

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CÁLCICO Y PERMAZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO-2022”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Morales Beteta, Estefani Mirella

ASESOR: Abal García, Bladimir Jhon

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Transporte

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería del transporte

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72424756

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71509522

Grado/Título: Maestro en ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-9301-2099

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000 0001-7920-1304
2	Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander	Título oficial de máster universitario en ingeniería hidráulica y medio ambiente	45250659	0000-0003-0701-2621
3	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible en gestión ambiental	70502372	0000-0002-5650-3745

D

H

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las **10:30** horas del día **sábado 23 de julio de 2022**, mediante la plataforma Google Meet, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS - PRESIDENTE
- MG. REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA - SECRETARIO
- MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA - VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1395-2022-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **“EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMAZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022”**, presentado por la Bachiller. Estefani Mirella MORALES BETETA, para optar el Título Profesional de Ingeniera Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas, procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándola **APROBADA** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **16** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47).

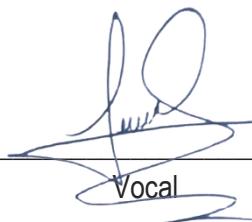
Siendo las 11:34 horas del día sábado 23 del mes de julio del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi consejero, y ofrecerme cada asombroso día para alcanzar cada uno de mis propósitos.

A mis padres Bequer y Melia, ejemplo de superación, perseverancia, dedicación y paciencia.

A mis hermanos Mayumi y Miyagi, quienes con sus recomendaciones y consejos me ayudaron a superarme.

A mi sobrina Sheccid, eres mi princesa adorada y llenas mi vida de alegría, eres mi motivación, inspiración y felicidad

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar hasta este lugar y por brindarme de vida, sabiduría y salud para alcanzar mis propósitos, además de su perdurable amor y bondad.

A mis progenitores, sin ellos, no habría logrado mi meta profesional. Mamá, gracias por el apoyo moral que me brindaste y el valor de superación que me enseñaste para seguir adelante en mis propósitos. Papá, por su ejemplo de constancia y perseverancia, y por guiarme siempre, por su valentía y amor para salir adelante.

A mis hermanos, quienes con su preocupación y recomendaciones me ayudaron a superarme. Mayumi, gracias por ser el cimiento principal sobre el que se construye mi carrera, por sentar las bases de la responsabilidad y la excelencia. Miyagi, por estar a mi lado, le doy gracias por su apoyo emocional durante este tiempo.

A mi sobrina Sheccid, eres el reflejo de mi hermana, una de las mujeres que más quiero en este mundo. Gracias porque has llenado mi corazón de alegría y amor. Deseo que seas feliz siempre, eres luz, brilla siempre pequeña.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I.....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1 Descripción del problema de investigación	16
1.2 Formulación del problema	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos	18
1.3 Objetivo general.....	18
1.4 Objetivos específicos	18
1.5 Justificación de la investigación	18
1.6 Limitaciones de la investigación.....	19
1.7 Viabilidad de la investigación	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	22
2.1.3. Antecedentes locales	23
2.2. Bases teóricas	24

2.2.1.	Estabilización de suelos	24
2.2.2.	Clasificación de estabilizantes de suelos.....	24
2.2.3.	Criterios de selección de estabilizantes de suelos.....	25
2.2.4.	Cloruro Cálcico.....	26
2.2.5.	Perma-Zyme	28
2.2.6.	Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	30
2.2.7.	Índice de la condición de la vía no pavimentada (ICVNP)	31
2.3.	Definiciones conceptuales	31
2.4.	Hipótesis.....	32
2.4.1.	Hipótesis general	32
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	33
2.5.	Variables.....	33
2.5.1.	Variable dependiente	33
2.5.2.	Variable independiente.....	33
2.6.	Operacionalización de variables (Dimensiones e Indicadores)	33
CAPÍTULO III.....		35
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		35
3.1.	Tipo de investigación	35
3.1.1.	Enfoque.....	35
3.1.2.	Alcance o nivel	35
3.1.3.	Diseño.....	35
3.2.	Población y muestra	36
3.2.1.	Población	36
3.2.2.	Muestra	36
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.3.1.	Para la recolección de datos	38
3.3.2.	Para la presentación de datos	39

3.3.3. Para el análisis e interpretación de los datos.....	40
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS	42
4.1. Procesamiento de datos	42
4.1.1. Sectorización.....	42
4.1.2. Descripción de los sectores.....	47
4.1.3. Estudio de canteras.....	48
4.1.4. Producción y transporte de material de afirmado	51
4.1.5. Fuentes de aguas.....	52
4.1.6. Proceso constructivo sin estabilizante (Sector A)	53
4.1.7. Proceso constructivo con Perma-Zyme (Sector B)	55
4.1.8. Proceso constructivo con Cloruro Cálcico (Sector C)	58
4.1.9. Frecuencia de medición del IRI	60
4.1.10. Medición del Índice de Condición de Vías No Pavimentadas (ICVNP) 64	
4.1.11. Análisis y organización de datos	74
4.1.12. Índice de Condición de Vía No Pavimentada (ICVNP)	85
4.2. Contrastación de hipótesis y prueba de hipótesis	91
4.2.1. Índice de Rugosidad Internacional	91
4.2.2. Índice de Condición de Vía No Pavimentada (ICVNP)	93
4.2.3. Sector A (Sector Patrón) - Sector B (Perma-Zyme).....	93
4.2.4. Sector A (Sector Patrón) - Sector C (Cloruro cálcico).....	96
CAPÍTULO V	99
DISCUSIÓN RESULTADOS.....	99
4.3. Contrastación de los resultados del trabajo de investigación	99
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES.....	102

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de estabilizantes de suelos	24
Tabla 2: Estabilizador recomendado por tipo de suelo.....	25
Tabla 3: Dosificaciones con Cloruro Cálcico	28
Tabla 4: Requerimientos mínimos para el uso de Cloruro Cálcico	28
Tabla 5: Requerimientos del suelo para aplicación de Perma-Zyme.....	30
Tabla 6: Dosificación con Perma-Zyme	30
Tabla 7: Operacionalización de variables	34
Tabla 8: Características de los sectores de prueba	37
Tabla 9: Características de los sectores de prueba	39
Tabla 10: Ubicación de los sectores de prueba	39
Tabla 11: Criterios de medición de fallas	41
Tabla 12: Criterio para pendiente o inclinación media.....	42
Tabla 13: Criterio para curvatura media.....	42
Tabla 14: Criterio de altitudes	43
Tabla 15: Sectorización para la aplicación de los estabilizantes	44
Tabla 16: Sectorización resultante.....	45
Tabla 17: Sector con mayor pendiente	45
Tabla 18: Sector con menor pendiente	45
Tabla 19: Sector con mayor curvatura	45
Tabla 20: Sector con menor curvatura.....	46
Tabla 21: Precipitaciones máximas de acuerdo con la altitud	46
Tabla 22: Progresivas.....	47
Tabla 23: Ubicación de las fuentes de agua	53
Tabla 24: Resumen de resultados de laboratorio.....	53
Tabla 25: Cantidad de agua para llegar al O. C. H.	54
Tabla 26: Cálculo del gasto de la cisterna	55
Tabla 27: Cálculo de la cantidad de agua para usarse con Perma-Zyme	56
Tabla 28: Cálculo de la cantidad de agua a usarse con Cloruro Cálcico.....	58
Tabla 29: Resultado del primer monitoreo IRI Sector sin aditivo	61
Tabla 30: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector sin aditivo	61
Tabla 31: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector sin aditivo	61
Tabla 32: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector sin aditivo	61

Tabla 33: Resultado del primer monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme.....	62
Tabla 34: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme ...	62
Tabla 35: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme	62
Tabla 36: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme.....	63
Tabla 37: Resultado del primer monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico ...	63
Tabla 38: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico	63
Tabla 39: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico	64
Tabla 40: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico ...	64
Tabla 41: Criterios de medición de fallas	65
Tabla 42: Diámetro de baches - nivel bajo	65
Tabla 43: Diámetro de baches - nivel medio	65
Tabla 44: Diámetro de baches - nivel alto	66
Tabla 45: Tercer monitoreo – Sector A (sin estabilizante).....	66
Tabla 46: ICVNP – Sector A (sin estabilizante)	66
Tabla 47: Diámetro de baches - nivel bajo	66
Tabla 48: Diámetro de baches - nivel medio	67
Tabla 49: Diámetro de baches - nivel alto	67
Tabla 50: Cuarto monitoreo – Sector A (sin estabilizante)	67
Tabla 51: ICVNP - Sector A (sin estabilizante).....	67
Tabla 52: Criterios de medición de fallas	68
Tabla 53: Diámetro de baches - nivel bajo	68
Tabla 54: Diámetro de baches - nivel medio	69
Tabla 55: Diámetro de baches - nivel alto	69
Tabla 56: Tercer monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)	69
Tabla 57: ICVNP – Sector B (Perma-Zyme).....	69
Tabla 58: Diámetro de baches - nivel bajo	70
Tabla 59: Diámetro de baches - nivel medio	70
Tabla 60: Diámetro de baches - nivel alto	70
Tabla 61: Cuarto monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)	70
Tabla 62: ICVNP – Sector B (Perma-Zyme).....	71
Tabla 63: Criterios de medición de fallas	71
Tabla 64: Diámetro de baches - nivel bajo	72
Tabla 65: Diámetro de baches - nivel medio	72
Tabla 66: Diámetro de baches - nivel alto	72

Tabla 67: Tercer monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)	72
Tabla 68: ICVNP – Sector C (Cloruro Cálculo).....	73
Tabla 69: Diámetro de baches - nivel bajo	73
Tabla 70: Diámetro de baches - nivel medio	73
Tabla 71: Diámetro de baches - nivel alto	73
Tabla 72: Cuarto monitoreo – Sector C (Cloruro Cálculo)	74
Tabla 73: ICVNP – Sector C (Cloruro Cálculo).....	74
Tabla 74: Resumen de resultados del IRI en cada sector de prueba	74
Tabla 75: Datos del IRI de acuerdo a los monitoreos realizados	76
Tabla 76: Resumen de variaciones del IRI por cada monitoreo	76
Tabla 77: Leyenda de cada sector	78
Tabla 78: Datos del IRI en el sector A.....	78
Tabla 79: Datos del IRI en el sector B.....	79
Tabla 80: Datos del IRI en el sector C	80
Tabla 81: Tiempo de recurrencia en cada sector	81
Tabla 82: Coeficientes de eficiencia en cada sector	81
Tabla 83: Precipitaciones acumuladas en el tiempo de medición del IRI	84
Tabla 84: Clasificación del estado de la superficie de rodadura	92
Tabla 85: Estado de la carpeta de rodadura	93
Tabla 86: Prueba de hipótesis sector A - sector B	94
Tabla 87: Tabla de t de Student para la prueba sector A - sector B	94
Tabla 88: Prueba de hipótesis sector A - sector C	96
Tabla 89: Tabla de t de Student para la prueba sector A - sector C	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Disposición de los sectores.....	40
Figura 2: Perfil longitudinal del tramo.....	40
Figura 3: Perfil longitudinal de la carretera en estudio	43
Figura 4: Vista satelital de los sectores.....	47
Figura 5: Ubicación de la cantera	48
Figura 6: Vista general de la cantera	48
Figura 7: Usos granulométricos	49
Figura 8: Resultados del laboratorio UNHEVAL.....	50
Figura 9: Curva granulométrica.....	50
Figura 10: Ingreso de las maquinarias.....	52
Figura 11: Acondicionamiento de zonas para material procesado	52
Figura 12: Progreso del deterioro por sector de prueba.....	75
Figura 13: Progreso del IRI de los tres sectores de prueba	75
Figura 14: Variación del IRI en el primer monitoreo	76
Figura 15: Variación del IRI en el segundo monitoreo.....	77
Figura 16: Variación del IRI en el tercer monitoreo	77
Figura 17: Variación del IRI en el cuarto monitoreo	78
Figura 18: Curva de deterioro del sector A	79
Figura 19: Curva de deterioro del sector B	79
Figura 20: Curva de deterioro del sector C	80
Figura 21: Precipitaciones del mes de enero	82
Figura 22: Precipitaciones del mes de febrero	82
Figura 23: Precipitaciones del mes de marzo	83
Figura 24: Precipitaciones acumuladas desde el inicio de aplicación	83
Figura 25: Precipitaciones acumuladas en el progreso del IRI.....	84
Figura 26: Precipitaciones acumuladas en las variaciones del IRI.....	85
Figura 27: Deterioro superficial (baches) – Sector sin estabilizante	85
Figura 28: Deterioro superficial (baches) – Sector sin estabilizante	86
Figura 29: Deterioro superficial (baches) – Sector con Perma-Zyme	86
Figura 30: Deterioro superficial (baches) – Sector con Perma-Zyme	87
Figura 31: Deterioro superficial (baches) – Sector con cloruro cálcico.....	87
Figura 32: Deterioro superficial (baches) – Sector con cloruro cálcico.....	88

Figura 33: Porcentaje de severidad – Sector sin estabilizante	88
Figura 34: Porcentaje de severidad – Sector sin estabilizante	89
Figura 35: Porcentaje de severidad – Sector con Perma-Zyme	89
Figura 36: Porcentaje de severidad – Sector con Perma-Zyme	90
Figura 37: Porcentaje de severidad – Sector con cloruro cálcico	90
Figura 38: Porcentaje de severidad – Sector con cloruro cálcico	91
Figura 39: Distribución de probabilidad de t de Student sector A - sector B.	95
Figura 40: Distribución de probabilidad de t de Student sector A - sector C.	98

RESUMEN

Las carreteras no pavimentadas se deterioran más rápido que las vías pavimentadas debido a su exposición directa a las cargas vehiculares y al intemperismo. Esto genera la aparición de fallas que en el corto y mediano plazo ocasionan pérdida de serviciabilidad que perjudica el confort de los usuarios de la vía. Para preservar sus superficies y evitar su deterioro en el tiempo, se recomienda utilizar dos estabilizadores químicos Perma-Zyme y Cloruro Cálcico como alternativas de solución en el tramo de estudio Urumbisha-Maraypata en la provincia de Ambo, Perú. Se comenzó con la sectorización de tres sectores similares elegidos por muestreo probabilístico sistemático. El primer sector no tuvo estabilizante; el segundo se estabilizó con Perma-Zyme; y el tercero, con cloruro cálcico. La conservación se midió mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sus índices resultaron 15.52, 11.58 y 4.53 respectivamente. Mediante la prueba de hipótesis realizada, con un grado de significancia de 0.05, se concluyó que el estabilizante Perma-Zyme no mejora la conservación de la vía. Pero, se demostró que el Cloruro Cálcico sí la mejora. Asimismo, se evaluó la calidad superficial tomando en cuenta el Índice de Condición en Vía No Pavimentada (ICVNP). Sus ICVNP resultaron 26, 44 y 75, mostrando que el sector sin estabilizante posee una condición pésima; el sector con Perma-Zyme, una calidad regular; y el sector con Cloruro Cálcico, una calidad muy buena. Por lo tanto, se concluye que el Cloruro Cálcico mejora tanto la conservación y la calidad superficial de las vías no pavimentadas.

ABSTRACT

Unpaved roads deteriorate faster than paved roads due to their direct exposure to vehicular loads and weathering. This generates the appearance of failures that in the short and medium term cause a loss of serviceability that impairs the comfort of road users. To preserve its surfaces and prevent deterioration over time, it is recommended to use two chemical stabilizers Perma-Zyme and calcium chloride as alternative solutions in the Urumbisha-Maraypata study section in the province of Ambo, Peru. We began with the sectorization of three similar sectors chosen by systematic probabilistic sampling. The first sector had no stabilizer; the second was stabilized with Perma-Zyme; and the third with calcium chloride. Conservation was measured using the International Roughness Index (IRI). Their indices were 15.52, 11.58 and 4.53, respectively. By means of the hypothesis test carried out, with a significance degree of 0.05, it was concluded that the Perma-Zyme stabilizer does not improve the road preservation. However, it was demonstrated that calcium chloride does improve it. Likewise, the surface quality was evaluated taking into account the Unpaved Road Condition Index (ICVNP). Their ICVNP were 26, 44 and 75, showing that the sector without stabilizer has a very poor condition; the sector with Perma-Zyme, a regular quality; and the sector with calcium chloride, a very good quality. Therefore, it is concluded that calcium chloride improves both the preservation and the surface quality of unpaved roads.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis consiste en la evaluación de la efectividad de los estabilizantes de suelos Perma-Zyme y Cloruro Cálcico en la conservación de las vías no pavimentada. El tema es fundamental ya que aún se utiliza el afirmado como sustituto de la pavimentación en zonas rurales. Esto es eficiente a corto plazo, pero a mediano plazo las vías afirmadas presentan fallas severas que reducen su confort.

En el Capítulo I, se planteó la pregunta de investigación: ¿De qué manera los estabilizantes Perma-Zyme y Cloruro Cálcico mejorarán la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022? Asimismo, se presentaron los objetivos, justificación, limitaciones y viabilidad del problema de investigación.

En el Capítulo II, se presenta de forma sucinta la teoría de la estabilización de suelos y las propiedades y dosificación de los estabilizantes sometidos a prueba. Además, se explica qué son los los índices Índice de Rugosidad Internacional (IRI) e Índice de Condición de Vía No Pavimentada (ICVNP), los cuales permiten evaluar la conservación de la vía no pavimentada.

En el Capítulo III, se brindan detalles sobre el tipo de investigación llevado a cabo. Luego, se especifican la población y la muestra, la cual se obtuvo en base a un muestreo probabilístico. Se concluye con la explicación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados. La parte fundamental la constituyen los resultados del IRI e ICVNP. En base a estos, se realizaron dos pruebas de hipótesis, cuyos resultados también se muestran en el capítulo.

En el Capítulo V, se discuten los resultados encontrados. En base a esto, se plantean las conclusiones y recomendaciones. También, se enumeran cada una de las referencias usadas en la investigación.

Finalmente, se incluyen la matriz de consistencia, las fotografías del trabajo de campo, los formatos de gabinete y laboratorio usados y documentos reglamentarios de la universidad.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema de investigación

La utilización de elementos reconocidos como materiales de construcción para mejorar la protección del pavimento se remonta a la década de 1930 en los Estados Unidos. Debido a la crisis mundial, los recursos del país para la construcción de carreteras han disminuido significativamente. Como resultado, esto llevó a una política conservadora de los costos de construcción y mantenimiento de carreteras, abandonando los planes viales y los tipos de pavimento superiores (concreto, asfalto, etc.), una mirada en profundidad a los graves problemas de mantenimiento que componen las vías asfaltadas que componen su longitud máxima.

En Perú y el departamento de Huánuco, las canteras existentes se agotarán si se continúa utilizando la superficie como una alternativa para mejorar la protección de las carreteras no pavimentadas. En consecuencia, el desarrollo y el uso serán más caros. Además, las nuevas canteras que se ponen en uso reducirán la capacidad y la eficiencia, lo que resultará en el uso de múltiples canteras para lograr la carga de trabajo requerida, lo que aumentará los costos de validación y operación de la extracción debido al desplazamiento debido a la distancia entre la cantera y el trabajo en el medio.

Actualmente alrededor del mundo, el empleo del afirmado para perfeccionar la protección del funcionamiento de las carreteras sin pavimentar que están degradadas por diversos componentes, como el agotamiento de las canteras existentes y la emisión de polvo, la contaminación ambiental que afecta directamente la salud de los residentes. Puede ser conveniente ver la justificación de otros tratamientos, como el uso de un estabilizador de suelo.

Apolinario & Delgado (2019) se ha mencionado que el uso de estabilizadores de suelo para mejorar la protección de las superficies de rodadura en caminos no pavimentados ha sido bastante desarrollado en distintas naciones de América del Sur. Por ejemplo:

- Chile: empleo de polímeros, enzimas y cloruro de magnesio.

- Colombia: empleo de enzimas, cemento, cal y cloruro de calcio.
- Brasil: empleo de polímeros, cal, cenizas y cemento.
- Argentina: empleo de cemento, polímeros, cemento y cenizas.

En nuestro país, conforme al Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2014), se encuentran disponibles varios productos de estabilización, tales como cloruro de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, escoria, cemento, cal, productos bituminosos, enzimas y geosintéticos.

La estabilización de suelo es un método de mejoramiento de los elementos del suelo cuyo costo-beneficio es mayor en caminos rurales donde no existe alto tráfico con respecto a la pavimentación. Entonces, el conocimiento de la estabilización es fundamental debido a que con mayores estudios podría desarrollarse una metodología más detallada de diseño de mezcla de estabilizantes y de esta manera favorecer en la solución de las problemáticas de transitabilidad en las diversas zonas rurales del Perú.

