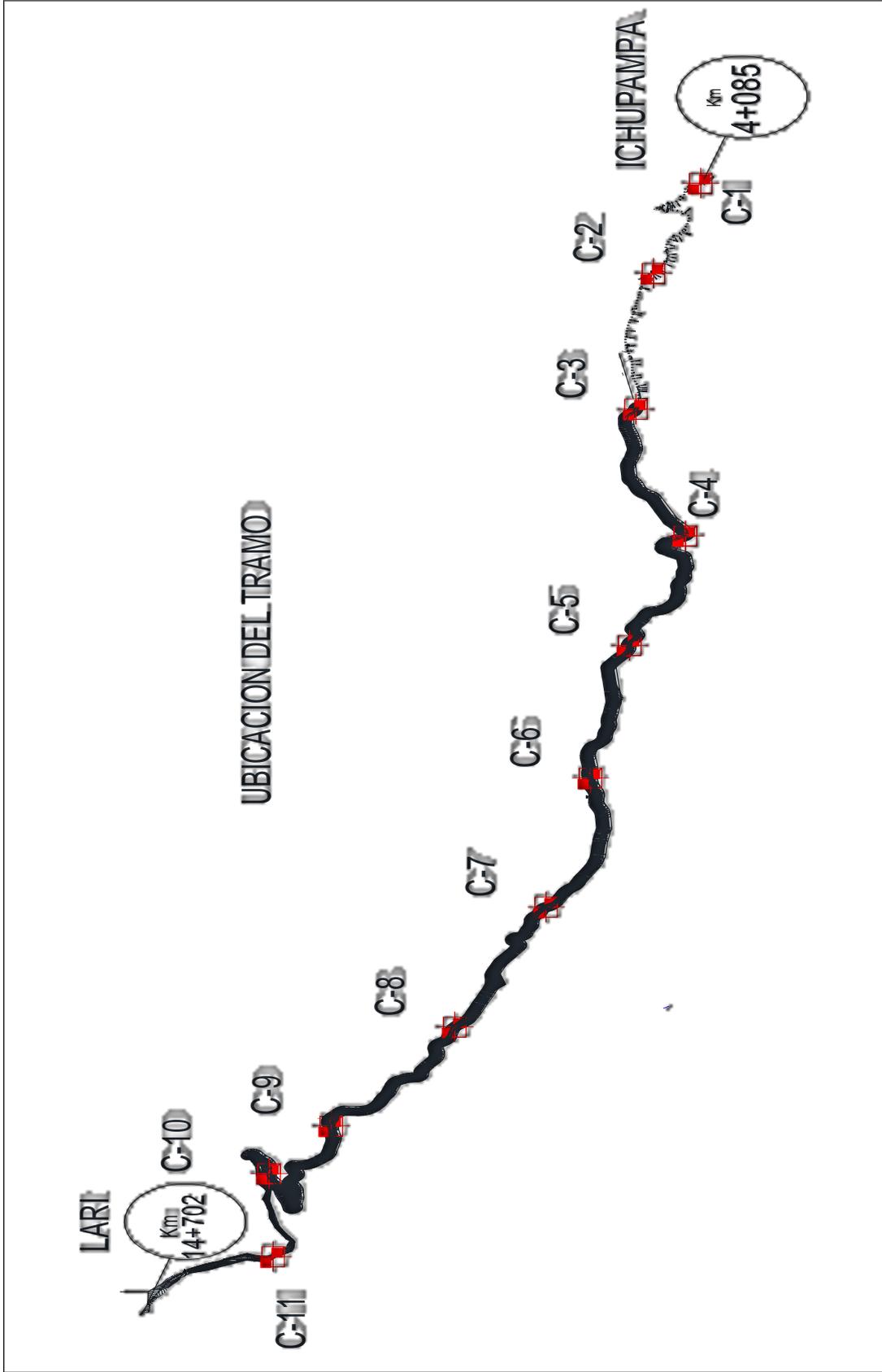
BIBLIOGRAFÍA

- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2013. Lima, Perú. (2013).
- ✓ Roció Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2010.
- ✓ Juárez, Eulalia y Rico, Alfonso. Mecánica de suelos (Tomo II); pág. 529.
- ✓ Maria Alejandra Ravines Merino pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carretera.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2001. Lima, Perú. (2001).
- ✓ Fuente informativa RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos en las Vías.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Lima, Perú. (2000). Especificaciones técnicas generales Especificaciones técnicas para la construcción de carreteras EG-2000.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de Especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito. Lima, Perú. (2005).
- ✓ El “Qhapaq Ñan” era el camino principal, de donde se desprendían una serie de caminos laterales que vinculaban el eje longitudinal con todos y cada uno de los asentamientos humanos instalados en las cimas, laderas y quebradas de la cordillera.

- ✓ ORIHUELA, J. (1994). Takyusuy folklore Collawa Provincia de Caylloma-Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú.
- ✓ Ing. Calixto yanqui murillo, MS.(2005) :”Diseño mecanístico calibrado de pavimentos rurales” XVCONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA.
- ✓ Idalit Vásquez Ruiz: “Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en los Asfaltos”, Tesis de Ingeniero Civil, Universidad Veracruzana, Mexico 2010.
- ✓ Gustavo Corredor : “Experimento Vial de la AASHO y Las Guías de diseño AASHTO”, Maestría Módulo Diseño de Pavimentos, Universidad Nacional de Ingeniería – Perú.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos, Perú, 2013.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones: “Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG-2013, Perú, 2013.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones: “Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, Perú, 2008.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones: “Manual de diseño Geométrico de Carreteras” DG-2013, Perú, 2013.
- ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=OJvrwKFcESU>.

ANEXO (A)

**PLANO DE UBICACIÓN,
UBICACIÓN DE
CALICATAS**



ANEXO (B)

ENSAYOS DE

LABORATORIO DE LA

SUBRASANTE C/S

ESTABILIZADOR.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA ASTM C-136

TESIS : ANÁLISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES
 DE SUELOS EN SUB RASANTE DE LA TROCHA CAROZABLE
 ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA AQP

N° REGISTROS-022-18

PÁGINA: 1 de 1

SOLICITA : BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY
UBICACIÓN : ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA-AREQUIPA

DATOS DE LA MUESTRA

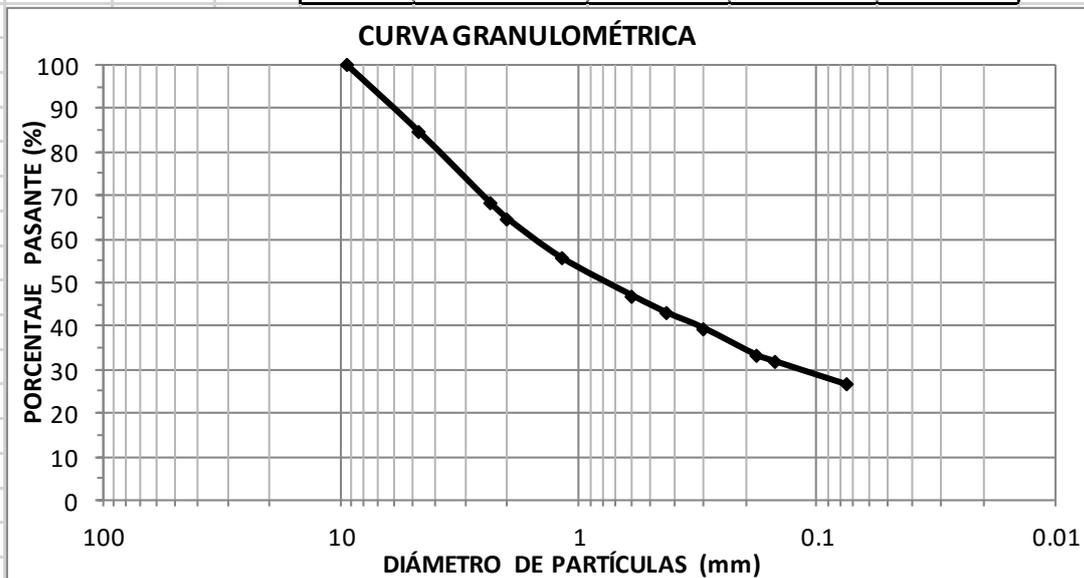
PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11

FECHA DE RECEPCIÓN:

MUESTRA : INDICADA

FECHA DE ENTREGA:

Wmi	944.0	MALLA ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pas. Acumulado	ESPECIFICACION
Wp N°4	800.0	>3"					
Wmi f	---	3"	75.00				
GRAVA	15.3%	2 1/2"	63.00				
ARENA	58.4%	2"	50.00				
FINOS	26.4%	1 1/2"	37.50				
		1"	25.00				
CLASIFICACION SUCS		3/4"	19.00				
		1/2"	12.50				
	SC	3/8"	9.50			100.00	
		N° 4	4.75	144.0	15.25	84.75	
		N° 8	2.36	156.8	16.61	68.14	
ARENA ARCILLOSA CON GRAVA		N° 10	2.00	33.7	3.57	64.57	
		N° 16	1.19	84.4	8.94	55.63	
		N° 30	0.60	82.3	8.72	46.91	
		N° 40	0.425	38.1	4.04	42.87	
C _u =	C _c =	N° 50	0.300	32.9	3.49	39.39	
		N° 80	0.180	58.5	6.20	33.19	
CLASIFICACION AASHTO		N° 100	0.150	14.1	1.49	31.69	
		N° 200	0.075	50.2	5.32	26.38	
		FONDO		249.0	26.38		



DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

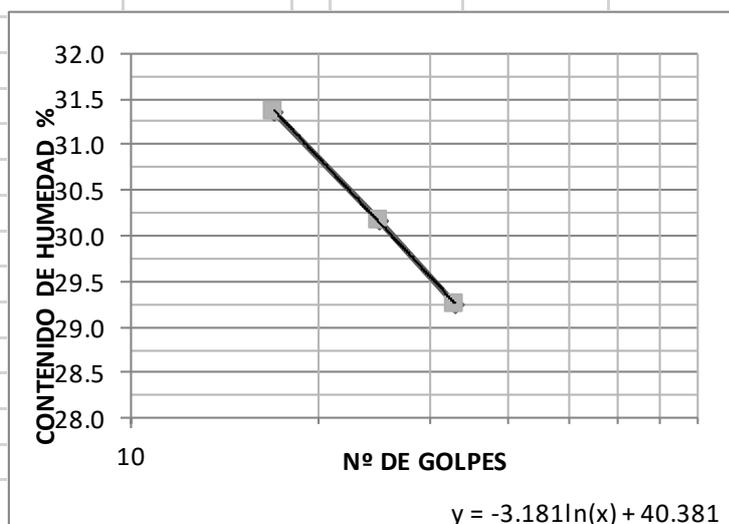
TESIS : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA-AREQUIPA
N° REGISTRO: LS-022-18
PÁGINA: 1 de 1
SOLICITA : BACH. RIDER HENRY ROMERO RODRIGUEZ
UBICACIÓN: ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA-AREQUIPA

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENC ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11
FECHA DE RECEPCIÓN:
MUESTRA SIN ESTABILIZADOR
FECHA DE ENTREGA:
PROFUNDIDA 1.5

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D-4318

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	49.99	52.8	49.8
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	44.36	46.9	43.9
Peso de la cápsula	(g)	25.11	27.5	25.2
Peso del suelo seco	(g)	19.3	19.4	18.8
Peso del agua	(g)	5.6	5.9	5.9
Contenido de Humedad	(%)	29.25	30.16	31.36
Número de Golpes	(N)	33	25	17



Límite Líquido	30.1%
Límite Plástico	19.8%
Índice de Plasticidad Ip	10.3%
Pasante Malla N°40	CL

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM D-4318

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	29.09	37.58	34.08
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	28.14	36.33	32.89
Peso de la cápsula	(g)	23.53	29.74	26.89
Peso del suelo seco	(g)	4.61	6.59	6.00
Peso del agua	(g)	0.95	1.25	1.19
Limite Plastico	(%)	20.6	19.0	19.8

NOTA:

- 1.- LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO.
- 2.- EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.- EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

TESIS : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES
 DE DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE
 ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA-AREQUIPA

 N° REGISTRO LS-022-18
 PÁGINA: 1 de 1

SOLICITA : BACH. RIDER HENRY ROMERO RODRIGUEZ

UBICACIÓN : ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA-AREQUIPA

DATOS DE LA MUESTRA

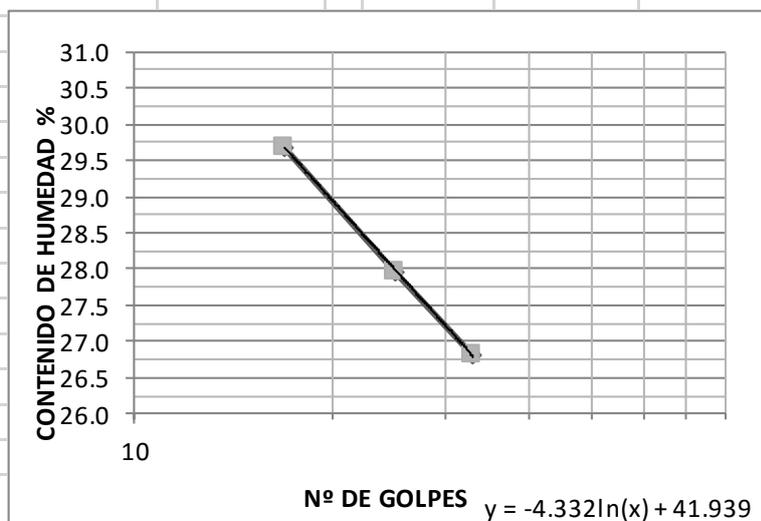
PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11
 FECHA DE RECEPCIÓN: _____

MUESTRA : CON ESTABILIZADOR PZ-22X
 FECHA DE ENTREGA: _____

PROFUNDIDAD : 1.5

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO NORMA ASTM D-4318

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	43.64	51.3	57.3
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	39.72	46.1	51.0
Peso de la cápsula	(g)	25.10	27.5	29.7
Peso del suelo seco	(g)	14.6	18.6	21.3
Peso del agua	(g)	3.9	5.2	6.3
Contenido de Humedad	(%)	26.81	27.96	29.68
Número de Golpes	(N)	33	25	17



Límite Líquido	28.0%
Límite Plástico	18.6%
Índice de Plasticidad Ip	9.4%
Pasante Malla N°40	CL

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO NORMA ASTM D-4318

Peso del suelo húmedo + cápsula	(g)	27.55	29.44	32.05
Peso del suelo seco + cápsula	(g)	26.94	28.76	31.23
Peso de la cápsula	(g)	23.53	25.18	26.89
Peso del suelo seco	(g)	3.41	3.58	4.34
Peso del agua	(g)	0.61	0.68	0.82
Limite Plastico	(%)	17.9	19.0	18.9

NOTA:

- 1.- LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO.
- 2.- EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.- EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN MODIFICADA

NORMA ASTM D-1557

TESIS	: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE	N° REGISTRO : LS-022-18
	: ICHUPAMPA-LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA-AREQUIPA	PÁGINA : 1 de 1
SOLICITA	: BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY	
UBICACIÓN	: ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA - AREQUIPA	

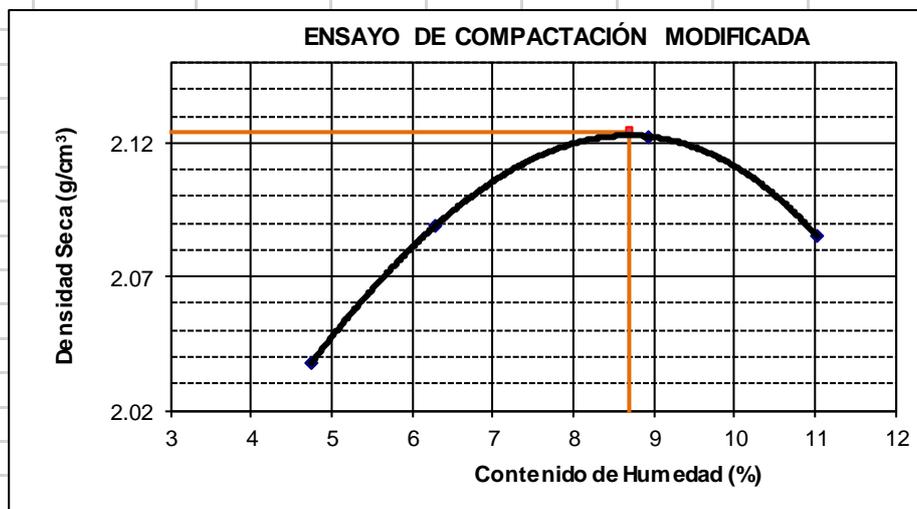
DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11	FECHA DE RECEPCIÓN:
MUESTRA : SIN ESTABILIZADOR	FECHA DE ENTREGA:

TIPO	B	MOLDE METÁLICO	
PESO MARTILLO kg	4.54	PESO DEL MOLDE	4470 g
N° DE CAPAS	5	DIMENSIONES	DIAM. 10.15 cm ALTURA 11.67 cm
GOLPES POR CAPA	25	VOLUMEN DEL MOLDE	944.3 cm ³