Así, el estudio tuvo el propósito de evaluar las conservaciones de superficies de rodaduras en las carreteras en la localidad Urumbisha – Maraypata del distrito y provincia de Ambo utilizando estabilizantes de suelo (orgánico e inorgánico). La base teórica para llevar a cabo el estudio corresponde a las recomendaciones de la normativa técnica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC-EG-200) y a las especificaciones técnicas dadas por los fabricantes de los dos productos. Se tuvieron dos tramos de la carretera donde se aplicaron los estabilizantes (grupo experimental) y un tramo sin aplicar estabilizante (sector patrón). La experimentación se llevó a cabo sobre la superficie de rodadura.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera los estabilizantes con Perma-Zyme y Cloruro Cálcico mejorará la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera el Perma-Zyme mediante la dosificación aplicada mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada?
- ¿De qué manera el Cloruro Cálcico mediante la dosificación aplicada mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada?
- ¿De qué manera el Perma-Zyme mediante la dosificación aplicada mejorará la integridad de la vía?
- ¿De qué manera el Cloruro Cálcico mediante la dosificación aplicada mejorará la integridad de la vía?

1.3 Objetivo general

Determinar de qué manera la aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico mejorará la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022

1.4 Objetivos específicos

- Evaluar que la dosificación aplicada con Perma-Zyme mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada
- Evaluar que la dosificación aplicada con Cloruro Cálcico mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada
- Determinar que la dosificación aplicada con Perma-Zyme mejorará la integridad de la vía de la carretera no pavimentada
- Determinar que la dosificación aplicada con Cloruro Cálcico mejorará la integridad de la vía de la carretera no pavimentada

1.5 Justificación de la investigación

A nivel teórico, el estudio amplía las técnicas existentes para evaluar la capacidad de proteger las superficies de laminación con estabilizadores, centrándose en los estabilizadores Perma-Zyme y el cloruro de calcio. Con

esto se buscó mejorar la conservación de la superficie activa de las canteras sin pavimentar, auxiliando en la estabilidad en lugar del uso de afirmado con material de préstamo o la pavimentación, los cuales son técnicas aplicadas actualmente.

A nivel práctico, la aplicación de los estabilizantes del suelo a las superficies de rodaduras en carreteras no pavimentadas trajo los siguientes beneficios:

- Confort adecuado y seguridad al usuario.
- Breve tiempo de construcción.
- Ahorro en el costo y transporte de material de préstamo.
- Ahorre en los costes de operación del vehículo.
- Disminuir el tiempo de viaje perdido.
- Protección de inversiones durante la construcción, reconstrucción o renovación.

A nivel metodológico, actualmente en el país, no existe un método de diseño detallado de estabilización. Sin embargo, tecnología que utiliza estabilizadores de suelos como alternativa para mejorar la protección de pavimentos no pavimentados está muy desarrollada en otros países de Latinoamérica. A nivel regional, se tienen pocos antecedentes (carretera Llata – Puños) y su aplicación es limitada. En ese sentido, la investigación contribuyó metodológicamente reportando todo el procedimiento realizado.

1.6 Limitaciones de la investigación

- Las principales limitaciones para el actual estudio fueron tiempo y la coyuntura que estamos atravesando (Estado de Emergencia), ya que actualmente tenemos que cumplir con los lineamientos de seguridad y los protocolos establecidos por la Resolución Ministerial N° 448-2020-MINSA.
- Para el trabajo de investigación se utilizó de manera independiente los estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico.

1.7 Viabilidad de la investigación

- El investigador posee conocimientos en estabilización de suelos y carreteras, por lo cual resulta viable el desarrollo del tema.
- El plazo estimado de 4 meses para desarrollar la tesis es suficiente.
- Se cuenta con acceso libre a investigaciones realizadas anteriormente en distintas universidades del Perú y América Latina principalmente.
- Disponibilidad de los recursos económicos necesarios para realizar el trabajo de campo y gabinete ya que el tramo no abarca muchos kilómetros. Además, se contó con el apoyo financiera de una empresa privada.
- Los permisos fueron facilitados por la Municipalidad Distrital de Ambo. Además, se tomó con el respaldo de mano de obra local a favor de los vecinos que moran cerca de la carretera.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En Colombia, Morales (2015) investigó Evaluación de la estabilidad en suelos de cenizas de carbón por activación alcalina y su aplicación en caminos no pavimentados:

Su investigación tiene como finalidad general determinar, evaluar y estimar la conducta mecánica de las cenizas de carbón como estabilizador de suelos y para calcular la capacidad de carga de los vehículos, se concluyó que una mezcla de Arcilla con CC con una concentración de 3.5 M NaOH obtuvo las mejores condiciones a una humedad superior al 95% a medida que se sometió a temperaturas de 40°C a 50°C, sin embargo, en el orden de 270 kPa, comparando los resultados estándar con NaOH vs CC Tamizada vs CColtejer, se observaron efectos negativos para CC en todas las condiciones de curado, por lo que se recomienda utilizar una dosis mayor de CC para las pruebas, tamizar a través de una malla más grande para filtrar la cantidad de materia no combustible y usar una relación molar más alta para mejorar la resistencia del suelo a UCS.

En Guatemala, Ruano (2012) se realizaron los estudios para estabilizar suelos cohesivos utilizando arena volcánica y cal viva. La investigación de Ruano (2012) incluye los siguientes factores:

Un objetivo importante de su labor científica fue realizar estudios precisos y mecánicos de la estabilidad de suelos cohesivos con arena volcánica y cal viva, realizar muestreos y pruebas en laboratorios de suelos, así como alcanzar y validar los resultados. Se ha descubierto que las propiedades de la arena volcánica proporcionan estabilizadoras positivas de los suelos cohesivos, que las minas utilizan con éxito en varios campos de la construcción, como la fundición de hormigón y la producción de hormigón prefabricado.

En Ecuador, Sánchez (2014) investigó la estabilidad de suelos expandidos con cemento y cal en la región caliza del Estado Tosagua, provincia de Manabí. Su investigación es la siguiente.:

Esta investigación tiene como propósito general es estabilizar el suelo expandido en la parte caliza del estado de Tosagua mediante el uso de cemento y cal para disminuir su capacidad de expansión. El área de calcio se seleccionó después de realizar las pruebas apropiadas para establecer si el material cumplía con las condiciones requeridas para este estudio. El material de este campo cumple con las propiedades requeridas para la estabilización con cemento y cal, ya que tiene un contenido orgánico de 0,22%, es decir, por debajo del nivel permisible de 1%, y un contenido de sulfato soluble de 2039 ppm, que se encuentra dentro de las 10000 rango permitido. La presencia de 10 % de montmorillonita y 10 % de vermiculita se confirmó por difracción de rayos X, lo cual es consistente con los datos de actividad del material. Por lo tanto, es posible la conservación del suelo que se hincha bajo la influencia de dichos minerales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En Lima, Choque (2012) realizar una evaluación de aditivos químicos de la eficacia de la conservación de la superficie de rodadura en carreteras sin pavimentos. El estudio de Choque (2012) consistió en lo siguiente:

El objetivo general de este estudio es analizar los aditivos químicos para la protección de superficies que soportan el avance de la carretera Ayacucho - Andahuaylas - Puente Sahuinto de 40.000 km y estudiar el vínculo entre ellos. Se halló que los campos estándares (campos sin aditivos) mostraron mayores rendimientos a lo largo del tiempo a costos de rendimiento significativamente más bajos a lo largo del tiempo que los campos tratados con aditivos químicos. (Cloruro de Calcio y producto PZ-22X).

En Huancayo, De la Cruz & Salcedo (2016) estudió la estabilidad de suelos cohesivos aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo – Junín. El estudio de se desarrolló de la siguiente manera:

El propósito general de este estudio es estudiar el efecto del aditivo Eco Road 2000 en las cualidades cohesivas del suelo en el anexo de Palian - Huancayo - Junín, se encontró que después de agregar el aditivo Eco Road 2000 al suelo natural, las partes físicas y mecánicas cambiaron significativamente ya que este aditivo acelera la expansión y contracción con el fin de conseguir un suelo estable.

En Lambayeque, Segura (2015) en la provincia de Lambayeque se realizaron estudios de estabilización de suelos plásticos fuertes con cemento Portland:

El objetivo general de su investigación fue la determinación de la ductilidad manejando cemento Portland en el campo de Lambayeque. Se implementa lo dispuesto en la normativa MTC E 1103-2000 la "Resistencia a la compresión de muestras de suelo-cemento" se utiliza con el fin de preparar muestras de suelo-cemento, su posterior rotura y obtener la capacidad de carga en kg/cm², este ensayo determinará la cantidad suficiente de cemento para mejorar las propiedades de los materiales naturales.

2.1.3. Antecedentes locales

En Huánuco, Espinoza (2010) el empleo de estabilizantes (terrazyme y zimplex pz - 22x, relación: 1lt por 33 m³ de suelo y 1lt por 30m³ de suelo) en polvo proporciona recomendaciones para mejorar las cualidades mecánicas y físicas del suelo. Su propuesta consistió en lo siguiente:

El objetivo general del estudio fue obtener la estabilidad del suelo mediante el manejo de estabilizadores de suelo (terrazyme y zimplex pz - 22x en la proporción: 1lt/33m³ de suelo y 1lt por 30m³ de suelo). Los resultados mostraron que, en caminos vecinales con suelo arcilloso, el estabilizador mejoró los parámetros físico-mecánicos del suelo. De igual forma, se proponen estabilizadores de suelo para reducir el grado de plasticidad del suelo. La capacidad de carga (CBR) del suelo también se puede aumentar.

Apolinario & Delgado (2019), estudiaron la estabilidad de la arcilla de bajo valor de soporte (CBR) para mejorar el lecho de la carretera. Su investigación consistió en lo siguiente:

Se experimentó con un aditivo químico de nombre comercial PROES y cemento para mejorar el valor relativo de soporte de suelos subrasantes arcillosos como alternativa al uso tradicional de material de préstamo. La dosificación que se usó consistió en 0.27 l/m³ de PROES y 50 kg/m³ de cemento Portland. Con esta dosificación la subrasante que tenía inicialmente un $CBR = 4.84\%$ alcanzó un $CBR = 54\%$, demostrando la alta efectividad de la combinación del aditivo con cemento. Adicionalmente, se hizo un análisis de costos donde existe un ahorro significativo de 30 % con respecto al uso de afirmado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estabilización de suelos

El MTC (2014) menciona lo siguiente:

El objetivo de la estabilización de suelos es optimizar las cualidades físicas y mecánicas del suelo por medio de la adición de productos químicos, naturales y sintéticos. Las estabilizaciones de las subrasantes se pueden realizar con cemento, cal, asfalto, etc. o con la mezcla de dos productos. Todo proceso de estabilización requiere de una compactación después de la dosificación y el mezclado de los materiales.

2.2.2. Clasificación de estabilizantes de suelos

De acuerdo con United States Department of Agriculture [USDA] (1999), los estabilizadores se ordenan de la siguiente manera:

Tabla 1: Clasificación de estabilizantes de suelos

Tipos de materiales	
Ligantes asfálticos	Emulsiones asfálticas
	Asfalto espumado
Cementantes	Cemento
	Cal

	Cenizas
Compuestos químicos no tradicionales	Estabilizantes (orgánico y sintético)
	Sales (cloruro cálcico, sodio y magnesio)

Nota. Tomada de Program dust palliative selection and application guide por United States Department of Agriculture [USDA], 1999, p. 2.

MTC (2014) también considera otras técnicas de estabilización como la estabilización mecánica o también conocida como compactación, la estabilidad de la mezcla de suelo y la estabilidad del reemplazo del suelo.

2.2.3. Criterios de selección de estabilizantes de suelos

No todos los suelos subrasantes deben ser estabilizados, sino que básicamente depende el CBR que tenga el suelo. MTC (2014) explica que los suelos con $CBR \geq 6\%$ son aptos como subrasante, en caso contrario serán necesarios estudios más especializados para definir otra técnica de estabilización tales como estabilización mecánica, reemplazo de subcapas, estabilización aditiva, estabilización geosintética, relleno, etc. (p. 92).

MTC (2014) menciona que el tipo de estabilización a emplear dependerá principalmente del tipo de suelo. Los suelos que requieren de estabilización son generalmente los del tipo limo, arcilla, arenas limosas o arenas arcillosas (MTC, 2014, p. 92).

En general, para los estabilizantes de suelo básicamente, se deben examinar dos propiedades de los suelos.

- Tipo de suelo
- Índices de plasticidad
- Porcentajes que pasa el tamiz N.º 200

Tabla 2: Estabilizador recomendado por tipo de suelo

Estabilizador recomendado	Tipo de suelo
Cloruro de calcio	A-1, A-2 y A-3
	$IP \leq 15\%$ <i>Contenido de materia orgánica < 3%</i>

	<i>Sulfatos < 0.2%</i>
	<i>Abrasión < 50%</i>
	A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7
	$6\% \leq IP \leq 15\%$
	$4.5 < pH < 8.5$
Enzimas	<i>Contenido de materia orgánica = 0%</i>
	<i>Abrasión < 50%</i>
	$10 \leq \% \text{ Pasa } N.^\circ 200 \leq 35$

Nota. Adaptada de Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos por MTC, 2014, p. 97.

2.2.4. Cloruro Cálcico

Según QUIMPAC S.A. (s.f.),

En general, el cloruro puede colaborar a la compactación al unir las partículas del suelo y reducir la fricción entre ellas. Producen un catión divalente que puede alterar la base de la arcilla, aumentar el proceso de floculación, aglomerar sustancias coloidales y contribuir a aumentar la resistencia. Del mismo modo, el cloruro puede aumentar significativamente la tensión superficial, haciendo que los suelos sean muy cohesivos y, por lo tanto, aumente la resistencia del suelo. Además, también reducen la presión de vapor en la estructura interna, por lo que, a menor presión, el suelo retiene más humedad, que es uno de los elementos que evitan el deterioro de la superficie de la calle. Estos estabilizadores absorben o retienen la humedad de manera efectiva (por encima del 29 % al 40 %) y dependen de la temperatura ambiente. Hay que tener en cuenta que su desventaja es su solubilidad que hace que sean llevados por las lluvias en algunas situaciones.

2.2.4.1. Ventajas y tipos

Según MTC (2014), el Cloruro Cálcico es un material estabilizante que trabaja similarmente a la sal, pero que tiene además un efecto antioxidante, por lo cual su uso es más recomendado. Se puede usar de dos formas. La primera forma o Tipo I consiste en granos regulares y la segunda forma o Tipo II consiste en hojuelas. Sus ventajas son:

- Ayuda durante la compresión.

- Ayuda con la resiliencia del suelo.
- Evite que la superficie se agriete.
- Es un regulador de polvo.

QUIMPAC S. A. (2021) menciona algunas otras ventajas:

- La capacidad de extraer humedad del aire en función de la temperatura y la humedad relativa, por ejemplo, a 25 °C (77 °F) empieza a absorber agua.
- Incrementa la tensión superficial de la película de agua entre las partículas, lo que frena la evaporación e incrementa la compactación del suelo formado.
- Los caminos despejados se pueden moldear y compactar sin pérdida de humedad y densidad.

2.2.4.2. Dosificación y mezclado

$$W_{CaCl_2} = (1 \% - 2 \%)W_s \quad (1)$$

Donde:

W_{CaCl_2} es el peso de cloruro de calcio

W_s es el peso del suelo seco del agregado

El peso seco necesario se puede determinar a partir del volumen V y el peso unitario seco del suelo γ_d .

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2)$$

QUIMPAC S. A. (2021), en tráfico pesado, se recomiendan las siguientes dosis:

Tabla 3: Dosificaciones con Cloruro Cálcico

Producto químico	Dosificación
$ClCa_2$	4 kg/m ²

Nota. Tomada de Especificaciones Técnicas de Cloruro Cálcico – QUIMPAC S. A.

2.2.4.3. Requerimientos

MTC (2014) menciona que el suelo debe tener las siguientes características:

- Agregado grueso (1" – No. 4): 10 – 60 %
- % Pasa N.º 200: 10 – 30 %
- Índices de plasticidad: 4 – 15 %
- Contenido de sulfatos: 0.2 % máximo

Por otro lado, QUIMPAC S. A. (2021) recomienda que los estabilizantes de suelos requieren parámetros los parámetros siguientes:

Tabla 4: Requerimientos mínimos para el uso de Cloruro Cálcico

Requerimientos	Resultado
% finos mayores al 18 %	22.44 %
IP entre 4 y 10 %	9.12 %
PH del agua entre 5.5 a 8	7.03

Nota. Tomada de QUIMPAC S. A.

2.2.4.4. Especificación del producto

- Fabricante: QUIMPAC S.A.
- Producto comercial en nuestro medio: QUIM KD 40
- Especificación del fabricante: Es un producto a base de cloruro de calcio como compuesto base, complementado con un aditivo para dar al producto final la forma, el equilibrio y la calidad requerida con el fin de obedecer con éxito la aplicación sus especificidades.

2.2.5. Perma-Zyme

De acuerdo con Polidem (2021),

Los productos a base de enzimas para estabilizar la arcilla plástica operan como catalizadores, ya que la estructura de la molécula presenta sustancias activas que aceleran la unión de la arcilla, si Perma-Zyme acelera

significativamente el procedimiento humectante del agua y creando un efecto de unión para materiales lisos, reduciendo los vacíos. La acción cohesiva de este procedimiento origina una fuerte actividad cementante, elaborando posteriormente un estrato resistente e intacto.

2.2.5.1. Atributos

- Utilización del suelo del lugar
- Laboreo mecánico mínimo
- Generalmente efectiva independientemente de las condiciones climáticas

2.2.5.2. Limitaciones

- Sus propiedades dependen de la composición mineral de la arcilla fina.
- Se tarda más en reaccionar con piezas más pequeñas.
- Vidas útiles limitadas.

2.2.5.3. Especificaciones del producto

- Nombre comercial: Perma-Zyme
- Fabricante: World Wide Ezymes Inc.
- Descripción del producto:
- La catálisis enzimática aumenta la humectación del agua. También provoca la coagulación de la arcilla plástica y reduce la porosidad. Por lo tanto, las partículas del suelo son más densas.

2.2.5.4. Requerimientos

Los estabilizadores de suelo requieren parámetros específicos que deben cumplir el suelo y el agua utilizados en la construcción.

Tabla 5: Requerimientos del suelo para aplicación de Perma-Zyme

Requerimientos	Resultado
% finos mayores al 18 %	22.44 %
IP entre 4 y 10 %	9.12 %
PH del agua entre 5.5 a 8	6.96

Nota. Tomada de Perma-Zyme – World Wide Enzymes.

2.2.5.5. Dosificación

Los proveedores de estos productos químicos recomiendan las siguientes dosis:

Tabla 6: Dosificación con Perma-Zyme

Producto químico	Dosificación
Enzima	1 l / 30 m ³

Nota. Tomada de Perma-Zyme – World Wide Enzymes.

2.2.6. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Según Revista de Ingeniería de Construcción (1989),

Este es un indicador estadístico de la rugosidad de la superficie de la carretera, que representa la discrepancia entre la sección longitudinal teórica y la sección longitudinal real en el momento de la medición. El perfil real es el último contorno construido con un IRI > 0 (en estado cero) y está activo debido al tráfico, aumentando su valor, lo que indica una anomalía mayor. Se determina sobre la base de cálculos matemáticos utilizando la altura de la sección longitudinal obtenida por cualquier método o dispositivo.

2.2.6.1. Ventajas

El IRI es un modelo matemático cuyos resultados son independientes del método y equipo utilizado para medir el perfil.

La tecnología o equipo y la frecuencia de muestreo deben ser confiables. La precisión del hardware es un tema largamente desarrollado en la medición de la rugosidad. El campo de entrenamiento más corto es de 320 metros y las carreteras pueden tener cualquier longitud. La relación entre la diferenciación de la rugosidad del camino medio y su longitud.

2.2.7. Índice de la condición de la vía no pavimentada (ICVNP)

Según Revista de Ingeniería de Construcción (1989),

El Índice de Condición de Carreteras No Pavimentadas es un índice numérico fundamentado en una escala de 0 (cero) a 100 (cien). establece la integridad de la vía y su estado operativo. Se determina midiendo los defectos del pavimento. Este método ha demostrado ser efectivo en pruebas de campo para identificar los requerimientos de mantenimiento de la infraestructura rural no pavimentada y luego prevalecer las opciones más adecuadas para restringir la actividad económica.

Las mediciones de defectos se utilizan con el fin de calcular el Índice de condición de carreteras sin pavimentar (ICVNP) y se fundamentan en deducciones. El valor deducido es un factor entre 0 y 100, donde 0 significa que el error no afecta la condición de la pista y 100 significa que el error no la afecta en absoluto.