ENSAYO	N°	1	2	3	4
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6486	6566	6653	6656
Peso del Suelo Húmedo	g/cm ³	2016	2096	2183	2186
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.135	2.220	2.312	2.315
HUMEDAD	N°	1	2	3	4
Peso de Cápsula	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo	g	943.5	921.9	965.3	928.7
Peso del Suelo Seco + Cápsula	g	900.7	867.5	886.2	836.5
Peso del Suelo Húmedo	g	943.5	921.9	965.3	928.7
Peso del Suelo Seco	g	900.7	867.5	886.2	836.5
Peso del Agua	g	42.8	54.4	79.1	92.2
Humedad	%	4.75	6.27	8.93	11.02
Contenido de Humedad	%	4.75	6.27	8.93	11.02
Densidad Seca	g/cm ³	2.038	2.089	2.122	2.085

Densidad Seca Máxima : 2.124 g/cm³ Humedad Óptima : 8.7 %



ENSAYO DE COMPACTACIÓN MODIFICADA

NORMA ASTM D-1557

TESIS	: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUB SARANTE DE LA TRCHA CARROSABLE	N° REGISTRO:	LS-022-18
	: ICHUPAMPA PROVINCIA DE CAYLLOMA - AREQUIPA	PÁGINA:	1 de 1
SOLICITA	: BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY		
UBICACIÓN	: ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA CAYLLOMA - AREQUIPA		

DATOS DE LA MUESTRA

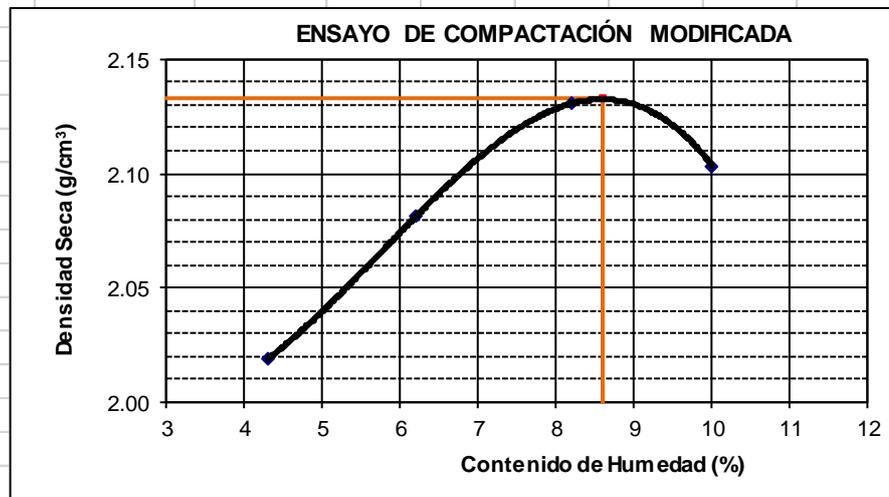
PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11	FECHA DE RECEPCIÓN:
MUESTRA : CON ESTABILIZADOR PZ-22X	FECHA DE ENTREGA:

TIPO	B	MOLDE METÁLICO
PESO MARIILLO kg	4.54	PESO DEL MOLDE 4470 g
N° DE CAPAS	5	DIMENSIONES DIAM. 10.15 cm ALTURA 11.67 cm
GOLPES POR CAPA	25	VOLUMEN DEL MOLDE 944.3 cm ³

ENSAYO	N°	1	2	3	4
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6458	6557	6647	6655
Peso del Suelo Húmedo	g/cm ³	1988	2087	2177	2185
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.105	2.210	2.305	2.314

HUMEDAD	N°	1	2	3	4
Peso de Cápsula	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo	g	940.8	933.8	982.9	1097.3
Peso del Suelo Seco + Cápsula	g	902.1	879.3	908.4	997.5
Peso del Suelo Húmedo	g	940.8	933.8	982.9	1097.3
Peso del Suelo Seco	g	902.1	879.3	908.4	997.5
Peso del Agua	g	38.7	54.5	74.5	99.8
Humedad	%	4.29	6.20	8.20	10.01
Contenido de Humedad	%	4.29	6.20	8.20	10.01
Densidad Seca	g/cm³	2.019	2.081	2.131	2.103

Densidad Seca Máxima : 2.133 g/cm³ Humedad Óptima : 8.6 %



CALIFORNIA BEARING RATIO NORMA ASTM D-1883

PROYECTO : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES
DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE
ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA-AREQUIPA

N° REGISTRO LS-054-18

PÁGINA: 1 de 2

SOLICITA : BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY

UBICACIÓN : ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA - AREQUIPA

DATOS DE LA MUESTRA

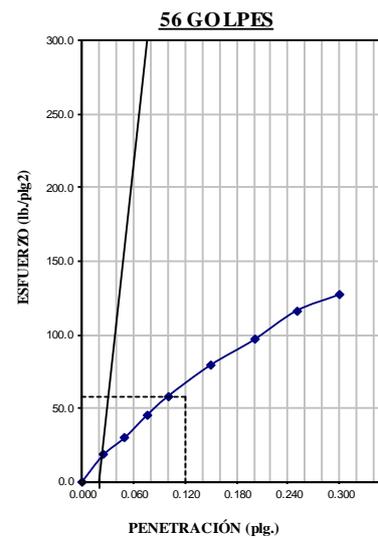
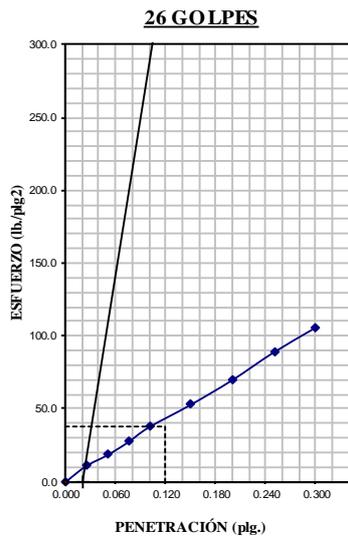
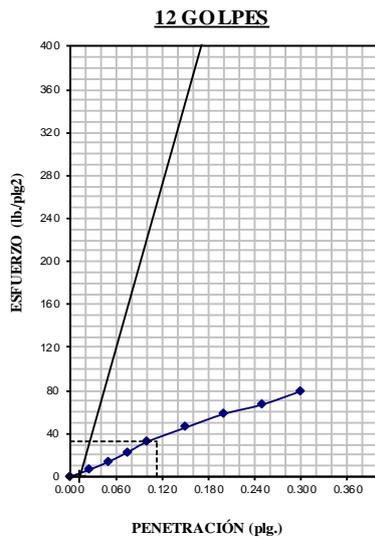
PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11

FECHA DE RECEPCION:

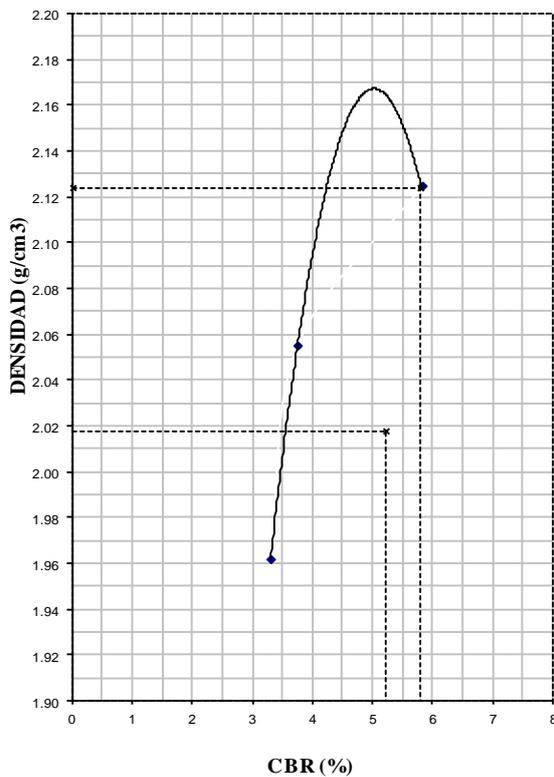
MUESTRA : SIN ESTABILIZADOR

FECHA DE ENTREGA:

PROFUNDIDAD : 1.55m



CURVA DE DISEÑO



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	2.124	g/cm ³
HUMEDAD ÓPTIMA :	8.7	%

100% de la Densidad Seca Máxima :	2.124	g/cm ³
-----------------------------------	-------	-------------------

CBR PARA EL 100%	5.8 %
------------------	-------

95% de la Densidad Seca Máxima:	2.018	g/cm ³
---------------------------------	-------	-------------------

CBR PARA EL 95% DSM	5.2 %
---------------------	-------

CALIFORNIA BEARING RATIO NORMA ASTM D-1883

TESIS	ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CAROZABLE ICHUPAMPA-LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA	N° REGISTRO LS-054-18 PÁGINA: 2 de 2
SOLICITA	: BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY	
UBICACIÓN	: ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA - AREQUIPA	

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11	FECHA DE RESEPCION
MUESTRA : SIN ESTABILIZADOR	FECHA DE ENTREGA:
PROFUNDIDAD : 1.55m	

DATOS DE LA PRENSA CBR	TRANSUCTOR : ZEMIC Serial : 5.0T M2C0091-20	ALCANCE : 5000 kg FECHA DE CALIBRACION: 02/10/2017
------------------------	--	---

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	8582	8581	8648
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo+Molde	g	13046	13270	13508
Peso Suelo Húmedo	g	4464	4689	4860
Peso Suelo Seco	g	4125	4333	4473
Peso Agua	g	339	356	387
Humedad	%	8.2	8.2	8.7
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.123	2.224	2.308
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.961	2.055	2.124

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

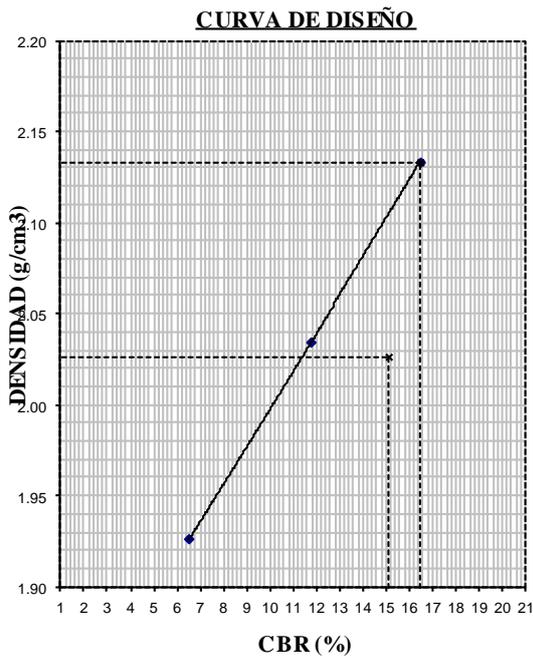
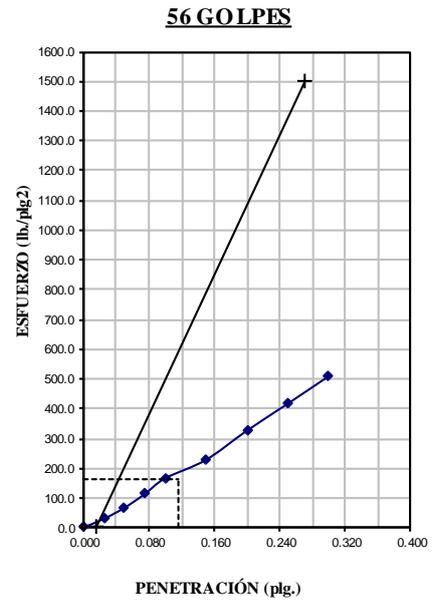
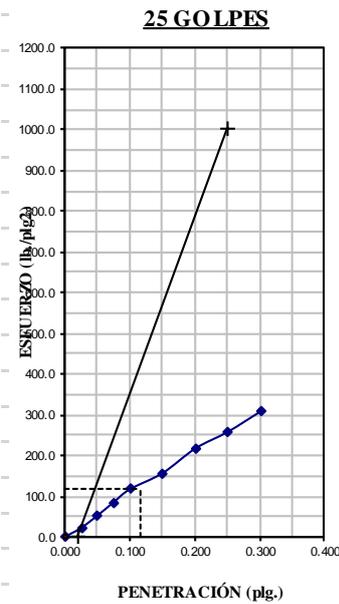
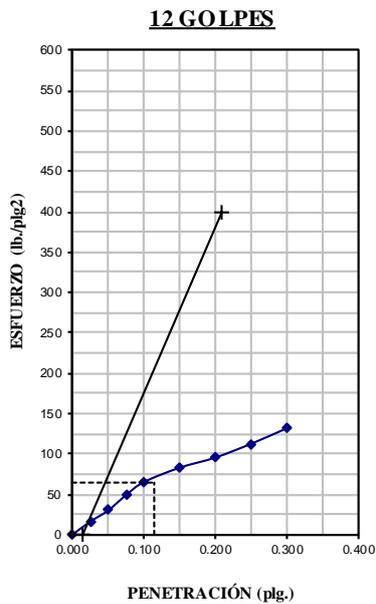
Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 25				N° Golpes 56			
		Lect.	Corrección		CBR	Lect.	Corrección		CBR	Lect.	Corrección		CBR
mm.	pulg.	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.635	0.025	9	19.84	6.61		15	33	11		25	55.12	18.4	
1.270	0.050	18	42	14		25	55	18.4		41	90.39	30.1	
1.905	0.075	29	69	23		37	82	27.2		61	134.5	44.8	
2.540	0.100	48	98	32.7	3.3	51	112	37.5	3.75	79	174.2	58.1	5.81
3.810	0.150	69	138	46		72	159	52.9		108	238.1	79.4	
5.080	0.200	80	176.4	58.8		95	209	69.8		131	288.8	96.3	
6.350	0.250	92	202.8	67.6		121	267	88.9		158	348.3	116	
7.620	0.300	109	240.3	80.1		144	317	106		173	381.4	127	
10.160	0.400												
12.700	0.500												

CALIFORNIA BEARING RATIO NORMA ASTM D-1883

TESIS : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES
 ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA N° REGISTRO: LS-054-18
 CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA-AQP PÁGINA : 1 de 2
SOLICITA : BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY
UBICACIÓN : ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA - AQP

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11 **FECHA DE RECEPCION:**
MUESTRA : CON ESTABILIZADOR PZ-22X **FECHA DE ENTREGA:**
PROFUNDIDAD : 1.55m



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.133	g/cm ³
HUMEDAD	8.6	%

100% de la Densidad Seca Máxima	2.133	g/cm ³
---------------------------------	-------	-------------------

CBR PARA EL	16.5 %
-------------	---------------

95% de la Densidad Seca Máxima:	2.026	g/cm ³
---------------------------------	-------	-------------------

CBR PARA EL 95%	15.1 %
-----------------	---------------

CALIFORNIA BEARING RATIO NORMA ASTM D-1883

TESIS : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DEL USO DE ESTABILIZADORES
 DE SUELO EN S || N° REGISTRO: LS-054-18
 ICHUPAMPA-LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA PÁGINA: 2 de 2
SOLICITA : BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY
UBICACIÓN : ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA CAYLLOMA - AQP

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA : ICHUPAMPA-LARI, PROGRESIVA 14+000 / C-11 **FECHA DE RESEPCION:** 2018-02-11
MUESTRA : CON ESTABILIZADOR PZ-22X **FECHA DE ENTREGA:** 2018-03-12
PROFUNDIDAD : 1.55m

DATOS DE LA PRENSA CBR	TRANSUCTOR : ZEMC	ALCANCE : 5000 kg	
	Serial : 5.0T M2C0091-20	FECHA DE CALIBRACION	02/10/2017

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	8582	8581	8648
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo+Molde	g	12961	13241	13526
Peso Suelo Húmedo	g	4379	4660	4878
Peso Suelo Seco	g	4050	4289	4492
Peso Agua	g	329	371	386
Humedad	%	8.1	8.6	8.6

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.082	2.210	2.316
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.926	2.034	2.133

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 26				N° Golpes 56			
		Lect.	Corrección		CB R	Lect.	Corrección		CB R	Lect.	Corrección		CBR (%)
mm.	pulg.	Dial	lbs.	lb./plg ²		Dial	lbs.	lb./plg ²		Dial	lbs.	lb./plg ²	
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.635	0.025	21.8	48.06	16		28.8	66	22		39	85.98	28.7	
1.270	0.050	40.5	89.29	29.8		62	157	52.3		89	196.2	65.4	
1.905	0.075	66	145.5	48.5		91	256	85.3		152	335.1	112	
2.540	0.100	88	194	64.7	7	160	353	118	###	224	493.8	165	16.5
3.810	0.150	112	246.9	82.3		201	471	157		290	679	226	
5.080	0.200	129	284.4	94.8		296	653	218		411	972	324	
6.350	0.250	152	335.1	112		340	776	259		564	1243	414	
7.620	0.300	178	392.4	131		452	926	309		689	1519	506	
10.160	0.400												
12.700	0.500												

ANEXO (C)

EVALUACION ECONOMICA DE DIFERENTES ESTABILIZADORES.