Para calcular esta métrica, siga estos pasos:

- Calcule la densidad para cada tipo de defecto, tales como: sección transversal incorrecta, drenaje insuficiente, ondulación, baches, surco redondo, pérdida de agregados.
- $Densidad = \frac{\text{número de defectos} \times K \times 100}{\text{área de unidades simples}}$.
- Al usar la curva de valor depreciado, puede encontrar el valor deducible para cada tipo y gravedad de discapacidad.
- Encuentre el valor de la deducción final (VDF) y q . VDF es la adición de todas las deducciones, y " q " es el número de valores individuales con una deducción mayor a 5.

2.3. Definiciones conceptuales

- Estabilizante de suelo: Se añaden productos al suelo con el fin de optimizar sus cualidades mecánicas y físicas. (MVCS, p. 38)
- Estabilización de suelos: Procesos físicos y/o químicos mediante los cuales se mejoran las cualidades mecánicas y físicas de los suelos naturales en materiales de corte o relleno con el fin de estabilizarlos (MVCS, p. 41)

- Superficie de rodadura: La superficie superior de la carretera, donde se aplica la carga directa del tráfico. En particular, debe resistir fuerzas tangenciales. Esta es el área a través de la cual fluye el tráfico. (Diccionario de la construcción, 2022)
- Afirmado: Las capas de materiales seleccionados se tratan para adaptarse al diseño, se colocan en la base o subestructura. Sirve como una capa rodante y ayuda al tráfico en caminos sin pavimentar. Esta capa se puede estabilizar. (MVCS, 2010, p. 38)
- Calzada: parte de la vía para el tránsito vehicular (MVCS, 2010, p. 38)
- Berma lateral: La franja longitudinal es adyacente y paralela a la calzada. Se emplea como un lugar seguro para estacionar y cierre la acera en caso de emergencia (MVCS, 2010, p. 38)
- Camino rural: Las carreteras rurales son rutas de poco tráfico que conectan pueblos y ciudades pequeñas. Brindan a la población rural acceso a bienes y servicios como atención médica y educación, y vinculan las actividades agrícolas, mineras y forestales con caminos y mercados regionales (Wikipedia, 2022)
- Valor relativo de soporte (CBR): Medida de la resistencia de la subrasante de un camino o área pavimentada y los otros materiales usados en su construcción (MTC, 2016)
- Índice de Rugosidad Internacional (IRI): Parámetros para describir las regularidades de una vía y las comodidades en la conducción (ASTM, 1995)
- El Índice de Condición en Vía No Pavimentada: basado en un índice numérico de 0 a 100 (ASTM, 2007)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Hi: La aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico mejora la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022

2.4.2. Hipótesis específicas

H₁: La dosificación aplicada con Perma-Zyme mejora las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada.

H₂: La dosificación aplicada con Cloruro Cálcico mejora las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada.

H₃: La dosificación aplicada con Perma-Zyme mejora la integridad de la vía de la carretera no pavimentada.

H₄: La dosificación aplicada con Cloruro Cálcico mejora la integridad de la vía de la carretera no pavimentada.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Estabilizante de suelo

2.5.2. Variable independiente

Superficie de rodadura en la carretera no pavimentada

2.6. Operacionalización de variables (Dimensiones e Indicadores)

Tabla 7: Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE:			
Estabilizantes de suelos	Perma-Zyme Cloruro Cálcico	Dosificación de estabilizante Perma-Zyme l/ m ³ Dosificación de estabilizante Cloruro Cálcico kg/ m ²	Ficha de muestreo
VARIABLE DEPENDIENTE:			
Superficie de rodadura en la carretera no pavimentada	Superficie de rodadura	El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) El Índice de Condición en Vía No Pavimentada (ICVNP)	Formato de ensayo contenido de humedad Formato de ensayo CBR Ficha de ensayo de durabilidad Ficha de control de baches

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Enfoque

Para Hernández (2018), la indagación es cuantitativa, ya que la presente investigación trato de dar nuevas soluciones para la mejora de propiedades de superficies de rodadura utilizando estabilizantes de suelo. Asimismo, la investigación es aplicada ya que permitió resolver los problemas transitabilidad en carreteras no pavimentadas rurales.

3.1.2. Alcance o nivel

Según con Hernández (2018), el nivel de estudio es: explicativo debido que se planteó resolver el problema de degradación de caminos no pavimentados y explico el comportamiento de las superficies de rodadura en función los estabilizantes de suelo debido a que el resultado de este se dio en función de cuanto estén analizadas.

3.1.3. Diseño

Hernández (2018) explica que el diseño de investigación al que pertenece es cuasiexperimental, teniendo en cuenta que su clasificación pertenece a la forma experimento puro. Este es un experimento en el que manipulas una variable y controlas el resto.

En la primera etapa del trabajo, se realizó una inspección de campo donde se organizó y planeo la realización de un levantamiento topográfico. Asimismo, se identificó los puntos representativos para la exploración de suelos (toma de muestras) de acuerdo con el Manual de Carreteras del Perú.

En la segunda etapa se realizó los ensayos de laboratorio para verificar que el afirmado que se utilizó cumpla con la normativa técnica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC-EG-200). También se evaluó el IRI de la vía. Los ensayos que se realizaron fueron:

- Contenidos de humedad (MTC E-108/ASTM D-2216)
- Límites de consistencias (MTC E-110 y MTC E-111/ASTM D-4318)
- Análisis granulométrico (MTC E-107/ASTM D-422)
- Proctor modificado (MTC E 115)
- Valor relativo de soporte (CBR)
- Determinación del IRI empleando el rugosímetro MERLIN
- Ensayos de durabilidad
- Ensayos de equivalentes de arena

En la tercera etapa, se ejecutó la aplicación de los estabilizantes de suelos sobre los dos tramos específicos a comparación del sector patrón (sin estabilizante) de la carretera cada uno incluyendo también su respectiva compactación.

En la etapa final, se extraen conclusiones analizando los resultados conseguidos y elaborando un informe de investigación.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La carretera no pavimentada se encuentra ubicada en: la localidad Urumbisha – Maraypata en el distrito y provincia de Ambo, región Huánuco.

Lugar	:	Urumbisha - Maraypata
Distrito	:	Ambo
Provincia	:	Ambo
Departamento	:	Huánuco
Longitud	:	$L = 4540 \text{ m}$

3.2.2. Muestra

La muestra es probabilística que consta de tres tramos de 300 m. El primer tramo no recibió ningún estímulo o estabilizante y constituyo el sector patrón. Se aplicó el estabilizante Perma-Zyme en el segundo. El estabilizante Cloruro Cálcico se aplicó sobre el tercer tramo.

Tabla 8: Características de los sectores de prueba

	Leyenda	Longitud	Ancho promedio
Sector A	Sin aditivo		
Sector B	Perma-Zyme	300 m	6 m
Sector C	Cloruro Cálxico		

Nota. Elaboración propia

El muestreo probabilístico sistemático llevó a cabo de la siguiente manera:

$$Longitud\ total = 4540\ m$$

$$Longitud\ del\ tramo = 300\ m$$

$$Número\ de\ tramos = 3$$

Realizamos una lista ordenada de N sujetos de la población, que será el marco muestral.

$$N = \frac{Longitud\ total}{Longitud\ del\ tramo} = 15.13$$

Dividimos el marco muestral en n bloques, donde n es el tamaño de muestra deseado. Las dimensiones de estas piezas serán:

$$K = \frac{N}{n} = 5.04$$

Donde K es el intervalo o coeficiente de elevación.

Número de inicio: obtenemos un entero aleatorio A menor o igual al intervalo. Este número representará la primera entidad que elegimos para muestrear en el primer segmento de nuestra población subdividida.

$$A = 2$$

Selección de los n-1 individuos restantes: Las muestras posteriores se seleccionan de muestras seleccionadas al azar, aritméticamente, de los segmentos restantes, donde dividimos la muestra en las mismas posiciones que el intento original. Esto es equivalente a decir que elegiremos personas.

$$\text{Tramo 1} = 2.00 \quad \text{Prog. 300 al 600}$$

$$\text{Tramo 2} = 8.00 \quad \text{Prog. 2100 al 2400}$$

Tramo 3 = 14.00 Prog. 3900 al 4200

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Para la recolección de datos

I. Técnicas

- Análisis documental

Los datos de fuentes secundarias como periódicos, folletos, revistas, boletines, libros se utilizaron como fuente para recopilar data acerca de las variables de interés (ver bibliografías).

- Observación de campo experimental

Se recolectaron datos de campo a simple inspección visual como el estado de la vía, número de carriles, ancho de la vía, longitud de la vía, grado de daño (baches).

II. Instrumentos

- Instrumento de recojo de data de trabajo de campo

❖ Libreta de campo (Levantamiento topográfico).

❖ Formato de muestreo probabilístico sistemático (Ver Anexos).

❖ Perfil estratigráfico del suelo.

- Instrumento de recojo de data de laboratorio

a. Guías de laboratorio

❖ Métodos estándar de ensayo para: Límite líquido, límite plástico e índice plástico del suelo (Anexo ASTM D 4318-05).

❖ Método del análisis del tamaño de las partículas de suelo (Anexo ASTM D 422-63).

❖ Método de prueba estándar para el establecimiento en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa (Anexo ASTM D 2216-98).

❖ Métodos de ensayos estándar para: Determinación de la dependencia de la humedad en la densidad del suelo y la mezcla del suelo con clasificación de martillo de 4.54 kg

(10lb) y una caída de 457 mm (18 pulgadas) (Anexo ASTM D 1557-78).

b. Instrumentos de laboratorio

- ❖ Equipo Merlín.
- ❖ Tamices.
- ❖ Equipo CBR
- ❖ Equipo Proctor.

3.3.2. Para la presentación de datos

Los resultados se presentan a manera de tablas y gráficos de estadística descriptiva. La prueba t-Student se utiliza para probar la hipótesis. Para comparar la diferencia promedio en los resultados de las pruebas, toda la pista de pruebas se divide en tres de 300 metros de largo con las características a continuación:

Tabla 9: Características de los sectores de prueba

	Leyenda	Longitud	Ancho promedio
Sector A	Sin aditivo		
Sector B	Cloruro de calcio	300 m	6 m
Sector C	Perma-Zyme		

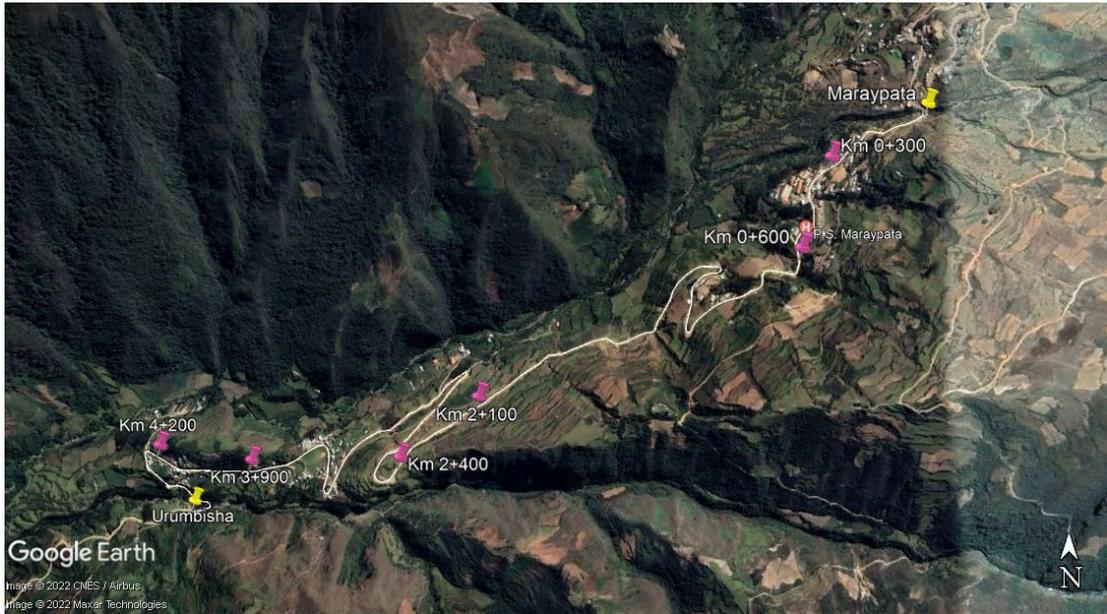
Nota. Elaboración propia

Tabla 10: Ubicación de los sectores de prueba

SECTOR	ITEM	ESTE	NORTE
A	Inicio	378567.66	8875564.96
	Final	378488.97	8875447.49
B	Inicio	377605.79	8875030.99
	Final	377377.85	8874852.25
C	Inicio	376926.52	8874830.61
	Final	376641.10	8874868.62

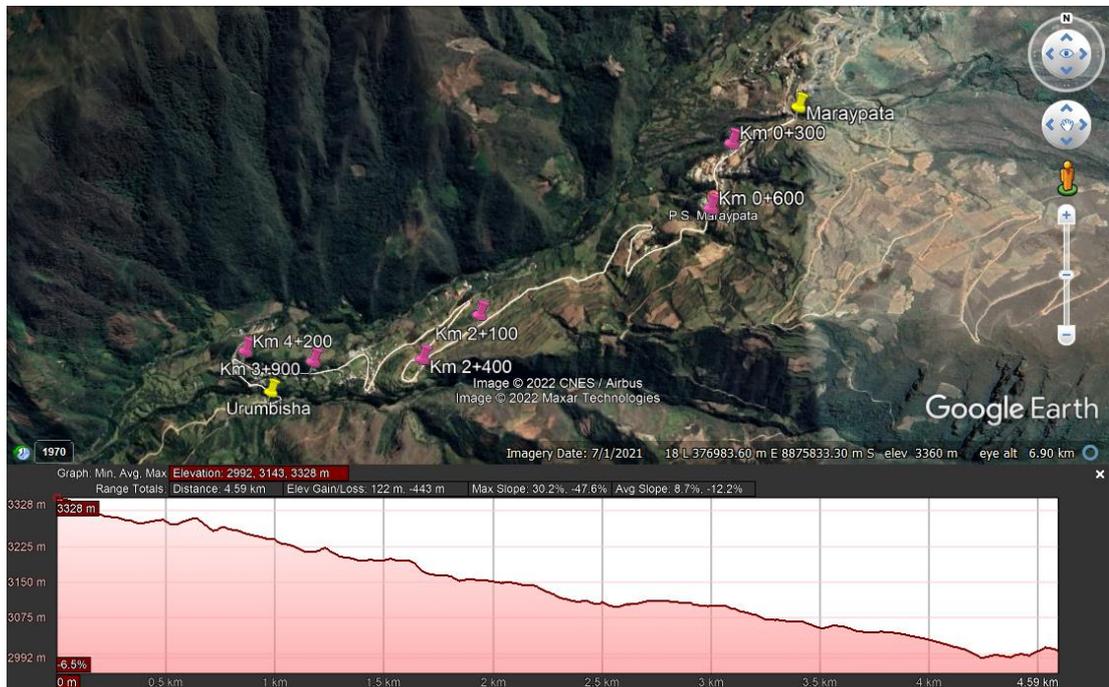
Nota. Elaboración propia

Figura 1: Disposición de los sectores



Nota. Elaboración propia

Figura 2: Perfil longitudinal del tramo



Nota. Elaboración propia

3.3.3. Para el análisis e interpretación de los datos

En esta parte del estudio, se evalúa la información de campo y luego se asegura la confiabilidad de las encuestas manejando el Excel.

Para la medición de baches se tomó el siguiente criterio de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 11: Criterios de medición de fallas

PROFUNDIDAD		DIÁMETROS PROMEDIO BACHE (cm)		
		MENOR A 30	30-70	MAYOR A 70
B	Menor a 2.5 cm	B	B	M
M	Entre 2.5 a 5.0 cm	B	M	A
A	Mayor a 5.0 cm	M	M	A

Nota. Elaboración propia

Donde:

B: Bajo

M: Medio

A: Alto

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Procesamiento de datos

4.1.1. Sectorización

4.1.1.1. Metodología aplicada

Podemos agrupar las pendientes y la curvatura media en 4 grupos como se desarrolla en la Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12: Criterio para pendiente o inclinación media

PENDIENTE MEDIA		
PENDIENTE MEDIA (%)	CALIFICACIÓN	VARIABLE
0 a 8	Llano	P1
8 a 20	Ondulado	P2
20 a 30	Accidentado	P3
Mayor a 30	Montañoso	P4

Nota. Elaboración propia

Tabla 13: Criterio para curvatura media

CURVATURA MEDIA		
CURVATURA MEDIA (GRADOS/KM)	CALIFICACIÓN	VARIABLE
0 a 25	Rectilíneo	C1
25 a 50	Normal	C2
50 a 75	Regular	C3
Mayor a 75	Sinuoso	C4

Nota. Elaboración propia

Como punto de inicio determinaremos la condición de elección de las áreas que posean una curva por kilómetro; esto sucede por el hecho de que para fines de medición de la IRI (regularidad superficial) se exploraron superficies lo menos sinuosos de tal forma que no se desfigure la medida.

Las altitudes se ordenaron en tramos tomando en consideración como cota base los 2999.71 msnm (en vista de que los vehículos según ascienden a cotas superiores empiezan a poseer superiores exigencias operativas) y los pisos altitudinales; del mismo modo que se observa en el Tabla 14.

Tabla 14: Criterio de altitudes

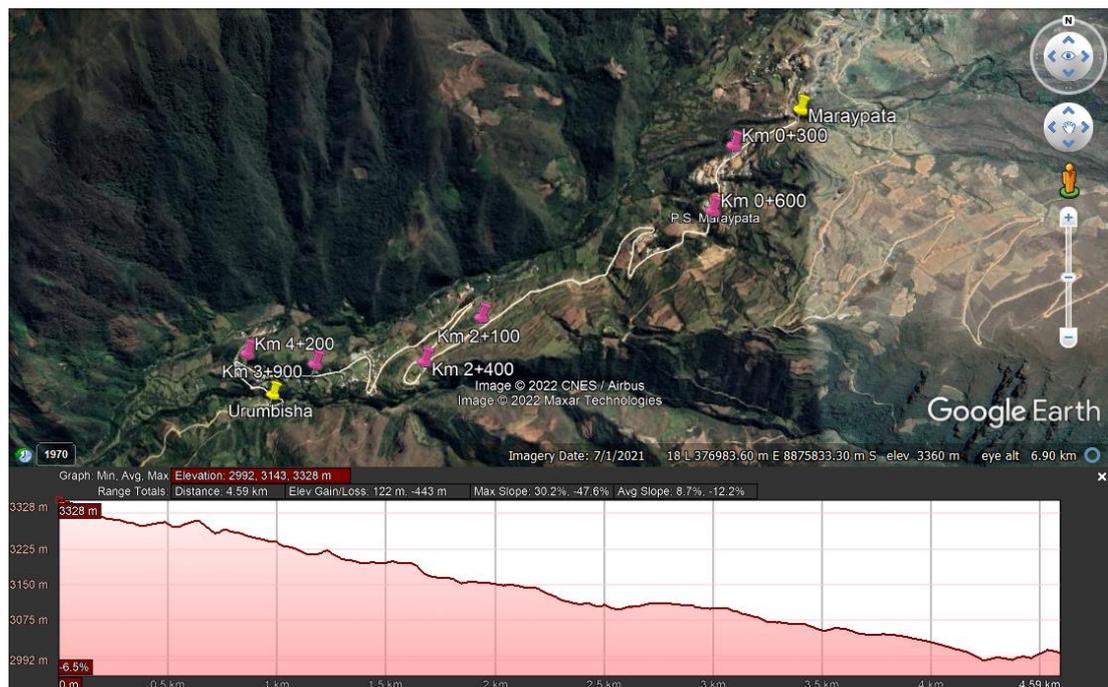
REGIONES	CALIFICACIÓN	VARIABLE
Yunga	De 500 a 2000	H1
Quechua	De 2000 a 3000	H2
Suni	De 3000 a 4000	H3
Puna	Mayores a 4000	H4

Nota. Elaboración propia

4.1.1.2. Procedimiento de elección

Mediante el muestreo probabilístico sistemático y el perfil longitudinal que se obtuvo se pudo hacer una gran sectorización, teniendo en consideración la altura de los 2999.71 msnm y los rangos de las altitudes determinadas.

Figura 3: Perfil longitudinal de la carretera en estudio



Nota. Elaboración propia

Se lograron 3 sectores que se fraccionaron en tramos en los rangos a continuación:

Tabla 15: Sectorización para la aplicación de los estabilizantes

TRAMOS	LONGITUD	PROGRESIVA	
	DEL TRAMO	Km INICIO	Km FINAL
1	300	0+000	0+300
2	300	0+300	0+600
3	300	0+600	0+900
4	300	0+900	1+200
5	300	1+200	1+500
6	300	1+500	1+800
7	300	1+800	2+100
8	300	2+100	2+400
9	300	2+400	2+700
10	300	2+700	3+000
11	300	3+000	3+300
12	300	3+300	3+600
13	300	3+600	3+900
14	300	3+900	4+200
15	340	4+200	4+540

Nota. Elaboración propia

Se unieron sectores de longitud 300 m con sus pertinentes pendientes medias (P.M), curvaturas medias (C.M), altura media (A.M) y la cantidad de curvas por cada 300 m. Después se buscaron los sectores que solamente cuenten con la menor cantidad de curvas. Estos se identificaron a lo largo de la carretera.