DATOS GENERALES

TEMA : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m
ANCHO	:	6 m
LARGO	:	900 m
DOSIFICACION	:	30 Kg x m3
AREA TOTAL	:	5400 m2
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m3
ESTABILIZADOR	:	Cloruro de Calcio (CaCl2)
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV

Presupuesto

Presupuesto **0201004** **TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA -**

PRODUCTO **ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO**

Ciente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5,000.00
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION				4,000.00
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4,000.00	4,000.00
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACION DE SUB RASANTE e= 0.15m				51,343.20
03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO	m3	810.00	43.52	35,251.20
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,400.00	2.98	16,092.00
	ENSAYOS DE LABORATORIO				2,000.00
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
	Costo Directo				62,343.20

SON : SESENTIDOS MIL TRESCIENTOS CUARENTITRES Y 20/100 NUEVOS SOLES

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra	0201004	TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROSABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE
Subpresupuesto	001	ESTABILIZADOR TERMA ZYME 11X
Lugar	040509	AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
0101010002	CAPATAZ	hh	3.2400	22.40	72.58
0101010003	OPERARIO	hh	64.8000	21.10	1,367.28
0101010005	PEON	hh	162.5400	14.85	2,413.72
					3,853.58
MATERIALES					
0201040001	PETROLEO D-2	gal	40.5000	9.58	387.99
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3	37.9080	5.00	189.54
0257010002	CAMPAMENTO	mes	1.0000	2,000.00	2,000.00
02902400030007	ESTABILIZADOR CLARURO DE CALCIO	kg	21,060.0000	1.62	34,117.20
					36,694.73
EQUIPOS					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			126.49
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn	hm	30.7800	220.00	6,771.60
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	30.7800	180.00	5,540.40
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.6200	220.00	356.40
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	qlb	1.0000	4,000.00	4,000.00
03013500030001	LABORATORIO DE SUELOS	est	1.0000	2,000.00	2,000.00
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes	1.0000	3,000.00	3,000.00
					21,794.89
				Total	S/. 62,343.20

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	0201004	TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE					
Subpresupuesto	001	ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA					
		CARROZABLE ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA					
Partida	01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		2,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Materiales						
0257010002	CAMPAMENTO	mes		1.0000	2,000.00	2,000.00	
						2,000.00	
Partida	01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		3,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos						
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes		1.0000	3,000.00	3,000.00	
						3,000.00	
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		4,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos						
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	glb		1.0000	4,000.00	4,000.00	
						4,000.00	
Partida	03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO					
Rendimiento	m3/DIA	4,000.00	EQ.	4,000.00	Costo unitario directo	43.52	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0040	21.10	0.08	
0101010005	PEON	hh	5.0000	0.0100	14.85	0.15	
						0.23	
	Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		0.0500	9.58	0.48	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0468	5.00	0.23	
0290240003000	ESTABILIZADOR CLARURO DE CALCIO	kg		26.0000	1.62	42.12	
						42.83	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		8.0000	0.23	0.02	
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.0000	0.0020	220.00	0.44	
						0.46	

Partida	03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE						
Rendimiento	m2/DIA	1,400.00	EQ.	1,400.00	Costo unitario directo	2.98		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0006	22.40	0.01	
0101010003	OPERARIO		hh	2.0000	0.0114	21.10	0.24	
0101010005	PEON		hh	5.0000	0.0286	14.85	0.42	
							0.67	
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.67	0.03	
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn		hm	1.0000	0.0057	220.00	1.25	
0301200001	MOTONIVELADORA		hm	1.0000	0.0057	180.00	1.03	
							2.31	
Partida	04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO						
Rendimiento	glb/DIA		EQ.		Costo unitario directo por : glb	2,000.00		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos							
0301350003000	LABORATORIO DE SUELOS		est		1.0000	2,000.00	2,000.00	
							2,000.00	

DATOS GENERALES

TEMA : ANALISIS COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE
DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m
ANCHO	:	6 m
DOSIFICACION	:	27.5 m ³ x Lt
LARGO	:	900 m
AREA TOTAL	:	5400 m ²
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m ³
ESTABILIZADOR	:	TERRA-ZYME11X (TZ-11X)
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV

Presupuesto

Presupuesto **0201003** **TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA -**

PRODUCTO **ESTABILIZADOR TERRA ZYME 11X**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5,000.00
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION				4,000.00
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4,000.00	4,000.00
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACION DE SUB RASANTE e= 0.15m				37,000.80
03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZANTE TERRA ZZYME-11X	m3	810.00	24.48	19,828.80
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,400.00	3.18	17,172.00
	ENSAYOS DE LABORAORIO				2,000.00
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
	Costo Directo				48,000.80

SON: CUARENTIOCHO MIL Y 80/100 NUEVOS SOLES

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra	0201003	TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROSABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA
Subpresupuesto	001	ESTABILIZADOR TERMA ZYME 11X
Lugar	040509	AREQUIPA - CAYLLOMA - ICHUPAMPA-LARI

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
	0101010002	CAPATAZ	hh	3.2400	22.40	72.58
	0101010003	OPERARIO	hh	103.1400	21.10	2,176.25
	0101010005	PEON	hh	103.1400	14.85	1,531.63
					3,780.46	
MATERIALES						
	0201040001	PETROLEO D-2	gal	81.0000	9.58	775.98
	0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3	29.3220	50.00	1,466.10
	0257010002	CAMPAMENTO	mes	1.0000	2,000.00	2,000.00
	02902400030007	ESTABILIZADOR TERRA ZYME 11X	l	29.5650	578.50	17,103.35
					21,345.43	
EQUIPOS						
	0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			126.51
	0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn	hm	33.4800	220.00	7,365.60
	0301200001	MOTONIVELADORA	hm	33.4800	180.00	6,026.40
	0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.6200	220.00	356.40
	0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	qlb	1.0000	4,000.00	4,000.00
	03013500030001	LABORATORIO DE SUELOS	est	1.0000	2,000.00	2,000.00
	0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes	1.0000	3,000.00	3,000.00
					22,874.91	
				Total	S/.	48,000.80

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA						
Partida	01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb	2,000.00		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Materiales						
0257010002	CAMPAMENTO		mes		1.0000	2,000.00	2,000.00
							2,000.00
Partida	01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb	3,000.00		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos						
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES		mes		1.0000	3,000.00	3,000.00
							3,000.00
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb	4,000.00		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos						
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb		1.0000	4,000.00	4,000.00
							4,000.00
Partida	03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZANTE TERRA ZZYME-11X					
Rendimiento	m3/DIA	4,000.00	EQ.	4,000.00	Costo unitario directo	24.48	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	2.0000	0.0040	21.10	0.08
0101010005	PEON		hh	2.0000	0.0040	14.85	0.06
							0.14
	Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2		gal		0.1000	9.58	0.96
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA		m3		0.0362	50.00	1.81
0290240003000	ESTABILIZADOR TERRA ZYME 11X		l		0.0365	578.50	21.12
							23.89
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		8.0000	0.14	0.01
0301220005	CAMION CISTERNA		hm	1.0000	0.0020	220.00	0.44
							0.45

Partida	03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE						
Rendimiento	m2/DIA	1,300.00	EQ.	1,300.00	Costo unitario directo		3.18	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0006	22.40	0.01	
0101010003	OPERARIO		hh	3.0000	0.0185	21.10	0.39	
0101010005	PEON		hh	3.0000	0.0185	14.85	0.27	
							0.67	
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.67	0.03	
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn		hm	1.0000	0.0062	220.00	1.36	
0301200001	MOTONIVELADORA		hm	1.0000	0.0062	180.00	1.12	
							2.51	
Partida	04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO						
Rendimiento	glb/DIA		EQ.		Costo unitario directo por : glb		2,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos							
0301350003000	LABORATORIO DE SUELOS		est		1.0000	2,000.00	2,000.00	
							2,000.00	

DATOS GENERALES

TEMA : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELOS EN SUB RASANTE DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m	
ANCHO	:	6 m	
LARGO	:	900 m	
DOSIFICACION	:	30 m3 x Lt	
AREA TOTAL	:	5400 m2	
VOLUMEN A ESTABILIZ	:	810 m3	
ESTABILIZADOR	:	PERMA-ZYME11X (PZ-11X)	
PRESUPUESTO	:	NO INCLUYE IGV	

Presupuesto

Presupuesto **TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE**

PRODUCTO **ESTABILIZADOR PERMA ZYME 11X**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA ICHUPAMPA - LARI**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5,000.00
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION				4,000.00
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	4,000.00	4,000.00
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACION DE SUB RASANTE e= 0.15m				33,563.70
03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR PERMA ZYME-11X	m3	810.00	21.17	17,147.70
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,400.00	3.04	16,416.00
	ENSAYOS DE LABORAORIO				2,000.00
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
	Costo Directo				44,563.70