Tabla 16: Sectorización resultante

Progresiva		Pendiente e Media (%)	Variable	Curvatur a Media (°/km)		A.M (m)	Variable
Km INICIO	Km FINAL						
0+000	0+300	15.00	P2	41.63	C2	3304.33	H3
0+300	0+600	0.72	P1	55.51	C3	3278.83	H3
0+600	0+900	13.97	P2	62.56	C3	3265.17	H3
0+900	1+200	6.55	P1	54.85	C3	3231.17	H3
1+200	1+500	2.43	P1	57.71	C3	3204.83	H3
1+500	1+800	7.97	P1	39.43	C2	3181.83	H3
1+800	2+100	3.87	P1	12.33	C1	3154.67	H3
2+100	2+400	11.28	P2	13.88	C1	3130.17	H3
2+400	2+700	0.53	P1	56.83	C3	3106.17	H3
2+700	3+000	1.75	P1	49.12	C2	3107.33	H3
3+000	3+300	8.73	P2	40.31	C2	3087.83	H3
3+300	3+600	4.65	P1	47.58	C2	3063.67	H3
3+600	3+900	6.53	P1	38.55	C2	3047.50	H3
3+900	4+200	13.25	P2	7.27	C1	3022.17	H3
4+200	4+540	1.73	P1	103.74	C4	2999.71	H2
Mayor frecuencia			P1	Llano	C2	Normal	H3

Nota. Elaboración propia

En cada subtramo se buscaron las siguientes condiciones:

Tabla 17: Sector con mayor pendiente

Tramo	Progresiva		Pendiente	Curvatura
1	0+000	0+300	P2	41.63

Nota. Elaboración propia

Tabla 18: Sector con menor pendiente

Tramo	Progresiva		Pendiente	Curvatura
9	2+400	2+700	P1	56.83

Nota. Elaboración propia

Tabla 19: Sector con mayor curvatura

Tramo	Progresiva		Pendiente	Curvatura
15	4+200	4+540	P1	103.74

Nota. Elaboración propia

Tabla 20: Sector con menor curvatura

Tramo	Progresiva	Pendiente	Curvatura
14	3+900	4+200	P2
			7.27

Nota. Elaboración propia

Las lluvias poseen un origen orográfico con valores que varían entre los 545 mm (a 2999.71 msnm) y los 665 mm (a 3304.33 msnm). No se evidenciaron grandes contrastes en los sectores alrededor de la carretera.

Tabla 21: Precipitaciones máximas de acuerdo con la altitud

RANGO DE ALTITUDES	PRECIPITACIONES MAX. MENSUALES (mm)
< 2400	Máx. 555
[2400, 3650]	Máx. 658
> 3650	> 658

Nota. Elaboración propia

De los 15 sectores resultantes se eligió el sector que posea un escenario poco favorable:

- Precipitaciones acumuladas mensuales de 545 mm, con 2999.71 msnm de altitud.
- Curvatura rectilínea para fines de la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)
- Pendiente llana.

4.1.1.3. Resultado

Se escogieron los siguientes sectores con las características a continuación:

- Pendiente media (m/km): Llana.
- Curvatura media (grado/km): Normal.
- Altitud: mayor a los 2999.71 msnm.
- Progresivas:

Tabla 22: Progresivas

Tramo	Inicio	Final
2	Km 0+300	Km 0+600
8	Km 2+100	Km 2+400
14	Km 3+900	Km 4+200

Nota. Elaboración propia

- Ancho de calzada: 6.0 m en promedio.

Figura 4: Vista satelital de los sectores



Nota. Elaboración propia

4.1.2. Descripción de los sectores

La estabilización de suelos se hizo de acuerdo al planteamiento de realizar una reproducción con aporte de material en las áreas establecidas como áreas de prueba. El tramo de prueba posee un promedio de 6.0m. de ancho con lugares donde llegan hasta 4.5m. El estado superficial en que se ubica la carpeta de rodadura es regular contando con la problemática de levantamiento de polvo a medida que hacen su recorrido los vehículos de carga pesada de gran tonelaje. Las cunetas y las alcantarillas existentes se encuentran sucias, siendo indispensable hacerles limpieza. La temperatura en época de estiaje desde las 9:00 am hasta las 3:00 pm se realiza y luego de esa hora hay incidencias de vientos y la depreciación de temperatura de manera gradual. No obstante, en invierno las temperaturas se reducen y las precipitaciones son más invariables.

4.1.3. Estudio de canteras

4.1.3.1. Ubicación

La cantera está localizada a 2.8 km del puente Matichico, en la localidad de Matichico.

Figura 5: Ubicación de la cantera



Figura 6: Vista general de la cantera



4.1.3.2. Potencia

Esta cantera cuenta con una potencia aproximada de 10,000 m³ con un rendimiento al 70%.

4.1.3.3. Requerimientos

Los materiales que se extraen de la cantera deben cumplir con la norma técnica del MTC- EG-200 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) con los requerimientos a continuación:

- Los agregados con el fin de la construcción del afirmado se ajustaron a alguna de las franjas granulométricas siguientes:

Figura 7: Usos granulométricos

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	A-1	A-2
50 mm (2")	100	-----
37.5 mm (1½")	100	-----
25 mm (1")	90 - 100	100
19 mm (¾")	65 - 100	50-100
9.5 mm (3/8")	45 - 80	65-100
4.75 mm (N.º 4)	30 - 65	50-85
2.0 mm (N.º 10)	22 - 52	33-67
4.25 mm (N.º 40)	15 - 35	20-45
75 mm (N.º 200)	5 - 20	5-20

Nota. Elaboración propia

Asimismo, deberán obedecer con los requisitos de calidad mostrados a continuación:

- Límite Líquido : 35 % máx. (MTC E 110)
- Desgaste Los Ángeles : 50 % máx. (MTC E 207)
- CBR : 40% mín. (MTC E 132)
- Índice de Plasticidad : 4 – 9 % (MTC E 111)
- Equivalente de Arena : 20 % mín. (MTC E 114)

El CBR es referido al 100 % de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 2.5mm (0.1").

4.1.3.4. Ensayos de laboratorio

Se sustrajo muestras de la cantera y se trasladaron con el fin de ser estudiadas en el laboratorio de mecánica de suelos UNHEVAL, localizado en la ciudad de Huánuco. Se aplicaron los ensayos siguientes:

- Límite de Consistencia (MTC E-110, MTC E-111/ASTM D-4318)
- Contenido de Humedad (MTC E-108/ASTM D-2216)
- Granulometría (MTC E-107/ASTM D-422)
- Ensayo de equivalente de arena
- CBR
- Proctor Modificado
- Ensayo de durabilidad

4.1.3.5. Resultados

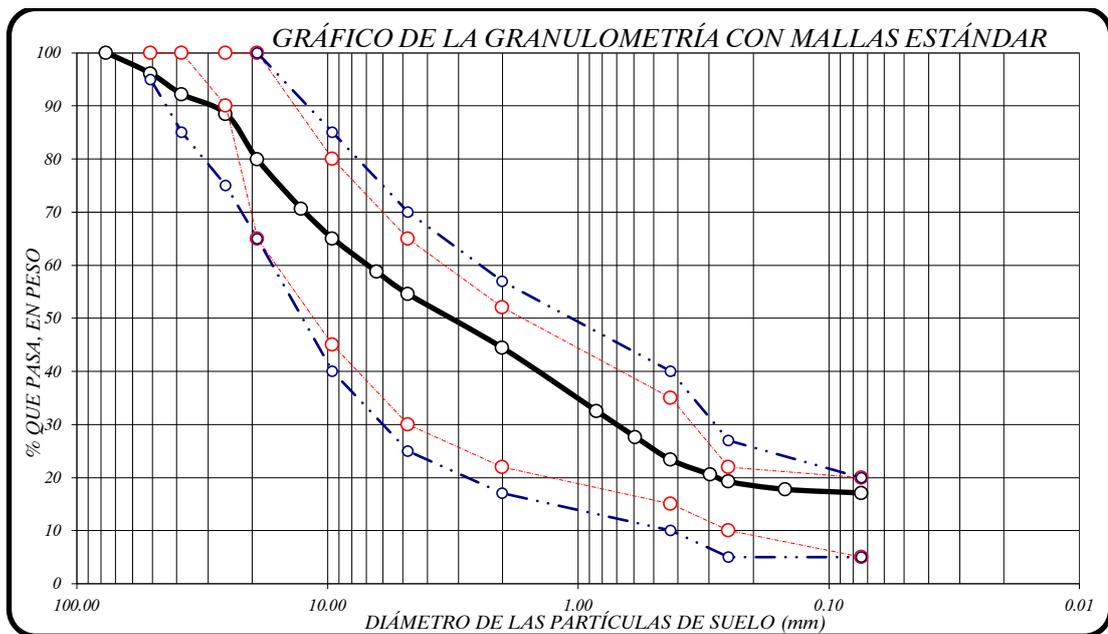
- Granulometría

Figura 8: Resultados del laboratorio UNHEVAL

TAMIZ No	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	346.40	3.90	3.90	96.10
1 1/2"	38.100	348.70	3.92	7.82	92.18
1"	25.400	328.40	3.69	11.52	88.48
3/4"	19.050	762.70	8.58	20.10	79.90
1/2"	12.700	824.60	9.28	29.37	70.63
3/8"	9.525	498.40	5.61	34.98	65.02
1/4"	6.350	560.00	6.30	41.28	58.72
No 4	4.760	372.20	4.19	45.47	54.53
No 10	2.000	901.50	10.14	55.61	44.39
No 20	0.840	1059.60	11.92	67.53	32.47
No 30	0.590	430.60	4.84	72.38	27.62
No 40	0.426	381.80	4.30	76.68	23.32
No 50	0.297	245.10	2.76	79.43	20.57
No 60	0.250	120.80	1.36	80.79	19.21
No 100	0.149	127.60	1.44	82.23	17.77
No 200	0.074	60.90	0.69	82.91	17.09
CAZOLETA	0.000	1518.70	17.09	100.00	0.00
TOTAL		8888.00	100.00		

Nota. Elaboración propia

Figura 9: Curva granulométrica



Nota. Elaboración propia

- Desgaste de los Ángeles: OK (19 % < 50 %)
- Límite Líquido: OK (29.50 % < 35 %)
- Factor de Plasticidad: OK (4 < 8.29 < 9)
- CBR: OK (78 % > 40 %)

Otros resultados:

- El suelo es arena arcillosa con grava.
- La humedad óptima es de 6.79 %
- La densidad máxima seca es de 2.254 gr/cm³

4.1.4. Producción y transporte de material de afirmado

4.1.4.1. Ubicación

La cantera está localizada en el Km 107+000 de carretera Huánuco - Ambo a una distancia de acarreo de Km 2+830 del inicio de la carretera a Matichico. Tiene una potencia de 10,000 m³ aproximadamente con una eficiencia del 70%.

4.1.4.2. Equipos

Con el fin de la producción de afirmado se utilizaron los equipos siguientes: Una retroexcavadora, una de capacidad en el cucharón de 0.21m³ y lampón 1 m³. Para el transporte de material de afirmado se utilizaron: un volquete de capacidad de 15m³ cada uno.

4.1.4.3. Instalación de zaranda

Se empleó una zaranda mecánica que fue elaborada de varillas de acero colocadas de tal manera que solamente pasen las partículas inferiores a 2plg. Se estudió la disposición en campo de la zona en el cual se va a depositar el material procesado. Como un alcance de campo y luego de varias pruebas se logró determinar el ángulo de pendiente de la zaranda de 55° para la apropiada caída del material. En la imagen siguiente se observa la disposición que se consiguió en la zaranda.

Figura 10: Ingreso de las maquinarias



Figura 11: Acondicionamiento de zonas para material procesado



4.1.4.4. Proceso de zarandeo

Con el equipo ubicado en obra se efectuaron trabajos mixtos en cantera. La retroexcavadora debilita el material del banco, después se traslada para zarandear el material y por último transporta el material y carga al volquete.

4.1.4.5. Transporte de material de afirmado

Ya procesado el material de afirmado es trasladado por el volquete y ubicado en obra junto al carril. Se tomó en sumo cuidado la seguridad del material acumulado en la plataforma de la vía.

4.1.5. Fuentes de aguas

4.1.5.1. Ubicación

Se identificó dos fuentes de agua cercana a la zona de prueba que se ubica en la siguiente progresiva:

Tabla 23: Ubicación de las fuentes de agua

KM	CÓDIGO
0+350.00	FA1
3+950.00	FA2

Nota. Elaboración propia

4.1.5.2. Análisis de laboratorio

Tabla 24: Resumen de resultados de laboratorio

RESULTADOS		
KM	CODIGO	PH
0+350.00	FA1	7.20
3+950.00	FA2	7.00

Fuente. DIRESA

4.1.6. Proceso constructivo sin estabilizante (Sector A)

Con el fin de determinar los cálculos de la cantidad de agua requerida para el perfilado con aporte de material se debe tener la información siguiente.

- Volumen del suelo (m³) =L*A*h
- L (m)= longitud
- A (m)=ancho
- h (m)=espesor
- Máxima densidad seca MDS (g/cm³) y Óptimo Contenido de Humedad OCH (%) del ensayo del Proctor modificado
- Humedad natural del suelo w (%)

4.1.6.1. Preparación del terreno

El procedimiento de estabilización se hizo con material de préstamo de la cantera. Con el fin de la compactación se tomó en consideración como espesor máximo de 20 cm y mínimo de 7.5 cm, ello se debe a que más de 15 centímetros se debe elaborar en dos estratos para alcanzar una correcta compactación. La superficie se humedeció antes del perfilado con aporte de material.

4.1.6.2. Preparación de dosificación de agua

Con el fin del cálculo de agua se efectuó según el proceso siguiente:

Tabla 25: Cantidad de agua para llegar al O. C. H.

DATOS DE CAMPO Y LABORATORIO	
Longitud (m)	300.00
Ancho (m)	6.00
Espesor (m)	0.10
Volumen suelo suelto (m3) 25% esponjamiento	225.00
Volumen suelo compactado (m3)	180.00
Máxima Densidad Seca MDS* (gr/cm3)	2.252
Optimo Contenido de Humedad OCH*(%)	6.79
Contenido de Humedad Insitu (%)	10.12
Agua (%)	1.18
AGUA PARA HUMEDAD OPTIMA	
Agua para llegar al O.C.H. (litros)	10098

Nota. Elaboración propia

4.1.6.3. Pruebas in situ

Para averiguar el contenido de humedad natural in situ se ejecutó la prueba del carburo de calcio (MTC E 126-2000). Se determina como humedad natural in situ de 10.12%.

4.1.6.4. Mezclado y homogenización

En esta etapa se busca restituir el equilibrio de los finos con los demás agregados. Tomando en consideración la velocidad de la motoniveladora, el ángulo longitudinal de la cuchilla, y un adecuado ángulo de incidencia. Se humedeció el área sin estabilizante, después se combinó y reprocesó las cantidades requeridas hasta conseguir una homogeneidad en todo el suelo. Con el fin de contar con óptimos resultados se tuvo que aplicar un cálculo del caudal de la cisterna (2000 Galones) que se empleó para el mezclado del material. A una velocidad de 10 Km/h se realizó el recorrido en pendiente positiva, teniendo los siguientes resultados:

- Día de prueba : 14 de enero del 2022
- Hora de Prueba : 09:30 a. m.

Tabla 26: Cálculo del gasto de la cisterna

CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA	
Velocidad de la cisterna constante (Vc)=	0.12 m/Seg
Tiempo que demora en descargar el agua a la Vc = constante (T)=	1800 Seg
Distancia lineal que descarga la cisterna el agua (D) =	350 mt
Ancho efectivo de regado (A) =	3 mt
Área de salida de la cisterna =	0.2 mt
Caudal de descarga (Q) =	0.024 m3/Seg

Nota. Elaboración propia

4.1.6.5. Conformidad y perfilado

Después de humedecer el material con el fin de combinarlo y conseguir a una uniformidad, se continuó a conformar la plataforma otorgándole un bombeo del 2%. Después se continua a perfilar con el material puesto en obra proporcionándole la cantidad de pasadas requeridas hasta alcanzar homogeneidad en el acabado.

4.1.6.6. Compactación

Mientras las motoniveladoras esparcen el material se continua a compactar tomando en consideración que debe alcanzar el Optimo contenido de humedad (O.C.H) dato que se consigue de la prueba de la humedad de campo in situ con el Speedy. Empleando los rodillos vibro – compactadores. Solamente se necesitó 5 pasadas. Para la etapa final se pasa el rodillo sin vibrar y de esta manera se impiden las grietas excesivas en la superficie originadas por su secado rápido. El área de aplanada se aplanada hasta conseguir una apariencia sellada y uniforme.

4.1.7. Proceso constructivo con Perma-Zyme (Sector B)

4.1.7.1. Requerimientos para la aplicación del estabilizante

Con el fin de determinar los cálculos de la cantidad de estabilizante es necesario tener la información siguiente en el sitio de trabajo con el fin de establecer las proporciones requeridas:

- Volumen del suelo (m3) =L*A*h
- L (m)= longitud

- A (m)=ancho
- h (m)=espesor
- Humedad natural del suelo w (%)
- Máxima densidad seca MDS (g/cm³) y Óptimo Contenido de Humedad OCH (%) del ensayo del Proctor modificado
- Dosificación y/o rendimiento del estabilizante a emplear

4.1.7.2. Preparación de la dosificación del estabilizante

Según con las especificaciones de los fabricantes se usará la dosificación siguiente: Perma-Zyme =1litro/30m³, para el cálculo del agua se aplicó conforme al procedimiento siguiente:

Tabla 27: Cálculo de la cantidad de agua para usarse con Perma-Zyme

REQUERIMIENTO	
% de Limo y Arcilla (finos mayores al 17%)	17.09
Índice de Plasticidad IP* (entre 4 y 10)	8.29
PH** agua (entre 5.5 a 8)	7.2
DATOS DE CAMPO Y LABORATORIO	
Longitud (m)	300
Ancho (m)	6
Espesor (m)	0.1
Volumen suelo suelto (m ³)	203.4
Volumen suelo compactado (m ³)	180
MDS* (kg/m ³)	2.252
OCH*(%)	6.79
insitu***(%)	10.12
Agua (%)	1.18
AGUA PARA HUMEDAD OPTIMA	
Agua para llegar al O.C.H. (litros)	10098
Cantidad de estabilizante (litros)	6
Agua (litro)	6000
Agua a agregar (litros)	4098
Agua total	10098

Nota. Elaboración propia

La mezcla se realizó a medida que se suministró a la cisterna en la fuente de agua tomando provecho al movimiento por la succión del agua. No mostró problema alguno para el manejo ya que el líquido es biodegradable.

4.1.7.3. Proceso de aplicación de un sello superficial

De acuerdo a la recomendación del fabricante señala que, en el caso del producto Perma-Zyme, se dosificará con el 100% del líquido al suelo. Solamente se pasará un ligero regado con agua en la superficie luego de terminado.

4.1.7.4. Proceso de curado

La carretera tratada con el estabilizador Perma-Zyme, se curará de manera normal de 48 a 72 horas. En climas secos la carretera puede abrirse de forma inmediata al tránsito. Las condiciones de alta humedad o lluviosas tienen la facultad de incrementar el tiempo de secado y hacer necesario el conservar la vía cerrada.

4.1.7.5. Pruebas in situ

Para averiguar el contenido de humedad natural in situ se aplicó la prueba del carburo de calcio (MTC E 126-2000). Se alcanzó como humedad natural in situ de 10.12%.

4.1.7.6. Mezclado y homogenización

En esta etapa lo que se busca conseguir es restituir el equilibrio de los finos con los demás agregados. Tomando en consideración la velocidad de la motoniveladora, el ángulo longitudinal de la cuchilla (posición transversal al eje de la vía), y un adecuado ángulo de incidencia. Según la cantidad de material se podrá realizar en dos etapas, primeramente, mezclando y esparciendo que servirá como base para la segunda mezcla. Se humedeció después se mezcló y reprocesó las cantidades requeridas hasta alcanzar una uniformidad en el suelo.

4.1.7.7. Compactación

Según las motoniveladoras esparcen el material se continua a compactar tomando en consideración que debe que alcanzar el Optimo contenido de humedad (O.C.H) dato que se consigue de la prueba de la humedad de campo in situ con el Speedy. Empleando los rodillos vibro – compactadores solamente es necesario de 2 a 4 pasadas. Para la etapa final se pasa el rodillo sin vibración, evitando de esta manera las grietas excesivas en la superficie originadas por su secado rápido. El área se aplanada hasta

alcanzar una apariencia sellada y uniforme. En climas cálidos puede que se requiera humedecer un poco la superficie.