SON : CUARENTICUATRO MIL QUINIENTOS SESENTITRES Y 70/100 NUEVOS SOLES

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra **0201001** TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROSABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE CAYLLOMA ,AREQUIPA

PRODUCTO **001** ESTABILIZADOR PERMA ZYME 11X

Lugar **040509** AREQUIPA - CAYLLOMA - ICHUPAMPA

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
0101010002	CAPATAZ	hh	3.2400	22.40	72.58
0101010003	OPERARIO	hh	99.3597	21.10	2,096.49
0101010005	PEON	hh	99.3596	14.85	1,475.49
					3,644.56
MATERIALES					
0201040001	PETROLEO D-2	gal	40.5000	9.58	387.99
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3	26.7300	50.00	1,336.50
0257010002	CAMPAMENTO	mes	1.0000	2,000.00	2,000.00
02902400030007	ESTABILIZADOR PERMA-ZZYME 11X	l	27.0540	552.50	14,947.34
					18,671.83
EQUIPOS					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			146.91
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn	hm	31.8600	220.00	7,009.20
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	31.8600	180.00	5,734.80
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.6200	220.00	356.40
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	qlb	1.0000	4,000.00	4,000.00
03013500030001	LABORATORIO DE SUELOS	est	1.0000	2,000.00	2,000.00
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes	1.0000	3,000.00	3,000.00
					22,247.31
Total				S/.	44,563.70

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA						
Partida	01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		2,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Materiales						
0257010002	CAMPAMENTO		mes		1.0000	2,000.00	2,000.00
							2,000.00
Partida	01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		3,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos						
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES		mes		1.0000	3,000.00	3,000.00
							3,000.00
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		4,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos						
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		glb		1.0000	4,000.00	4,000.00
							4,000.00
Partida	03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR PERMA ZYME-11X					
Rendimiento	m3/DIA	4,000.0000	EQ.	4,000.00	Costo unitario directo		21.17
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	2.0000	0.0040	21.10	0.08
0101010005	PEON		hh	2.0000	0.0040	14.85	0.06
							0.14
	Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2		gal		0.0500	9.58	0.48
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA		m3		0.0330	50.00	1.65
02902400030007	ESTABILIZADOR PERMA-ZZYME 11X I				0.0334	552.50	18.45
							20.58
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		8.0000	0.14	0.01
0301220005	CAMION CISTERNA		hm	1.0000	0.0020	220.00	0.44
							0.45

Partida	03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE					
Rendimiento	m2/DIA	1,350.0000	EQ.	1,350.00	Costo unitario directo	3.04	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0006	22.40	0.01
0101010003	OPERARIO		hh	3.0000	0.0178	21.10	0.38
0101010005	PEON		hh	3.0000	0.0178	14.85	0.26
							0.65
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.65	0.03
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn		hm	1.0000	0.0059	220.00	1.30
0301200001	MOTONIVELADORA		hm	1.0000	0.0059	180.00	1.06
							2.39
Partida	04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.		Costo unitario directo por : glb	2,000.00	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Equipos						
03013500030001	LABORATORIO DE SUELOS		est		1.0000	2,000.00	2,000.00
							2,000.00

DATOS GENERALES

TEMA : ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUB RASANTE
DE TROCHA CARROSABLE, ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA

ESPESOR DE LA BASE	:	0.15 m
ANCHO	:	6 m
LARGO	:	900 m
AREA TOTAL	:	5400 m ²
DOSIFICACION		33m ³ x Lt
VOLUMEN A ESTABILIZAR	:	810 m ³
ESTABILIZADOR	:	PERMA-ZYME 22X

Presupuesto

Presupues **0201001** **TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE**
PRODUCTO **ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X**

Cliente **BACH. ROMERO RODRIGUEZ RIDER HENRY**

Lugar **AREQUIPA - CAYLLOMA - ICHUPAMPA**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				5,000.00
01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL	glb	100	2,000.00	2,000.00
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	100	3,000.00	3,000.00
02	M OVILIZACION Y DESM OVILIZACION				4,000.00
02.01	M OVILIZACION Y DESM OVILIZACION DE EQUIPOS Y	glb	100	4,000.00	4,000.00
03	NIVELADO, PERFILADO COMPACTADO Y ESTABILIZACION DE SUB RASANTE e= 0.15m				30,707.10
03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR PERMA-ZYME 22X	m3	810.00	18.71	15,155.10
03.02	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,400.00	2.88	15,552.00
04	ENSAYOS DE LABORAORIO				2,000.00
04.01	ENSAYOS DE LABORATORIO	glb	100	2,000.00	2,000.00
	Costo Directo				41,707.10

SON : CUARENTIUN MIL SETECIENTOS SIETE Y 10/100 NUEVOS SOLES

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra 0201001 TESIS DE INVESTIGACION: ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE TROCHA CARROSABLE ICHUPAMPA-LARI, PROVINCIA DE

PRODUCTO 001 ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X

Lugar 040509 AREQUIPA - CAYLLOMA - ICHUPAMPA

Código	Recurso	Unida	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
0101010002	CAPATAZ	hh	3.2400	22.40	72.58	
0101010003	OPERARIO	hh	94.9318	21.10	2,003.06	
0101010005	PEON	hh	96.2280	14.85	1,428.99	
					3,504.63	
MATERIALES						
0201040001	PETROLEO D-2	gal	81.0000	9.58	775.98	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3	24.1380	50.00	1,206.90	
0257010002	CAMPAMENTO	mes	1.0000	2,000.00	2,000.00	
02902400030007	ESTABILIZADOR PERMA-ZYME 22X	l	24.5430	520.00	12,762.36	
					16,745.24	
EQUIPOS						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			81.73	
0301190003	RODILLO VIBRATORIO 10 Tn	hm	30.7800	220.00	6,771.60	
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	30.7800	172.80	5,318.78	
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.2960	220.00	285.12	
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	glb	1.0000	4,000.00	4,000.00	
03013500030001	LABORATORIO DE SUELOS	est	1.0000	2,000.00	2,000.00	
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes	1.0000	3,000.00	3,000.00	
					21,457.23	
				Total	S/.	41,707.10

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	0201001	ANALISIS DE COSTO Y CALIDAD DE USO DE ESTABILIZADORES DE SUELO EN SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE ICHUPAMPA - LARI PROVINCIA DE CAYLLOMA AREQUIPA					
Partida	01.01	CAMPAMENTOS EN GENERAL					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		2,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Materiales						
0257010002	CAMPAMENTO	mes		1.0000	2,000.00	2,000.00	
						2,000.00	
Partida	01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		3,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos						
0301350004	TRABAJOS PRELIMINARES	mes		1.0000	3,000.00	3,000.00	
						3,000.00	
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS					
Rendimiento	glb/DIA		EQ.	Costo unitario directo por : glb		4,000.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Equipos						
0301330008	MOVILIZACION Y DESMOVILIZAC	glb		1.0000	4,000.00	4,000.00	
						4,000.00	
Partida	03.01	PREPARACION DEL ESTABILIZADOR PERMA-ZYME 22X					
Rendimiento	m3/DIA	5,000.00	EQ.	5,000.00	Costo unitario directo por : m3		18.71
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0032	21.10	0.07	
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0048	14.85	0.07	
						0.14	
	Materiales						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		0.1000	9.58	0.96	
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0298	50.00	1.49	
0290240003000	ESTABILIZADOR PERMA-ZYME 2	l		0.0303	520.00	15.76	
						18.21	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		8.0000	0.14	0.01	
0301220005	CAMION CISTERNA	hm	1.0000	0.0016	220.00	0.35	
						0.36	

ANEXO (D)

HOJA DE SEGURIDAD

PERMA ZYME-22X.