4.1.8. Proceso constructivo con Cloruro Cálcico (Sector C)

4.1.8.1. Requerimientos para la aplicación del estabilizante

Con el fin de determinar los cálculos de la cantidad de estabilizante es necesario contar con la información siguiente en el sitio de trabajo para establecer las proporciones necesarias:

- Volumen del suelo (m³) = L*A*h
- L (m)= longitud
- A (m)=ancho
- h (m)=espesor
- Humedad natural del suelo w (%)
- Máxima densidad seca MDS (g/cm³) y Óptimo Contenido de Humedad OCH (%) del ensayo del Proctor modificado
- Dosificación y/o rendimiento del estabilizante a emplear

4.1.8.2. Preparación de la dosificación del estabilizante

Según con las especificaciones de los fabricantes se empleará la dosificación siguiente: ClCa₂ = 4 Kg/ m², con el fin del cálculo del agua se efectuó conforme al procedimiento siguiente:

Tabla 28: Cálculo de la cantidad de agua a usarse con Cloruro Cálcico

REQUERIMIENTO	
% finos mayores al 17%	17.09
IP* (entre 4 y 10)	8.29
PH** agua (entre 5.5 a 8)	7.2
DOSIS RECOMENDADA	
Tráfico Pesado (kg/m ²)	4
Primera aplicación (75%) Kg/m ²	3
Segunda aplicación (25%) Kg/m ²	1
DATOS DE CAMPO Y LABORATORIO	
Longitud (m)	300
Ancho (m)	6
Espesor (m)	0.1
Volumen suelo suelto (m ³)	225
Volumen suelo compactado (m ³)	180

MDD* (kg/m ³)	2.252
OCH*(%)	6.79
Insitu***(%)	10.12
Agua (%)	1.18
AGUA PARA HUMEDAD OPTIMA	
Agua para llegar al O.C.H. (litros)	10098
Cantidad de aditivo (litros)	270
Agua (litro)	270
Agua a agregar (litros)	9828
Agua total	10098

Nota. Elaboración propia

La mezcla se realizó a medida que se suministró a la cisterna en la fuente de agua aprovechando el movimiento por la succión del agua. Se efectuó este proceso empleando todos los equipos de protección personal, como lo determina la Hoja de Seguridad del producto.

4.1.8.3. Pruebas in situ

Con el fin de averiguar el contenido de humedad natural in situ se aplicó la prueba del carburo de calcio (MTC E 126-2000). Se alcanzó como humedad natural in situ de 10.12%.

4.1.8.4. Mezclado y homogenización

En esta etapa lo que se busca alcanzar es restituir la proporción de los finos con los otros agregados. Tomando en consideración la velocidad de la motoniveladora, el ángulo longitudinal de la cuchilla (posición transversal al eje de la vía), y un adecuado ángulo de incidencia. Según la cantidad de material se podrá hacer en dos etapas, primeramente, mezclando y esparciendo que servirá como base para la segunda mezcla. Se humedeció, después se mezcló y reprocesó las cantidades requeridas hasta alcanzar una homogeneidad en todo el suelo.

4.1.8.5. Conformidad y perfilado

Después de humedecer el material para mezclarlo y conseguir a una uniformidad, se continua a conformar la plataforma otorgándole un bombeo del 2% para luego perfilar con el mismo material puesto en obra proporcionándole la cantidad de pasadas requeridas hasta conseguir homogeneidad en el acabado.

4.1.8.6. Compactación

Según las motoniveladoras esparcen el material se continúa a compactar tomando en consideración que debe alcanzar el Optimo contenido de humedad (O.C.H) dato que se consigue de la prueba de la humedad de campo in situ con el Speedy. Empleando los rodillos vibro – compactadores solamente es necesario de 2 a 4 pasadas. Para la etapa final se pasa el rodillo sin vibración, evitando así las grietas excesivas en el área originadas por su secado rápido. El área se aplanan hasta conseguir una apariencia sellada y uniforme. En climas cálidos puede que se requiera humedecer un poco la superficie.

4.1.8.7. Proceso de aplicación de un sello superficial

Conforme a la recomendación del fabricante se dosificará con el 75% del líquido al suelo y después con el 25% restante se continuará a echar a manera de sello con el apoyo de la cisterna.

4.1.8.8. Proceso de curado

En caso del estabilizador del cloruro de calcio la apertura al tránsito es inmediata y no requiere curarse.

4.1.9. Frecuencia de medición del IRI

4.1.9.1. Sistema de monitoreo sin estabilizante (Sector A)

Se proyectó 04 mediciones para la rugosidad, se realizaron tres pasadas por cada carril en cada área de prueba, los resultados se observan a continuación:

- a. Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22

Tabla 29: Resultado del primer monitoreo IRI Sector sin aditivo

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
A	DERECHO	5.91	4.75	4.59
		4.57		
		3.77		
	IZQUIERDO	3.87	4.42	
		4.53		
		4.85		

Nota. Elaboración propia

b. Segundo monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22

Tabla 30: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector sin aditivo

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
A	DERECHO	5.79	5.74	5.81
		5.74		
		5.68		
	IZQUIERDO	5.79	5.87	
		5.86		
		5.96		

Nota. Elaboración propia

c. Tercer monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Tabla 31: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector sin aditivo

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
A	DERECHO	6.13	6.39	6.21
		6.15		
		6.89		
	IZQUIERDO	5.93	6.02	
		5.98		
		6.14		

Nota. Elaboración propia

d. Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Tabla 32: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector sin aditivo

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
A	DERECHO	15.47	15.57	15.52
		15.63		
		15.62		
	IZQUIERDO	15.49	15.46	
		15.37		
		15.53		

Nota. Elaboración propia

4.1.9.2. Sistema de monitoreo con Perma-Zyme (Sector B)

a. Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22

Tabla 33: Resultado del primer monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
B	DERECHO	3.02	3.38	3.25
		3.27		
		3.84		
	IZQUIERDO	3.32	3.12	
		3.15		
		2.9		

Nota. Elaboración propia

b. Segundo monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22

Tabla 34: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
B	DERECHO	3.49	3.71	3.63
		3.77		
		3.88		
	IZQUIERDO	3.68	3.54	
		3.57		
		3.36		

Nota. Elaboración propia

c. Tercer monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Tabla 35: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
B	DERECHO	4.26	4.35	4.14
		4.32		
		4.46		
	IZQUIERDO	4.07	3.93	
		3.95		
		3.77		

Nota. Elaboración propia

d. Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Tabla 36: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector con Perma-Zyme

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
B	DERECHO	11.57	11.56	11.58
		11.69		
		11.43		
	IZQUIERDO	11.55	11.59	
		11.77		
		11.46		

Nota. Elaboración propia

4.1.9.3. Sistema de monitoreo con cloruro de calcio (Sector C)

a. Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22

Tabla 37: Resultado del primer monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
C	DERECHO	2.99	2.87	2.85
		2.67		
		2.96		
	IZQUIERDO	2.64	2.83	
		3.18		
		2.67		

Nota. Elaboración propia

b. Segundo monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22

Tabla 38: Resultado del segundo monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
C	DERECHO	3.34	3.43	3.29
		3.55		
		3.4		
	IZQUIERDO	3.06	3.14	
		3.46		
		2.91		

Nota. Elaboración propia

c. Tercer monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Tabla 39: Resultado del tercer monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
C	DERECHO	3.67	3.86	3.69
		3.93		
		3.97		
	IZQUIERDO	3.37	3.52	
		3.91		
		3.29		

Nota. Elaboración propia

d. Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Tabla 40: Resultado del cuarto monitoreo IRI Sector con Cloruro Cálcico

SECTOR	CARRIL	IRI	IRI PROM.	
C	DERECHO	4.38	4.62	4.53
		4.87		
		4.62		
	IZQUIERDO	3.99	4.44	
		4.96		
		4.37		

Nota. Elaboración propia

4.1.10. Medición del Índice de Condición de Vías No Pavimentadas (ICVNP)

4.1.10.1. Sistema de monitoreo sin estabilizante (Sector A)

Para el área sin estabilizante el mayor fallo que se mostró en campo es la formación de baches. Se realizó el levantamiento de la información de manera paralela con la medición de la rugosidad. Se consideró como referencia el catálogo de fallas del Banco Mundial y el catálogo centroamericano de fallas en pavimentos viales, se determinaron los criterios de medición siguientes y después se cuantificarán con el Índice de la condición de la vía no pavimentada.

Tabla 41: Criterios de medición de fallas

PROFUNDIDAD	DIÁMETROS PROMEDIO BACHE (cm)		
	MENOR A 30	30-70	MAYOR A 70
B Menor a 2.5 cm	B	B	M
M Entre 2.5 a 5.0 cm	B	M	A
A Mayor a 5.0 cm	M	M	A

Nota. Elaboración propia

- a) Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22
- No presentó ningún bache en el sector patrón.
- b) Segundo Monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22
- No presentó ningún bache en el sector patrón.
- c) Tercer Monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Existencia de 70 baches donde lo más habitual que se presenta son de diámetro promedio de 54 cm y profundidad promedio de 2.36 cm.

Tabla 42: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diámetro	Área (cm ²)
1.20	0.30	0.36
0.80	0.43	0.34
1.60	0.36	0.58
1.18	0.63	0.74
2.75	0.47	1.29

Nota. Elaboración propia

Tabla 43: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diámetro	Área (cm ²)
2.53	0.42	1.06
1.86	0.63	1.17
3.79	0.69	2.62
5.21	0.48	2.50
6.85	0.51	3.49

Nota. Elaboración propia

Tabla 44: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diámetro	Área (cm ²)
0.00	0.00	0.00
0.80	0.87	0.70
1.23	0.69	0.85
2.70	0.81	2.19
2.85	0.75	2.14

Nota. Elaboración propia

Tabla 45: Tercer monitoreo – Sector A (sin estabilizante)

Tramos cada 60 m	B (cm ²)	M (cm ²)	A (cm ²)	Total (cm ²)	B	M	A
1	0.36	1.06	0.00	1.42	25.31 %	74.69 %	0.00 %
2	0.34	1.17	0.70	2.21	15.55 %	52.98 %	31.47 %
3	0.58	2.62	0.85	4.04	14.26 %	64.73 %	21.01 %
4	0.74	2.50	2.19	5.43	13.69 %	46.05 %	40.27 %
5	1.29	3.49	2.14	6.92	18.67 %	50.46 %	30.87 %
TOTAL =				20.0289			

Nota. Elaboración propia

Tabla 46: ICVNP – Sector A (sin estabilizante)

Area (m ²)	Severidad	K	D (m ²)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	74.69 %	M	10.76	5.10	50	3	62	BUENO
300	52.98 %	M	10.76	7.93	52	3	67	BUENO
300	64.73 %	M	10.76	14.49	88	3	53	
300	46.05 %	M	10.76	19.48	88	3	55	
300	50.46 %	M	10.76	24.83	88	3	58	BUENO

Nota. Elaboración propia

d) Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Presencia de 254 baches donde se encuentra con mayor frecuencia baches de diámetro promedio de 75 cm y profundidad promedio 3.06 cm. Se observa la presencia de alta severidad.

Tabla 47: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diametro	B
1.87	0.13	0.24
1.35	0.77	1.04
2.45	0.62	1.52
1.95	0.72	1.40
2.55	0.70	1.79

Nota. Elaboración propia

Tabla 48: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diametro	M
3.45	0.68	2.35
1.95	1.27	2.48
4.35	0.75	3.26
5.86	0.75	4.40
7.15	0.96	6.86

Nota. Elaboración propia

Tabla 49: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diametro	A
1.20	0.75	0.90
2.53	0.70	1.77
2.10	0.80	1.68
4.20	0.98	4.12
2.90	0.72	2.09

Nota. Elaboración propia

Tabla 50: Cuarto monitoreo – Sector A (sin estabilizante)

Tramos cada 60 m	B (m2)	M (m2)	A (m2)	Total (m2)	B	M	A
1	0.24	2.35	0.90	3.49	6.97 %	67.24 %	25.79 %
2	1.04	2.48	1.77	5.29	19.66 %	46.84 %	33.50 %
3	1.52	3.26	1.68	6.46	23.51 %	50.49 %	26.00 %
4	1.40	4.40	4.12	9.92	14.16 %	44.33 %	41.51 %
5	1.79	6.86	2.09	10.74	16.62 %	63.93 %	19.45 %
TOTAL =				35.8896			

Nota. Elaboración propia

Tabla 51: ICVNP - Sector A (sin estabilizante)

Area (m2)	Severidad	K	D (m2)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	67.24 %	M	10.76	13	80	3	50	REGULAR
300	46.84 %	M	10.76	19	88	3	45	REGULAR
300	50.49 %	M	10.76	23	88	3	45	REGULAR
300	44.33 %	M	10.76	36	110	3	26	DEFICIENTE
300	63.93 %	M	10.76	39	88	3	45	REGULAR

Nota. Elaboración propia

4.1.10.2. Sistema de monitoreo con Perma-Zyme (Sector B)

Para el sector con Perma-Zyme presentó menor falla con respecto al sector patrón. Se realizó el levantamiento de información de manera paralela con la medición de la rugosidad. Teniendo como referencia el catálogo de fallas del Banco Mundial y el catálogo centroamericano de fallas en

pavimentos viales. Se determinaron los criterios de medición siguientes y después se cuantificarán con el Índice de la condición de la vía no pavimentada.

Tabla 52: Criterios de medición de fallas

PROFUNDIDAD	DIÁMETROS PROMEDIO BACHE (cm)		
	MENOR A 30	30-70	MAYOR A 70
B Menor a 2.5 cm	B	B	M
M Entre 2.5 a 5.0 cm	B	M	A
A Mayor a 5.0 cm	M	M	A

Nota. Elaboración propia

- a) Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22
 - No presentó ningún bache en el sector patrón.
- b) Segundo Monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22
 - No presentó ningún bache en el sector patrón.
- c) Tercer Monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Existencia de 23 baches. Se halló en su mayor parte baches de diámetro de 39 cm y profundidad de 0.67 cm en promedio. Se encuentra la presencia de un mínimo en el nivel medio y la inexistencia del alto.

Tabla 53: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diámetro	Área (cm ²)
0.15	0.28	0.04
0.30	0.35	0.11
1.35	0.22	0.30
0.25	0.53	0.13
0.35	0.25	0.09

Nota. Elaboración propia

Tabla 54: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
2.15	0.81	1.74
0.10	0.78	0.08
2.55	0.40	1.02
0.15	0.75	0.11
0.12	0.76	0.09

Nota. Elaboración propia

Tabla 55: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
2.65	0.75	1.99
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 56: Tercer monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)

Tramos cada 60 m	B (m2)	M (m2)	A (m2)	Total (m2)	B	M	A	
1	0.04	1.74	0.00	1.78	2.35 %	97.65 %	0.00 %	
2	0.11	0.08	0.00	0.18	57.38 %	42.62 %	0.00 %	
3	0.30	1.02	1.99	3.30	8.99 %	30.87 %	60.15 %	
4	0.13	0.11	0.00	0.25	54.08 %	45.92 %	0.00 %	
5	0.09	0.09	0.00	0.18	48.96 %	51.04 %	0.00 %	
TOTAL =							5.6947	

Nota. Elaboración propia

Tabla 57: ICVNP – Sector B (Perma-Zyme)

Area (m2)	Severidad	K	D (m2)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	97.65 %	M	10.76	6	68	5	63	BUENO
300	57.38 %	B	10.76	1	18	5	90	EXCELENTE
300	60.15 %	A	10.76	12	110	5	41	REGULAR
300	54.08 %	B	10.76	1	18	5	91	EXCELENTE
300	51.04 %	M	10.76	1	2	5	96	EXCELENTE

Nota. Elaboración propia

d) Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Presencia de 41 baches. Se encontró en su mayoría baches de diámetro de 55 cm y profundidad de 1 cm en promedio. Dentro los últimos 45 metros se encuentra 1 bache de un nivel alto.

Tabla 58: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.31	0.65	0.20
1.40	0.57	0.80
1.45	0.30	0.44
0.40	0.61	0.24
0.50	0.45	0.23

Nota. Elaboración propia

Tabla 59: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
2.65	0.95	2.52
0.15	0.80	0.12
2.55	0.50	1.28
0.25	1.10	0.28
2.45	1.00	2.45

Nota. Elaboración propia

Tabla 60: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
2.90	1.35	3.92
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 61: Cuarto monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)

Tramos cada 60 m	B (m2)	M (m2)	A (m2)	Total (m2)	B	M	A
1	0.20	2.52	0.00	2.72	7.41 %	92.59 %	0.00 %
2	0.80	0.12	0.00	0.92	86.93 %	13.07 %	0.00 %
3	0.44	1.28	3.92	5.63	7.73 %	22.67 %	69.60 %
4	0.24	0.28	0.00	0.52	47.01 %	52.99 %	0.00 %
5	0.23	2.45	0.00	2.68	8.41 %	91.59 %	0.00 %
TOTAL =							12.456

Nota. Elaboración propia

Tabla 62: ICVNP – Sector B (Perma-Zyme)

Area (m2)	Severidad	K	D (m2)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	92.59 %	M	10.76	10	85	5	54	REGULAR
300	86.93 %	B	10.76	3	68	5	69	BUENO
300	69.60 %	A	10.76	20	110	5	44	REGULAR
300	52.99 %	M	10.76	2	39	5	81	MUY BUENO
300	91.59 %	M	10.76	10	85	5	50	REGULAR

Nota. Elaboración propia

4.1.10.3. Sistema de monitoreo con cloruro cálcico (Sector C)

Para el sector con cloruro cálcico presentó menor falla que el sector patrón. Se realizó el levantamiento de información de manera paralela con la medición de la rugosidad. Teniendo como referencia el catálogo de fallas del Banco Mundial y el catálogo centroamericano de fallas en pavimentos viales, se determinaron los criterios de medición siguientes y después se cuantificarán con el Índice de la condición de la vía no pavimentada.

Tabla 63: Criterios de medición de fallas

PROFUNDIDAD	DIÁMETROS PROMEDIO BACHE (cm)		
	MENOR A 30	30-70	MAYOR A 70
B Menor a 2.5 cm	B	B	M
M Entre 2.5 a 5.0 cm	B	M	A
A Mayor a 5.0 cm	M	M	A

Nota. Elaboración propia

- a) Primer Monitoreo: 29/01/22 - 31/01/22
 - No presentó ningún bache en el sector patrón.
- b) Segundo Monitoreo: 13/02/22 - 15/02/22
 - No presentó ningún bache en el sector patrón.
- c) Tercer Monitoreo: 02/03/22 - 04/03/22

Existencia de 12 baches. Se halló en su mayor parte baches de diámetro de 13 cm y profundidad de 0.11 cm en promedio. No se presentó baches de un nivel alto.

Tabla 64: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.16	0.35	0.06
0.30	0.25	0.08
0.15	0.15	0.02
0.15	0.30	0.05
0.20	0.10	0.02

Nota. Elaboración propia

Tabla 65: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.00	0.00	0.00
0.64	0.75	0.48
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 66: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 67: Tercer monitoreo – Sector B (Perma-Zyme)

Tramos cada 60 m	B (m2)	M (m2)	A (m2)	Total (m2)	B	M	A	
1	0.06	0.00	0.00	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
2	0.08	0.48	0.00	0.56	13.51 %	86.49 %	0.00 %	
3	0.02	0.00	0.00	0.02	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
4	0.05	0.00	0.00	0.05	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
5	0.02	0.00	0.00	0.02	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
TOTAL =								0.6985

Nota. Elaboración propia

Tabla 68: ICVNP – Sector C (Cloruro Cálcico)

Area (m2)	Severidad	K	D (m2)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	100.00 %	B	10.76	0	3	5	88	EXCELENTE
300	86.49 %	M	10.76	2	27	5	83	MUY BUENO
300	100.00 %	B	10.76	0	3	5	89	EXCELENTE
300	100.00 %	B	10.76	0	3	5	91	EXCELENTE
300	100.00 %	B	10.76	0	3	5	93	EXCELENTE

Nota. Elaboración propia

d) Cuarto monitoreo: 19/03/22 - 21/03/22

Presencia de 21 baches. Se encontró en su mayoría baches de diámetro de 24 cm y profundidad de 21 cm en promedio. No se encontró baches de un nivel alto.