HOJA DE SEGURIDAD

SECCIÓN I			
IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO E INFORMACIÓN DEL FABRICANTE			
NOMBRE COMERCIAL DE LA SUSTANCIA		PZ 22x – Perma Zyme 22x	
NOMBRE COMÚN O GENÉRICO		Estabilizador de suelos - matapolvo	
NOMBRE DE LA COMPAÑÍA FABRICANTE			
DIRECCIÓN DEL FABRICANTE		2830 Drane Field Rd. Lakeland, FL 33811 USA	
N° DE TELEFONO	(858) _____	N° DE FAX	(863) _____
TELÉFONOS DE EMERGENCIA	0051-84-253667	0051-951637966	
SECCIÓN II			
COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES PELIGROSOS			
NOMBRE COMÚN O GENÉRICO DEL COMPONENTE PELIGROSO (adjunte hojas si es necesario)		%(especificar)	N° DE CAS
No contiene elementos peligrosos		--	
SECCIÓN III			
IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS Y EFECTOS POR EXPOSICIÓN			
EFECTO POR:	DETALLE		
INHALACIÓN	No presenta sintomatología: No produce daños en la membrana mucosa y/o tracto respiratorio superior:		
INGESTIÓN	No presenta sintomatología. No es corrosivo. No causa quemaduras de la boca, garganta y estómago. Su ingesta puede causar cierta molestia y mal sabor de la boca.		
CONTACTO CON LOS OJOS	No presenta irritación al contacto directo.		
CONTACTO CON LA PIEL	No hay irritación		

CARCINOGENICIDAD	No se ha comprobado, ni con uso prolongado del producto a nivel de trabajadores de la planta. Ningún efecto conocido.
MUTAGENICIDAD	No se tiene información, a la fecha no hay evidencia alguna. Ningún efecto conocido.
TERATOGENICIDAD	No existe. Ningún efecto conocido.
NEUROTOXICIDAD	No tiene. Ningún efecto conocido.
SISTEMA REPRODUCTOR	No afecta o interfiere en funciones.
OTROS	El producto tiene un uso específico, no está en contacto directo con el ser humano y si lo hubiera, con lavarse ya se está libre de problemas de higiene. Ningún efecto conocido.
ÓRGANOS BLANCO	No aplica.
SECCIÓN IV	
PRIMEROS AUXILIOS	
CONTACTO OCULAR	Lavarse por 3-5 minutos
3.1. CONTACTO DÉRMICO	Lavarse pero, sólo por un acto de higiene.
INHALACIÓN	No hay problemas. Respirar aire fresco es aconsejable.
INGESTIÓN	No se usa en comidas, si se da el caso, se ha dado que lo confundieron con un ingrediente, no se presentaron problemas. Tomar agua. No inducir al vómito.
ANTÍDOTO RECOMENDADO	Ninguno, no es tóxico. No aplica.
INFORMACIÓN PARA EL MÉDICO	Es un líquido ecológico que procede de degradación enzimática estando inerte a cualquier mutación o variabilidad por un periodo de 5 años, luego, sus propiedades desciende y se inactivan.
SECCIÓN V	
MEDIDAS CONTRA EL FUEGO	
PUNTO DE INFLAMABILIDAD	No aplica
LÍMITES DE INFLAMABILIDAD (SI EXISTEN)	No aplica, es una solución acuosa.
AGENTES EXTINTORES	No requiere.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA COMBATIR FUEGO	No es inflamable.
PRODUCTOS PELIGROSOS POR COMBUSTIÓN	No hay.
SECCIÓN VI	
MEDIDAS EN CASO DE DERRAME O FUGA	
Atención de derrames y de fugas. Por su coloración parduzca debería enjuagarse con agua. El producto tiene propiedades detergentes (genera espuma)	
SECCIÓN VII	
MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO	
TEMPERATURA ALMACENAMIENTO	-20°C hasta 50°C Exposiciones prolongadas, inactivan al producto.
CONDICIONES ALMACENAMIENTO	Proteger de la luz directa del sol a efectos de evitar evaporación.
MANIPULACIÓN RECIPIENTES	Mantenga fuera del alcance de niños (higiene). Sí se puede trasladar a otros recipientes. Es un líquido viscoso.
EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LA LUZ DEL SOL, CALOR, ATMÓSFERAS HÚMEDAS, ETC.	Podría generar gases inocuos; ello cuando se le expone de manera continua a una temperatura cálida (superior a 35°C) y/o cuando está expuesto al sol por más de una semana. Efecto de la evaporación.
SECCIÓN VIII	
CONTROLES A LA EXPOSICIÓN Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
CONDICIONES DE VENTILACIÓN	No requiere
EQUIPO DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA	No requiere
EQUIPO DE PROTECCIÓN OCULAR	No requiere
EQUIPO DE PROTECCIÓN DÉRMICA	No requiere
DATOS DE CONTROL A LA EXPOSICIÓN (TLV, PEL, STEL)	Una persona puede estar expuesta directamente al producto por horas. ES INOCUO. Favor ver el minuto 11:48 del video adjunto. https://www.youtube.com/watch?v=ugxhLIR_6Dw

SECCIÓN IX	
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
OLOR Y APARIENCIA	Líquido Olor a fermento dulce. Color: marrón oscuro.
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Densidad: 1.08 g/ml (22°C) Viscosidad: 114.4 cP a 25°C
SOLUBILIDAD EN AGUA Y OTROS DISOLVENTES	100% hidrofílica.
PUNTO DE FUSIÓN	No presenta.
PUNTO DE EBULLICIÓN	No determinado.
pH	4.3
ESTADO DE AGREGACIÓN A 25°C Y 1 ATM.	Líquido
SECCIÓN X	
ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
ESTABILIDAD	Líquido estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.
INCOMPATIBILIDAD	No tiene
RIEGOS DE POLIMERIZACIÓN	No ocurre
PRODUCTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS	No se descompone
SECCIÓN XI	
INFORMACIÓN SOBRE TOXICOLOGÍA	
DOSIS LETAL MEDIA ORAL o DÉRMICA (DL ₅₀)	No tiene
DOSIS LETAL MEDIA POR INHALACIÓN (CL ₅₀)	No tiene

4. SECCIÓN XII
5. INFORMACIÓN DE LOS EFECTOS SOBRE LA ECOLOGÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Se usa como estabilizador de suelos y matapolvo (si se aplicar directamente en cultivos, no les afecta). • Este es un producto beneficioso para el medio ambiente. Con el que, se trabaja carreteras ecológicas. • Es biodegradable. • No es tóxico a la vida acuática. • El agua diluye el producto. • Propiedades detergentes libera de ciertos insectos o plagas pero, no es un producto específico para esos fines.
6. SECCIÓN XIII
7. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL DEL PRODUCTO
CONSERVACIÓN: Menos de 50°C no expuesto a calor y/o luz.
8. SECCIÓN XIV
9. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE
<p style="text-align: center;">Debe transportarse como NO CORROSIVO. Se debe trasladar sellado para evitar derrames.</p> <p>Si por una exagerada mala manipulación sucediera, debe taparse el producto o colocarse en otro envase a fin de evitar las pérdidas económicas ya que, es un producto que tiene un valor.</p>
10. SECCIÓN XV
11. INFORMACIÓN REGULATORIA
<p style="text-align: center;">Clasificado como sustancia no tóxica. No clasificado como peligroso La SUNAD emitió Boletín Químico de Inocuidad. (se adjunta)</p>

12. SECCIÓN XVI

OTRA INFORMACIÓN

La información brindada es correcta y confiable, pero se presenta sin garantía ni responsabilidad de la empresa en su aplicación y consecuencias de la misma por parte del usuario NFPA 704

NFPA/HMIS

SALUD	FLAMABILIDAD	REACTIVIDAD	RIESGOS ESPECIALES
0	0	0	0

Equipo de protección No requiere.



SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

PERMA ZYME 22X

Un estabilizador de suelos es un producto que tiene una acción cementante o aglutinante de las partículas presentes en el suelo (material tratado) para lo cual, y en empleo óptimo del producto se deben cumplir algunas condiciones físicas.

PARAMETROS QUE DEBE CUMPLIR EL SUELO (análisis de laboratorio).

1. INDICE PLASTICO. De 5 a 15.
2. PH. De 4.5 a 8
3. GRANULOMETRIA. Los finos deberán pasar la malla Nro. 200 de 18% a 30%.
4. HUMEDAD ÓPTIMA. De acuerdo a análisis del laboratorio.

PROCEDIMIENTO COMERCIAL

- PRECIO DE PERMA ZYME 22X. US\$ 160.00 por litro (sin IGV).
- PRESENTACION. Cilindro de 208 litros = 55 gls. Bidones de 20 litros.
- CARRETERA DE 1 KM X 6 M X 0.15 M. aplicando Perma Zyme, cuesta aproximadamente: US\$ 5,500.00 (incluido IGV)
- PRECIO PROMEDIO M2: S/. 2.50
- RENDIMIENTO: Un litro de Perma Zyme rinde de 200 a 220 m² con un espesor de 0.15m. Varía dependiendo de los parámetros presentes en el suelo y actividad futura.
- GARANTIA. Certificado que se adjunta y documentación de la compra.
- FORMAS DE PAGO. Contrato (con adelanto) o adjudicación en procesos de Adquisición Directa Selectiva (ADS) - Adquisición por Mínima Cuantía (AMC).
- ENTREGA PRODUCTO, ALMACÉN DEL CLIENTE: 48 horas (stock permanente) Volumen superior a 208 litros (un cilindro): 15 días.
- COMPETITIVIDAD. Todos los estabilizadores funcionan de manera similar (+- 5%).
Nuestro producto, se importa directo de la fábrica de Estados Unidos.
- **ENSAYOS Disponibilidad gratuita para análisis in situ y/o proctor modificado.**

ANALISIS COMPARATIVO DE PRECIOS DE ESTABILIZADORES EN PERU

- a. Perma Zyme 22xUS\$ 160.00 sin IGV. Verificado
- b. Perma zyme US\$ 170.00 sin Verificado
- c. Terra Zyme US\$ 178.00 sin Por

BASE LEGAL

- Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre N° 27181
- Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial DS N°034 - 2008 - MTC.
- Reglamento de Jerarquización Vial DS N° 017 - 2007 - MTC.
- Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG - 2013).
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos.
- Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial.
- Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG - 2013).