Tabla 69: Diámetro de baches - nivel bajo

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.22	0.37	0.08
0.30	0.24	0.07
0.12	0.17	0.02
0.22	0.37	0.08
1.16	0.15	0.17

Nota. Elaboración propia

Tabla 70: Diámetro de baches - nivel medio

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.12	0.73	0.09
0.62	0.75	0.47
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.38	0.81	0.31

Nota. Elaboración propia

Tabla 71: Diámetro de baches - nivel alto

Profundidad	Diametro	Area (cm2)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 72: Cuarto monitoreo – Sector C (Cloruro Cálcico)

Tramos cada 60 m	B (m2)	M (m2)	A (m2)	Total (m2)	B	M	A	
1	0.08	0.09	0.00	0.17	48.17 %	51.83 %	0.00 %	
2	0.07	0.47	0.00	0.54	13.41 %	86.59 %	0.00 %	
3	0.02	0.00	0.00	0.02	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
4	0.08	0.00	0.00	0.08	100.00 %	0.00 %	0.00 %	
5	0.17	0.31	0.00	0.48	36.11 %	63.89 %	0.00 %	
TOTAL =							1.2896	

Nota. Elaboración propia

Tabla 73: ICVNP – Sector C (Cloruro Cálcico)

Area (m2)	Severidad	K	D (m2)	VDT	q	ICVNP	Indice	
300	51.83 %	M	10.76	1	25	5	87	EXCELENTE
300	86.59 %	M	10.76	2	39	5	81	MUY BUENO
300	100.00 %	B	10.76	0	5	5	95	EXCELENTE
300	100.00 %	B	10.76	0	5	5	94	EXCELENTE
300	63.89 %	M	10.76	2	45	5	75	MUY BUENO

Nota. Elaboración propia

4.1.11. Análisis y organización de datos

4.1.11.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Obteniendo los resultados finales en cada sector de prueba se puede observar el progreso de deterioro por cada sector de prueba.

Tabla 74: Resumen de resultados del IRI en cada sector de prueba

SECTOR	1era	2do	3er	4to	Estado
	Monitoreo IRI	Monitoreo IRI	Monitoreo IRI	Monitoreo IRI	
A	4.59	5.81	6.21	15.52	Mal Estado
B	3.25	3.63	4.14	11.58	Regular Estado
C	2.85	3.29	3.69	4.53	Muy buen Estado

Nota. Elaboración propia

Figura 12: Progreso del deterioro por sector de prueba

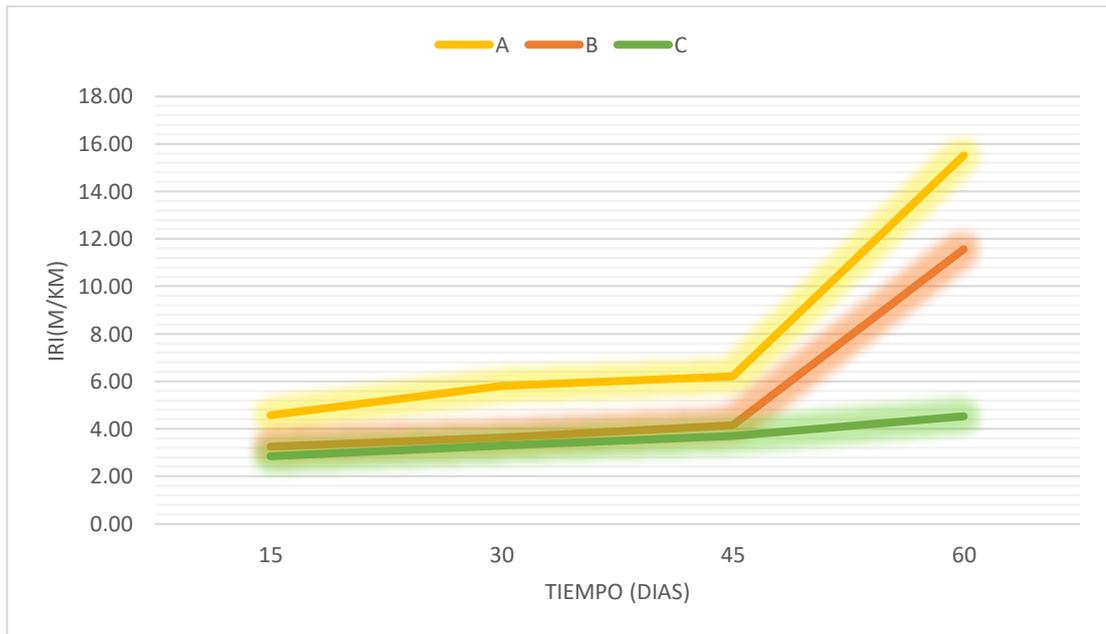


Nota. Elaboración propia

4.1.11.2. Progresión de la rugosidad respecto al sector patrón

En el gráfico siguiente se observa el aumento progresivo de la rugosidad a medida que pasa el tiempo.

Figura 13: Progreso del IRI de los tres sectores de prueba



Nota. Elaboración propia

4.1.11.3. Variaciones del IRI en cada monitoreo

Los siguientes gráficos exponen, con relación a la primera medida del sector patrón, cómo es el desarrollo (%) del deterioro en todos los sectores en

los cuales se emplearon los estabilizantes de suelo. Téngase en cuenta que a mayor IRI, mayor deterioro de la vía.

Tabla 75: Datos del IRI de acuerdo a los monitoreos realizados

Fecha Monitoreo	TIEMPO (días)	IRI (mm/km)		
		A	B	C
29/01/22 - 31/01/22	15	4.59	3.25	2.85
13/02/22 - 15/02/22	30	5.81	3.63	3.29
02/03/22 - 04/03/22	45	6.21	4.14	3.69
19/03/22 - 21/03/22	60	15.52	11.58	4.53

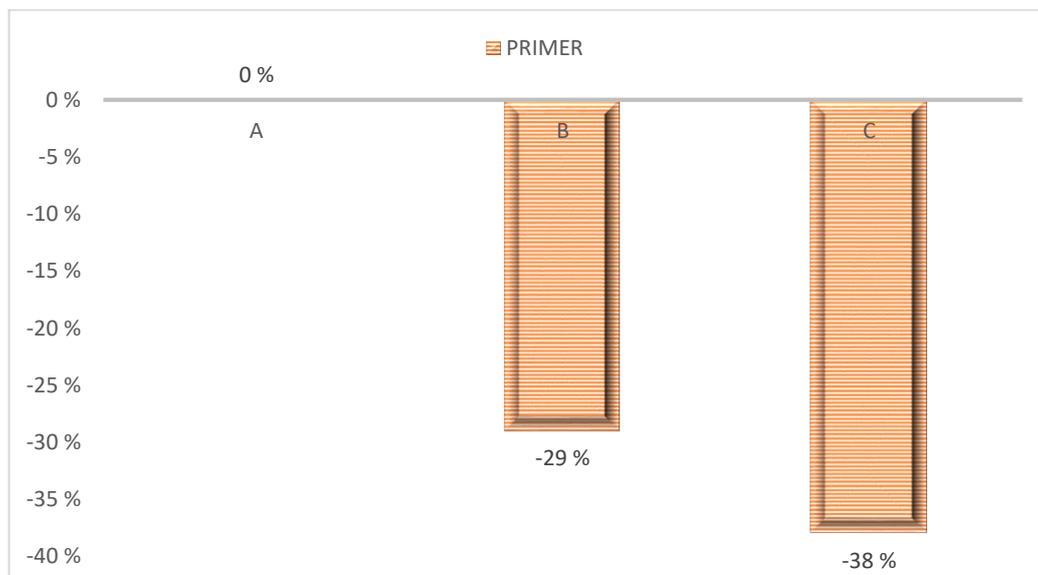
Nota. Los resultados corresponden a las mediciones realizadas de los IRIs en los cuatro monitoreos que se realizaron cada 15 días para los tres sectores mostrando un incremento significativo en el cuarto monitoreo.

Tabla 76: Resumen de variaciones del IRI por cada monitoreo

N° DE MONITOREO	IRI (m/km)		
	A	B	C
PRIMER	0 %	-29 %	-38 %
SEGUNDO	27 %	-21 %	-28 %
TERCER	35 %	-10 %	-20 %
CUARTO	238 %	153 %	-1 %

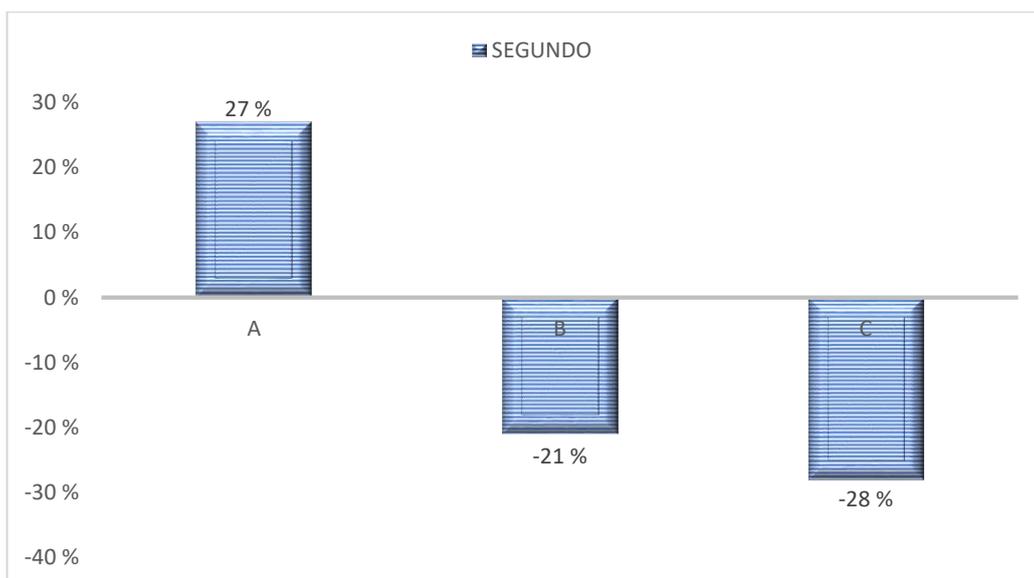
Nota. Se muestran las variaciones porcentuales de los IRIs con respecto al IRI del primer monitoreo del sector A (patrón) que fue inicialmente de 4.59.

Figura 14: Variación del IRI en el primer monitoreo



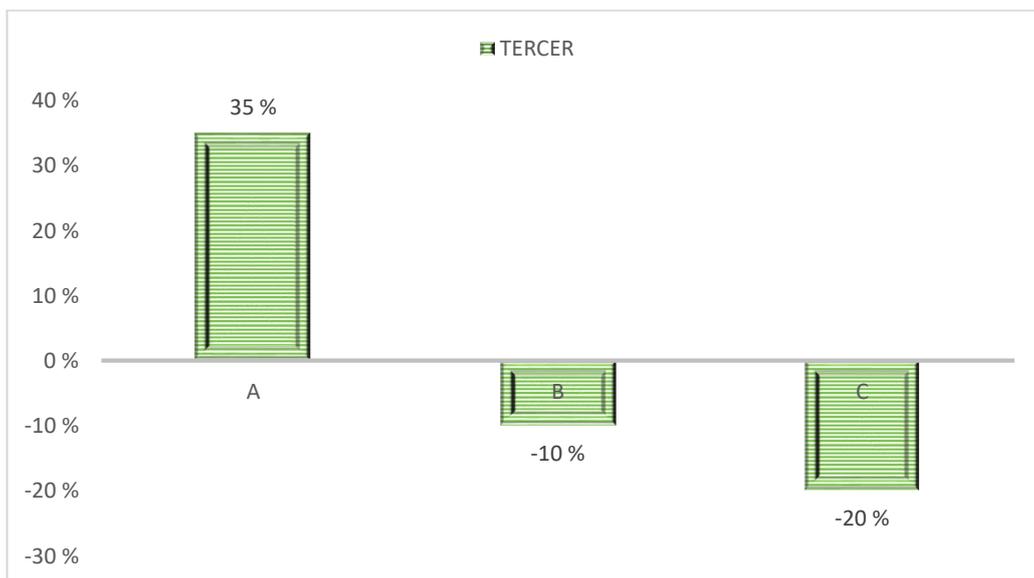
Nota. En el primer monitoreo, los sectores B y C presentan IRIs menores en 29 % y 38 % respectivamente que el IRI del sector patrón.

Figura 15: Variación del IRI en el segundo monitoreo



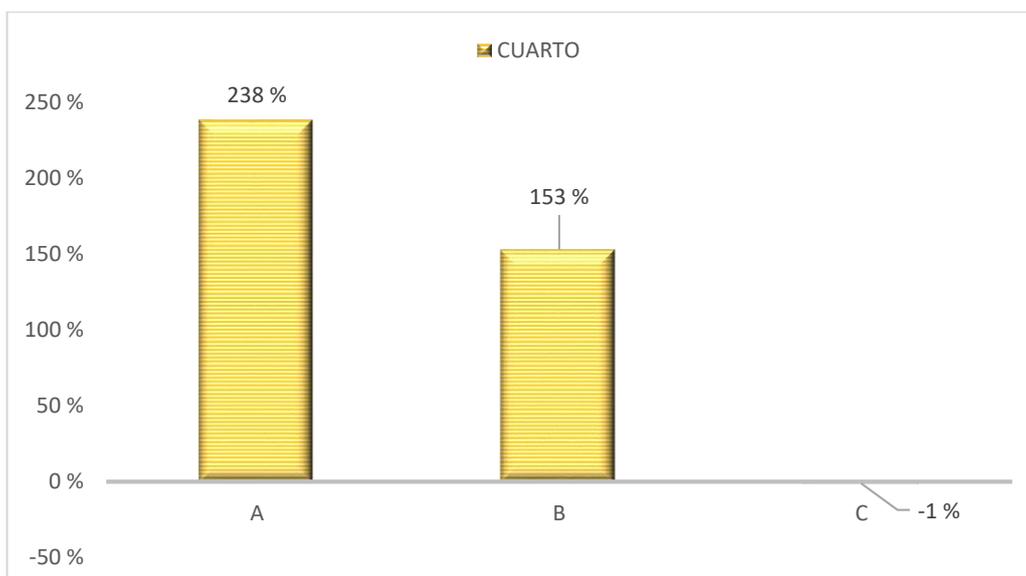
Nota. En el segundo monitoreo, los sectores B y C presentan IRIs menores en 21 % y 28 % respectivamente que el IRI del primer monitoreo del sector patrón. Asimismo, el IRI del sector patrón ha aumentado en 27 % con respecto a su IRI en el primer monitoreo.

Figura 16: Variación del IRI en el tercer monitoreo



Nota. En el tercer monitoreo, los sectores B y C presentan IRIs menores en 10 % y 20 % respectivamente que el IRI del primer monitoreo del sector patrón. Asimismo, el IRI del sector patrón ha aumentado en 35 % con respecto a su IRI en el primer monitoreo.

Figura 17: Variación del IRI en el cuarto monitoreo



Nota. Nota. En el cuarto monitoreo, con respecto que al IRI del primer monitoreo del sector patrón, el sector B presentan un IRI mayor en 153 % y el sector C presenta un IRI 1 % menor. Asimismo, el IRI del sector patrón ha aumentado en 238 % con respecto a su IRI en el primer monitoreo.

Tabla 77: Leyenda de cada sector

LEYENDA	
A	Sector sin estabilizante
B	Sector con Perma Zyme
C	Sector con Cloruro Cálculo

Nota. El sector A es el sector patrón, en el cual no se aplicó ningún estabilizante. Los sectores B y C, se estabilizaron con Perma-Zyme y Cloruro Cálculo respectivamente.

4.1.11.4. Progresión de rugosidad

Con los datos alcanzados de los cuatro monitoreos se realizó una regresión no lineal de la rugosidad en función al tiempo. La mejor función que obedece dicha tendencia es una función exponencial.

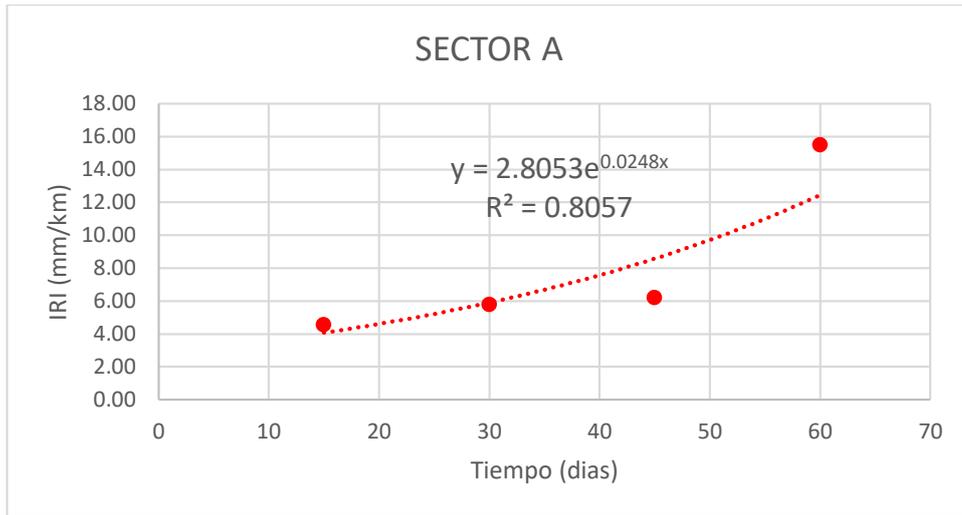
a) Progresión de rugosidad del sector A

Tabla 78: Datos del IRI en el sector A

SECTOR A		
Fecha Monitoreo	TIEMPO (días)	IRI (mm/km)
29/01/22 - 31/01/22	15	4.59
13/02/22 - 15/02/22	30	5.81
02/03/22 - 04/03/22	45	6.21
19/03/22 - 21/03/22	60	15.52

Nota. Se muestran los IRIs del sector A en cada monitoreo evidenciando su aumento que se traduce en un mayor deterioro.

Figura 18: Curva de deterioro del sector A



Nota. Se muestra la curva de regresión exponencial de tiempo vs. IRI del sector A.

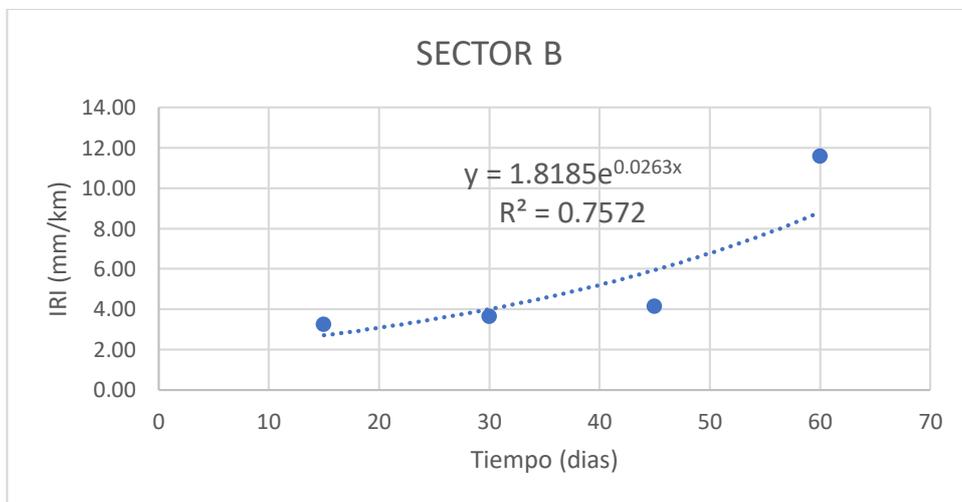
b) Progresión de rugosidad del sector B

Tabla 79: Datos del IRI en el sector B

SECTOR B		
Fecha Monitoreo	TIEMPO (días)	IRI (mm/km)
29/01/22 - 31/01/22	15	3.25
13/02/22 - 15/02/22	30	3.63
02/03/22 - 04/03/22	45	4.14
19/03/22 - 21/03/22	60	11.58

Nota. Se muestran los IRIs del sector B en cada monitoreo evidenciando su aumento que se traduce en un mayor deterioro con el paso del tiempo.

Figura 19: Curva de deterioro del sector B



Nota. Se muestra la curva de regresión exponencial de tiempo vs. IRI del sector B. El ajuste es exponencial ya que de esa manera se comportan los datos.