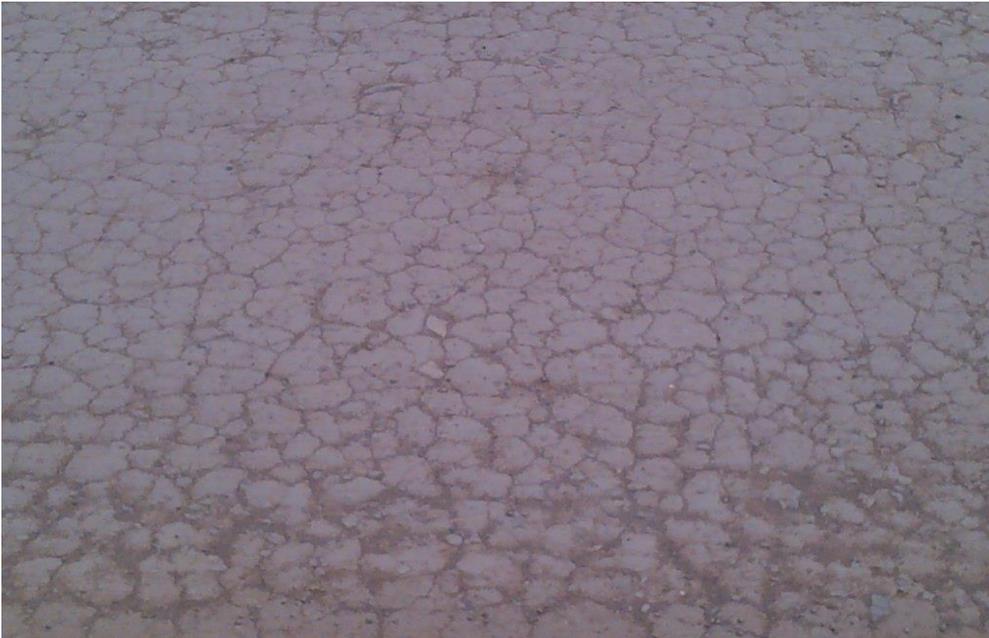
SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA

ARGUMENTOS COMERCIALES DE PERMA ZYME VERSIÓN 30X	
A DEL PRODUCTO	
1	El producto tiene ficha técnica y manual de aplicación
2	El producto tiene certificación u otra información de origen relevante.
3	Precio más competitivo del mercado: el litro cuesta US\$ 188.80 incluido IGV.
4	Garantía del producto por 5 años.
5	Rendimiento óptimo del producto en cumplimiento de parámetros de: Granulometría, pH e Índice Plástico.
B DEL ALCANCE INSTITUCIONAL - EXPERIENCIA	
1	Adquisición directa del producto.
2	Reconocimiento de la zona donde se intervendrá.
3	Experiencia como proveedor o haber participado en procesos de negociación de: (i) insumos varios, aceites, asfalto..., (ii) combustibles, (iii) estabilizadores en el ámbito nacional.
4	Los integrantes del CONSORCIO están inscritos en OSCE.
5	Representante con domicilio real en la Región Cusco. Presencia en Arequipa y Puno.
6	Profesionales ingenieros civiles capacitados en estabilizadores y con presencia en la Región Cusco.
7	Registro del estabilizador/trámite ante el MTC.
8	Charla informativa en PROVIAS DESCENTRALIZADO CUSCO.
9	Disponibilidad inmediata del producto
C DEL SERVICIO	
1	Soporte técnico in situ.
2	Análisis de laboratorio post obra.
3	Charla de exposición del producto.
4	La entrega del producto viene con cobertura de seguro hasta el destino.
5	Supervisión en la entrega del producto en instalaciones del comprador.
6	Soporte técnico en la manipulación del producto.

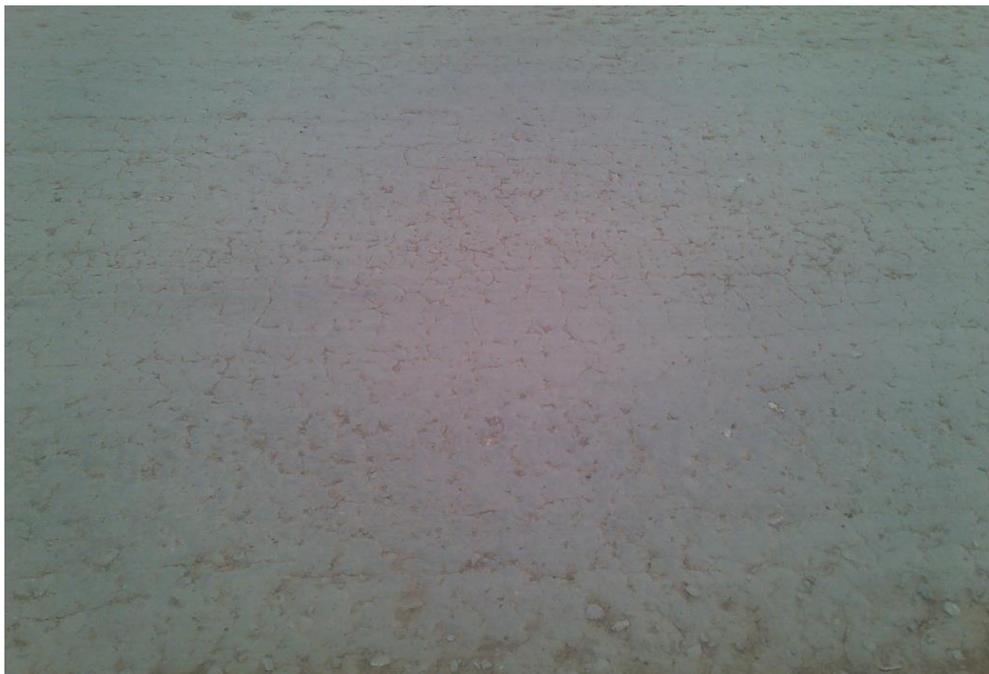


RESULTADO COMPARATIVO PISTA AFIRMADA Y PISTA CON ESTABILIZADOR

- A. PISTA AFIRMADA. VÍA EXPRESA CUSCO TRAMO 0+855 A 0+880 (28-OCT-14)**



- B. PISTA CON ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X. VÍA EXPRESA CUSCO TRAMO 0+880 A 0+915 (03-NOV-14)**



SOPORTE TÉCNICO.-

Tenemos un staff de profesionales que son ingenieros civiles expertos en el tema de estabilización – caminos. Esto, en diversas regiones del Perú. Podemos viajar a las áreas de intervención para asistir directamente su manipulación en obra.

PERMA ZYME 22X.-

Econ.Gustavo Muñoz.

Celular 951637966 – RPM *601372

gerencia@biotika.pe

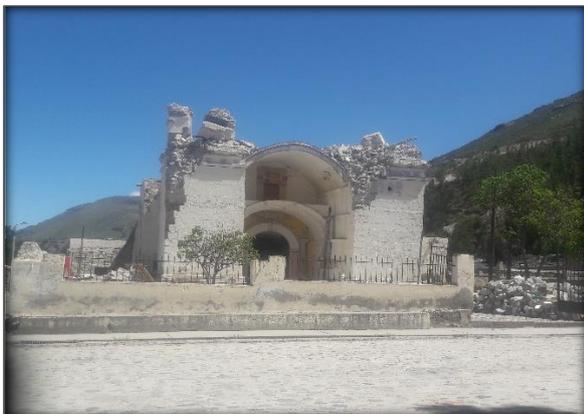
PRECISAMOS CONTACTAR CON FUTUROS DISTRIBUIDORES DEL PRODUCTO.

ANEXO (E)

PANEL FOTOGRAFICO.

PANEL FOTOGRAFICO

UBICACIÓN DEL TRAMO ICHUPAMPA LARI



**EXTRACION DE LA MUESTRA DEL TRAMO ICHUPAMPA – LARI
CALICATA N° 11 PROGRESIVA 14+000**



ENSAYOS EN EL LABORATORIO "LAB CONSULT INGENIERIA"



ESTABILIZADOR PERMA ZYME 22X