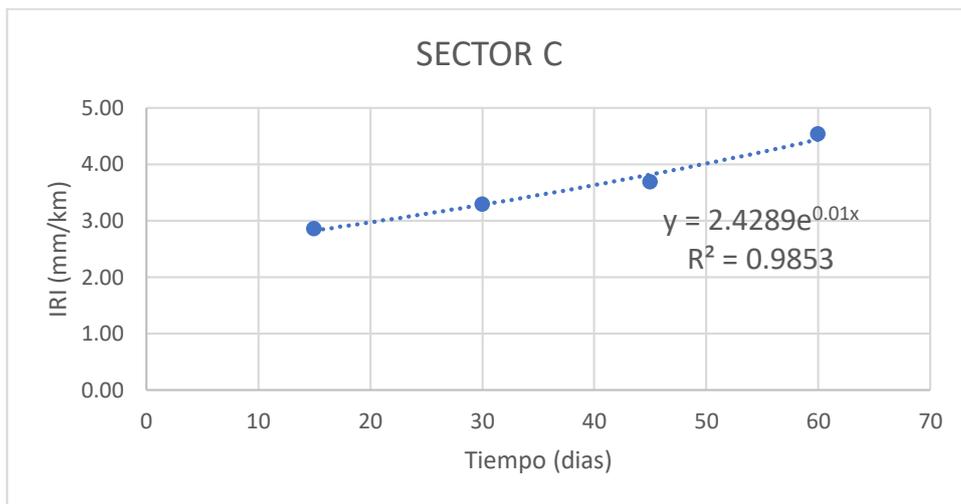
c) Progresión de rugosidad del sector C

Tabla 80: Datos del IRI en el sector C

SECTOR C		
Fecha Monitoreo	TIEMPO (días)	IRI (mm/km)
29/01/22 - 31/01/22	15	2.85
13/02/22 - 15/02/22	30	3.29
02/03/22 - 04/03/22	45	3.69
19/03/22 - 21/03/22	60	4.53

Nota. Se muestran los IRIs del sector C en cada monitoreo evidenciando su aumento ligero. El sector C no presenta alto deterioro como los sectores A y B.

Figura 20: Curva de deterioro del sector C



Nota. Se muestra la curva de regresión exponencial de tiempo vs. IRI del sector C.

4.1.11.5. Tiempo de recurrencia

Con el fin de poder calcular el tiempo de recurrencia de mantenimiento en el área de prueba, nos fundamentaremos en la escala de rugosidad IRI planteada por el Banco Mundial. El Banco Mundial establece que a medida de un IRI igual a 10 un camino sin pavimentar muestra irregularidades. Asimismo, establece que con IRI de más de 14, la carretera se le determina como una vía sin conservación. En consecuencia, determinamos que a partir de un IRI igual a 10 las áreas de prueba necesitan intervención. Las ecuaciones de correlación se igualan a 10 consiguiéndose los resultados siguientes.

Tabla 81: Tiempo de recurrencia en cada sector

SECTOR	TIEMPO DE RECURRENCIA (meses)
A	4.98 meses
B	5.81 meses
C	14.97 meses

Nota. El tiempo de recurrencia es el período recomendado para hacer el mantenimiento de la vía. Se muestran los tiempos de recurrencia de cada sector.

4.1.11.6. Coeficiente de eficiencia

Para determinar el coeficiente que nos dice qué industria ahorra más tiempo, lo configuraremos cualitativamente mediante una matriz multicriterio. Podemos determinar lo siguiente:

“Los sectores con o sin estabilizador son más eficientes con menor costo por metro cuadrado y tiempos de repetición más largos”.

Entonces, para construir la relación de eficiencia, necesitamos obtener la relación más alta porque queremos ver qué partes funcionan de manera más eficiente. El factor de eficiencia se expresa como:

$$C.E. = \frac{\text{Tiempo de recurrencia}}{P.U.}$$

Tabla 82: Coeficientes de eficiencia en cada sector

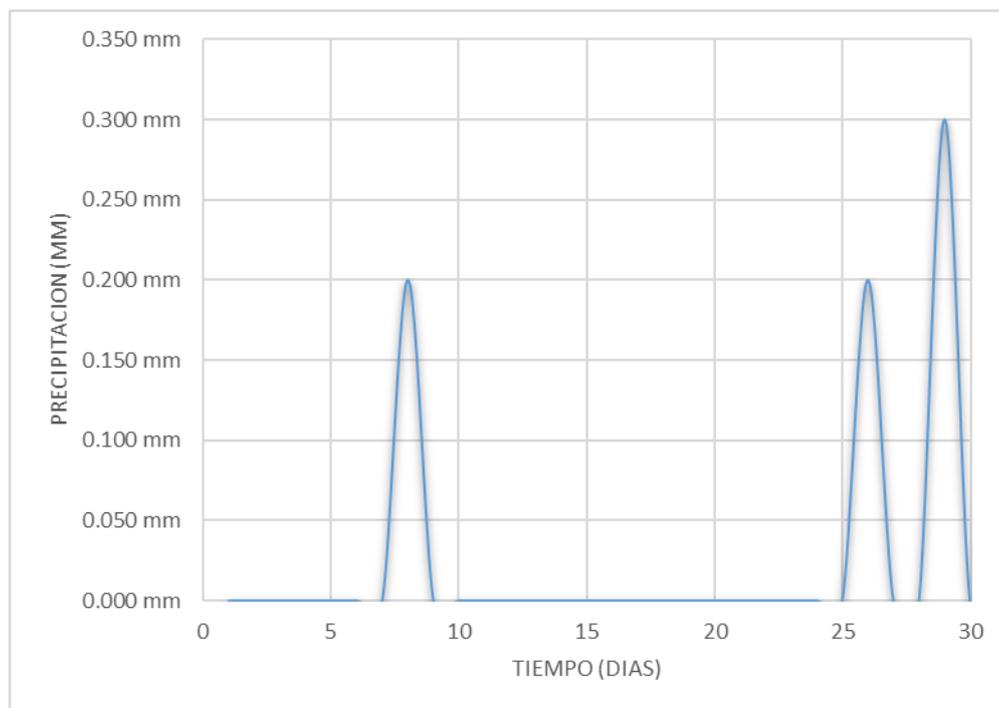
SECTOR	Tiempo de recurrencia	P.U (S./m2)	Coeficiente de eficiencia
A	4.98	5.50	0.90
B	5.81	5.00	1.16
C	14.97	6.20	2.41

Nota. Se presentan los coeficientes de eficiencia de cada sector. Los sectores B y C resultan más eficientes en términos de tiempo de recurrencia y precios unitarios.

4.1.11.7. Precipitaciones durante el monitoreo

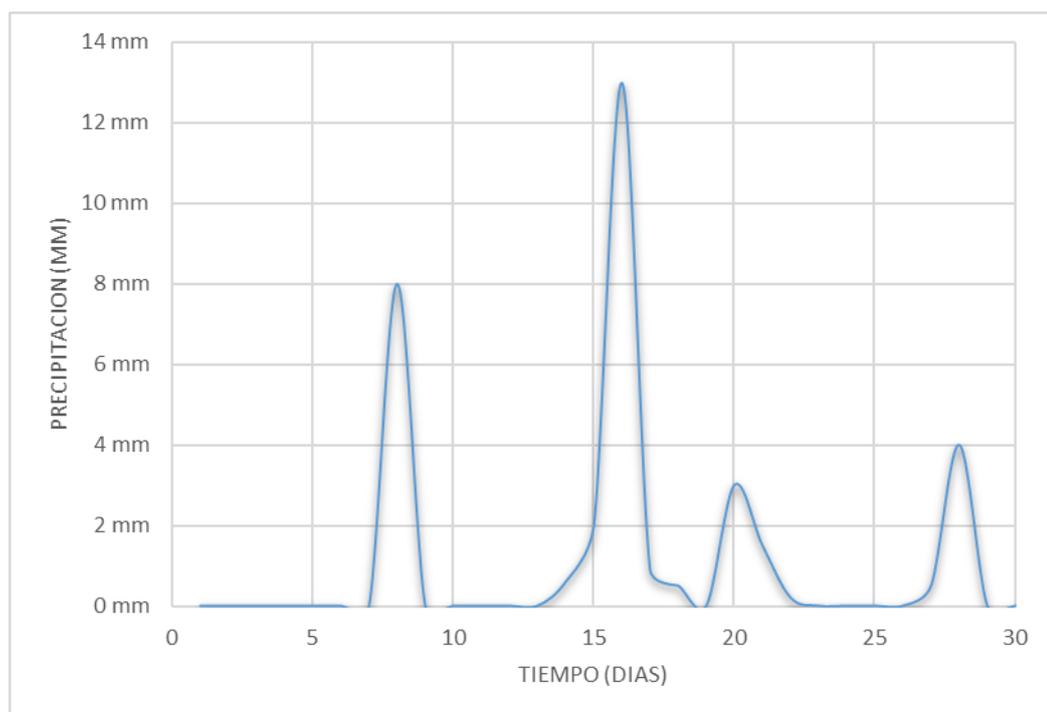
Mediante el SENAMHI se obtuvo las precipitaciones de cada mes (diciembre, enero, febrero y marzo), con respecto al tiempo desde inicio de la aplicación hasta el final del seguimiento se desarrolla en gráfico siguiente.

Figura 21: Precipitaciones del mes de enero



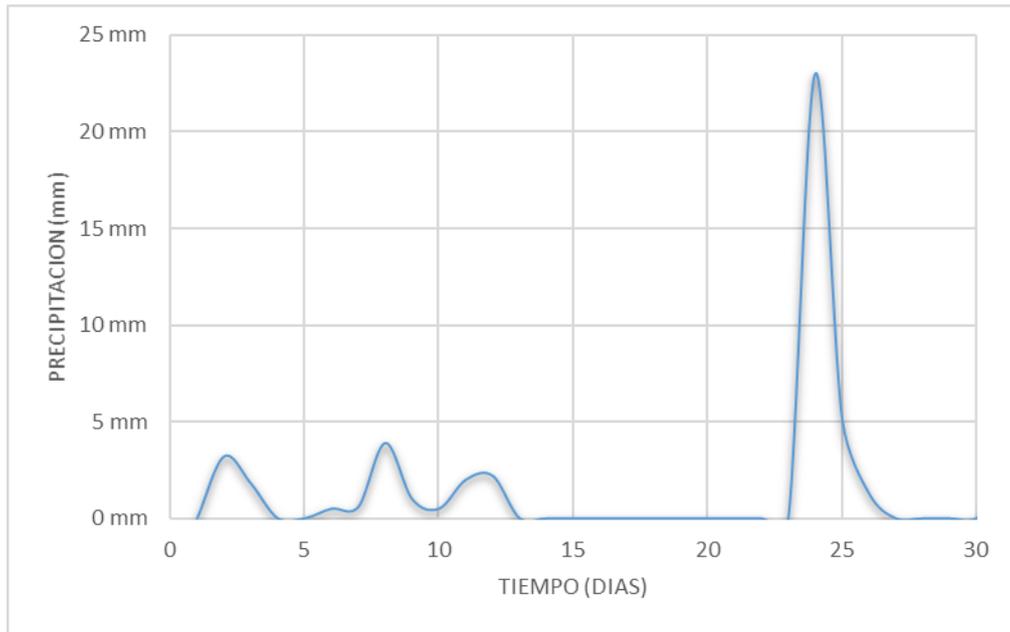
Nota. Las precipitaciones en enero alcanzaron valores bajos con respecto a los meses posteriores.

Figura 22: Precipitaciones del mes de febrero



Nota. Con respecto a enero, en febrero ocurrieron mayores precipitaciones que alcanzaron los 13 mm.

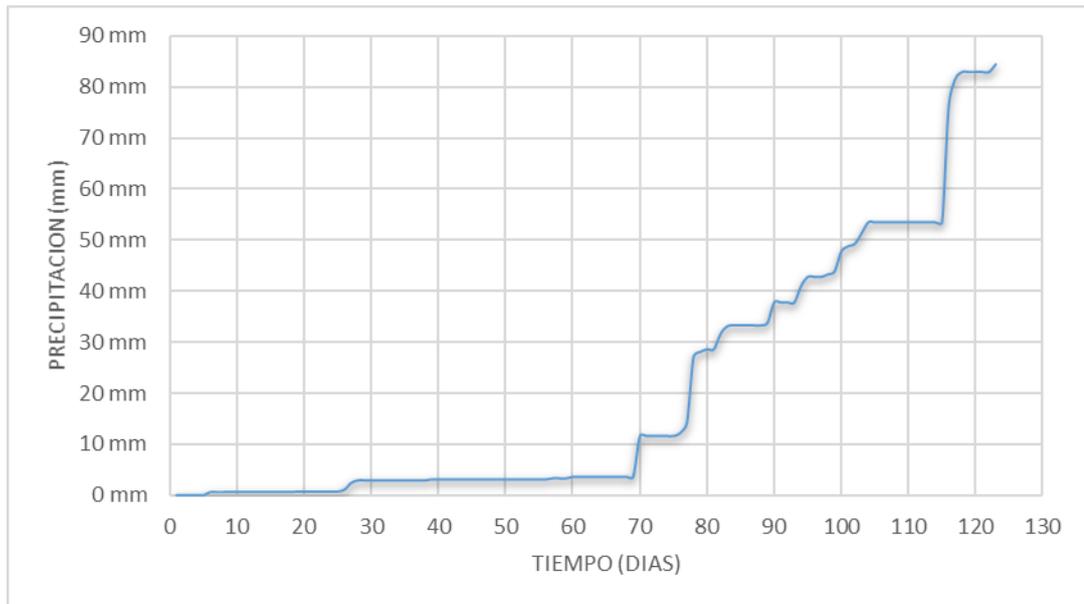
Figura 23: Precipitaciones del mes de marzo



Nota. Las precipitaciones en marzo fueron las mayores durante el período de estudio y alcanzaron los 24 mm.

El siguiente gráfico muestra la precipitación acumulada a lo largo del tiempo desde el inicio de la prueba de campo seleccionada hasta el final del sistema de monitoreo:

Figura 24: Precipitaciones acumuladas desde el inicio de aplicación



Nota. Se observa que en los últimos 30 días, las precipitaciones se intensificaron.

a) Progreso del IRI con relación a las precipitaciones acumuladas

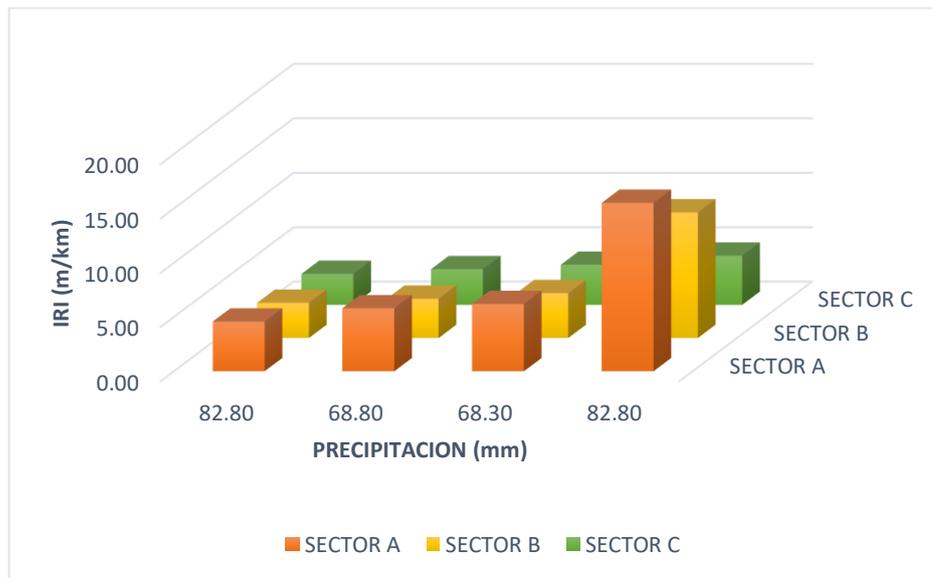
Según los registros de precipitación diarios, la precipitación a lo largo del tiempo se combinó con mediciones de rugosidad durante todo el experimento.

Tabla 83: Precipitaciones acumuladas en el tiempo de medición del IRI

DIAS	PP. ACUM (mm)	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
15	82.80	4.59	3.25	2.85
30	68.80	5.81	3.63	3.29
45	68.30	6.21	4.14	3.69
60	82.80	15.52	11.58	4.53

Nota. Se relacionan las precipitaciones con los IRIs de los sectores. A medida que las precipitaciones aumentan, los IRIs se incrementan.

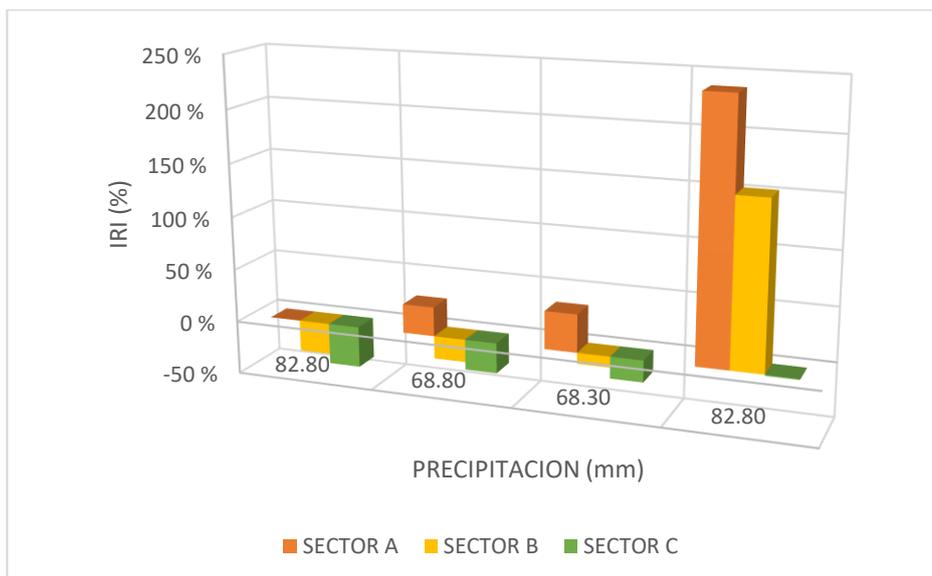
Figura 25: Precipitaciones acumuladas en el progreso del IRI



Nota. Se muestra gráficamente la relación entre las precipitaciones con los IRIs de los sectores.

b) Variaciones del IRI con relación a las precipitaciones acumuladas

Figura 26: Precipitaciones acumuladas en las variaciones del IRI



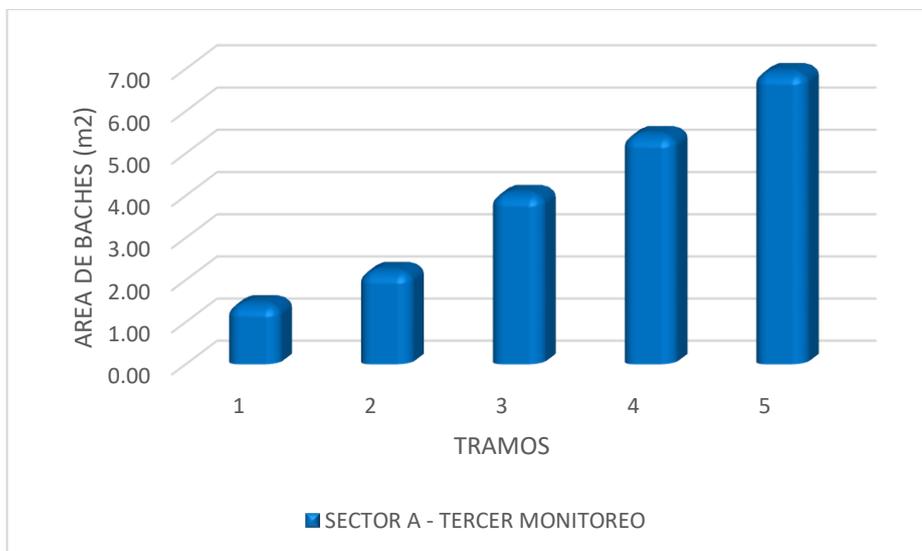
Nota. Se relacionan las precipitaciones con las variaciones porcentuales de los IRIs. Al final del cuarto monitoreo, todos los sectores experimentaron un incremento de IRI que puede estar relacionado con el aumento en las precipitaciones.

4.1.12. Índice de Condición de Vía No Pavimentada (ICVNP)

4.1.12.1. Deterioro superficial por la formación de baches

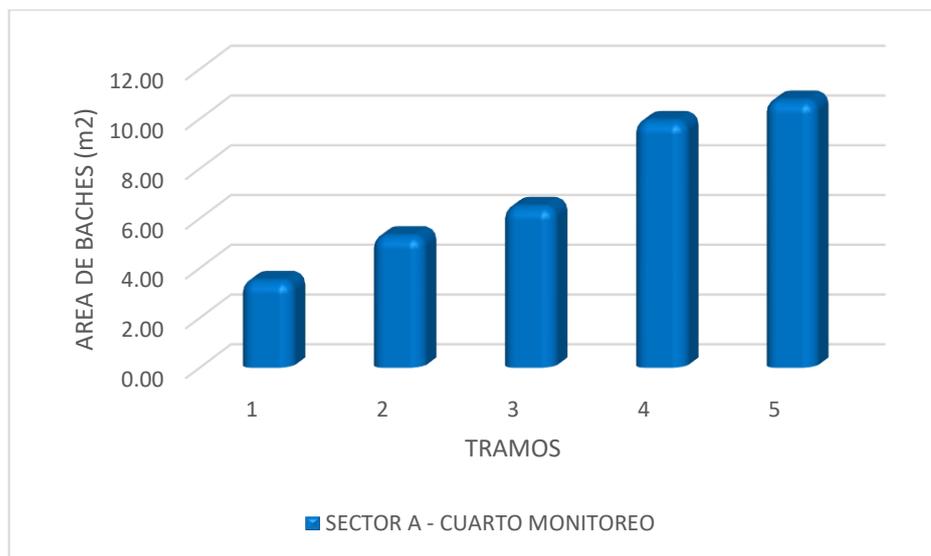
Los resultados siguientes se muestran mejor de manera grafica en la figura, dividiendo la evaluación de la degradación superficial en secciones para cada sector.

Figura 27: Deterioro superficial (baches) – Sector sin estabilizante



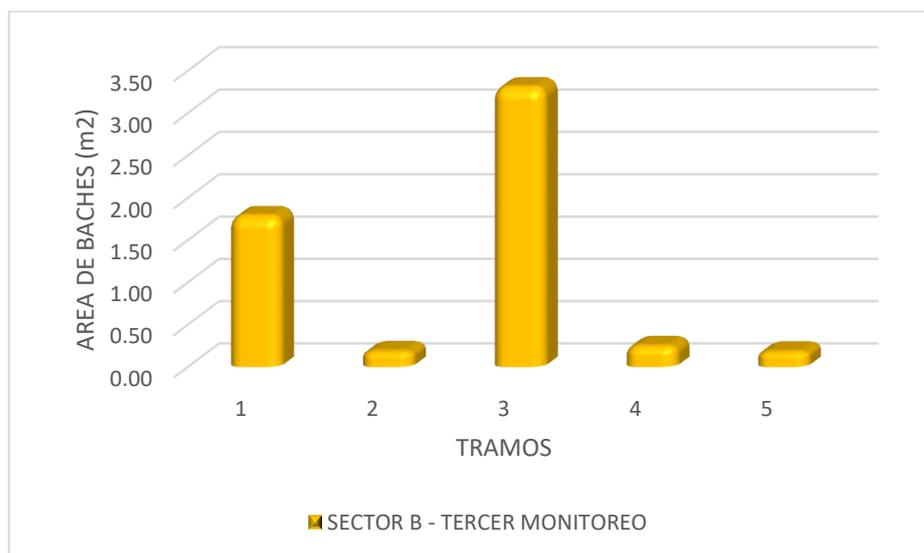
Nota. El sector A tuvo cinco tramos que mostraron tener un aumento en el área de baches a medida que se avanzaba en el tramo.

Figura 28: Deterioro superficial (baches) – Sector sin estabilizante



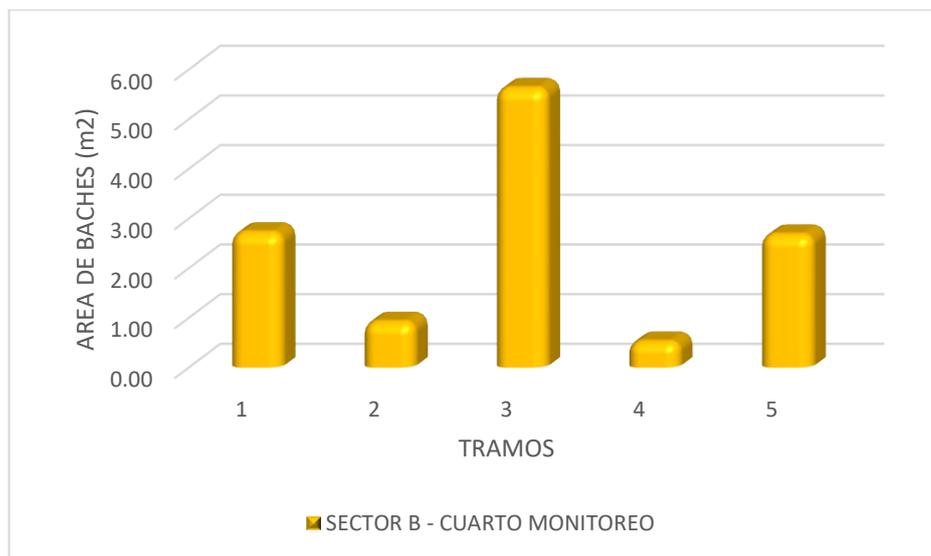
Nota. El sector A tuvo cinco tramos que mostraron tener un aumento en el área de baches a medida que se avanzaba en el tramo.

Figura 29: Deterioro superficial (baches) – Sector con Perma-Zyme



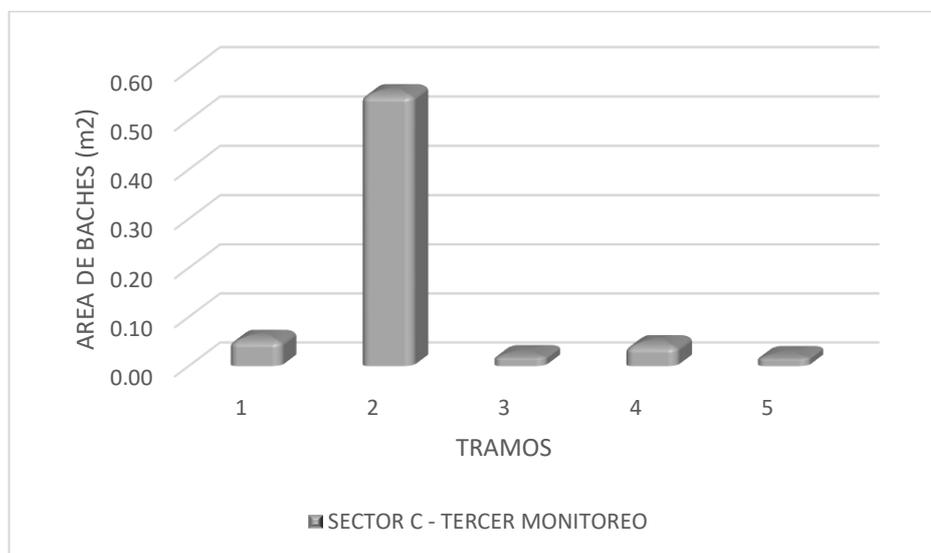
Nota. El sector B tuvo cinco tramos que mostraron tener diferentes y bajas áreas de baches en sus tramos con respecto al sector A.

Figura 30: Deterioro superficial (baches) – Sector con Perma-Zyme



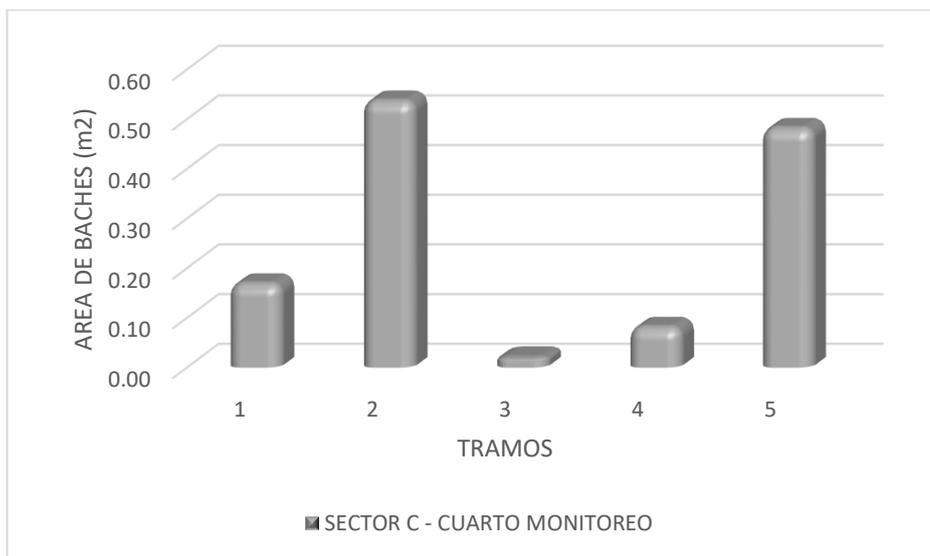
Nota. En el cuarto monitoreo, el sector B tuvo cinco tramos que mostraron tener diferentes y bajas áreas de baches en sus tramos con respecto al sector A.

Figura 31: Deterioro superficial (baches) – Sector con cloruro cálcico



Nota. En el tercer monitoreo, el sector C solo presentó altos baches en su segundo tramo.

Figura 32: Deterioro superficial (baches) – Sector con cloruro cálcico

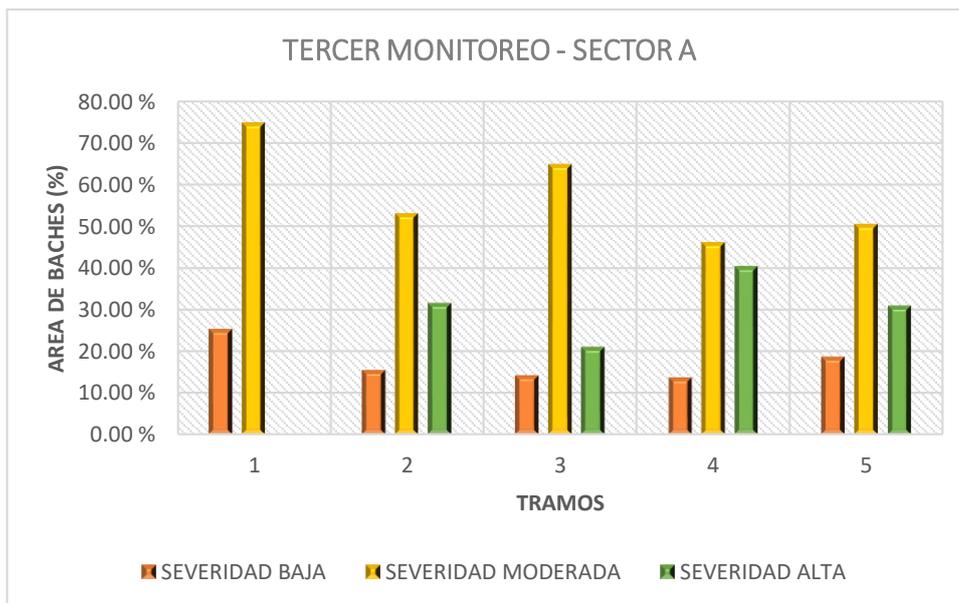


Nota. En el cuarto monitoreo, el sector C presentó altos baches en su segundo y quinto tramo.

4.1.12.2. Severidad en los sectores

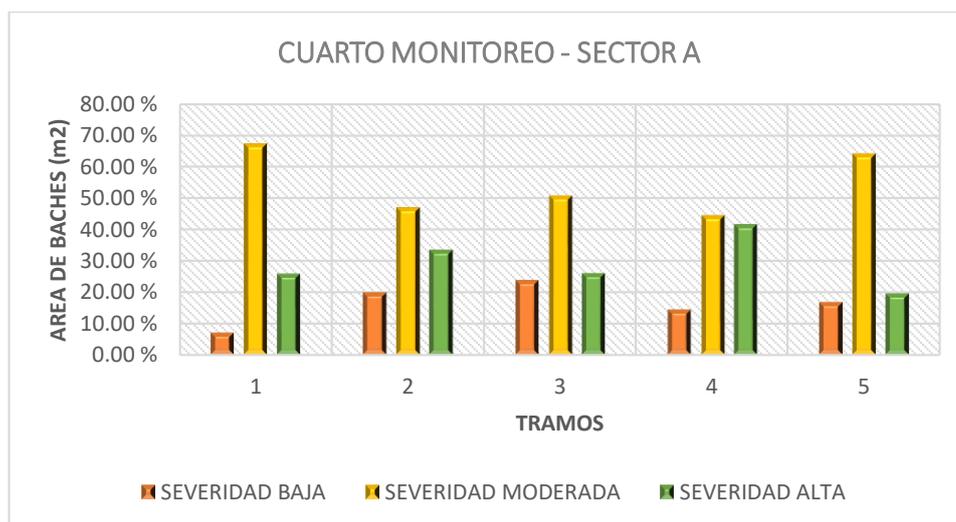
La severidad se evalúa por división por departamento, los siguientes resultados se representan mejor gráficamente en la figura.

Figura 33: Porcentaje de severidad – Sector sin estabilizante



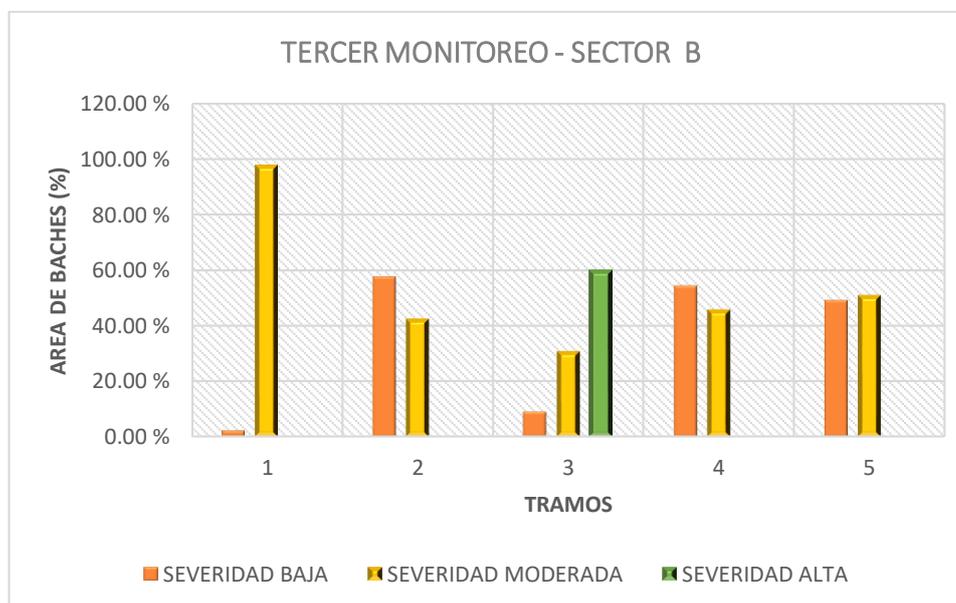
Nota. En el sector A, hubieron una mayor cantidad de baches de severidad moderada, donde el tramo con mayor área de baches de severidad moderada fue el primero.

Figura 34: Porcentaje de severidad – Sector sin estabilizante



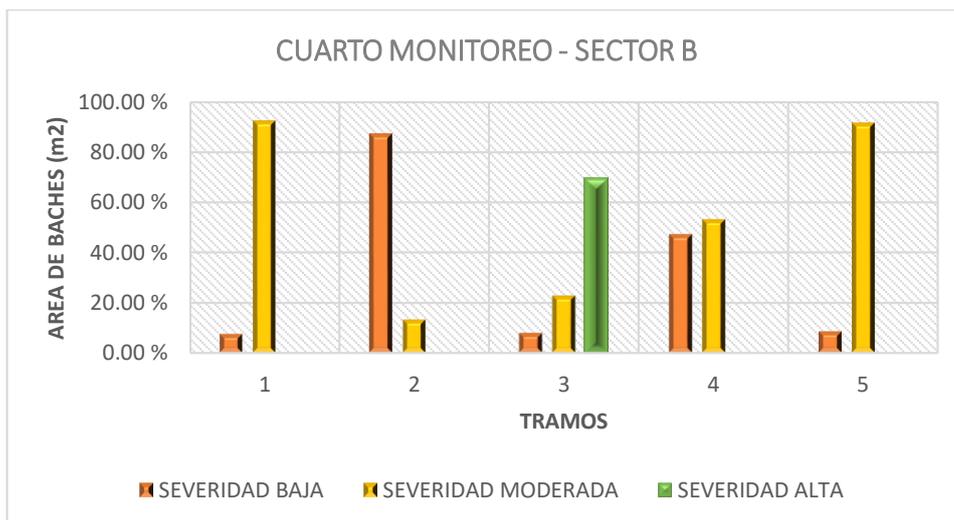
Nota. En el cuarto monitoreo, hubieron en mayoría baches de severidad moderada y alta, donde el tramo con mayor área de baches de severidad moderada fue el primero.

Figura 35: Porcentaje de severidad – Sector con Perma-Zyme



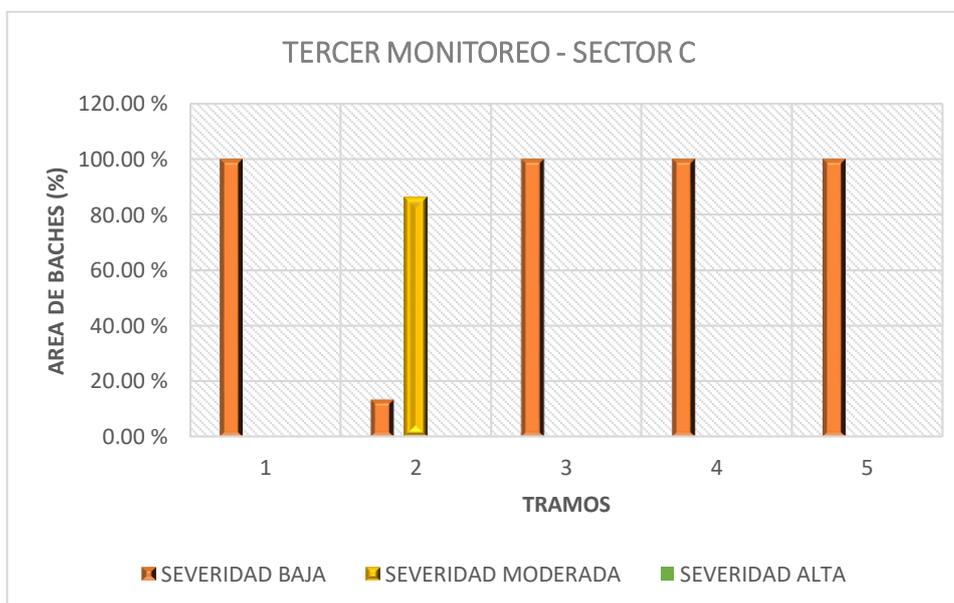
Nota. En el tercer monitoreo del sector B, se presentaron baches de severidad moderada en mayor cantidad. El tramo con mayor cantidad de baches fue el primero.

Figura 36: Porcentaje de severidad – Sector con Perma-Zyme



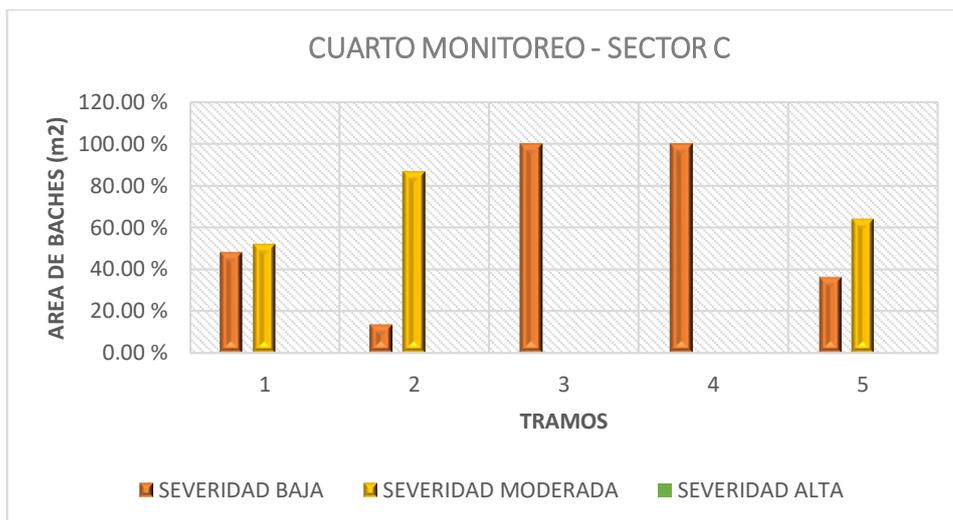
Nota. En el tercer monitoreo del sector B, se presentaron baches de severidad moderada y baja en mayor cantidad. Los tramos con mayor cantidad de baches fueron el primero, segundo y quinto.

Figura 37: Porcentaje de severidad – Sector con cloruro cálcico



Nota. El sector C, presentó baches de severidad baja en todos sus tramos en general. Solo en el segundo tramo la cantidad de ellos fue baja.

Figura 38: Porcentaje de severidad – Sector con cloruro cálcico



Nota. En el cuarto monitoreo se presentaron menos cantidad de baches de severidad baja. La preponderancia de baches se dio en los tramos segundo, tercero y cuarto.

4.2. Contrastación de hipótesis y prueba de hipótesis

El propósito fundamental de este estudio experimental fue mejorar la conservación de las superficies de rodaduras en las carreteras no pavimentadas Urumbisha - Maraypata, mediante el empleo de los estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico.

Para dar respuesta a esta hipótesis se seleccionaron 3 sectores de prueba.

- Sector A: Sin estabilizante
- Sector B: Perma-Zyme
- Sector C: Cloruro Cálcico

4.2.1. Índice de Rugosidad Internacional

Se empleó equipo de merlín para la medición de la rugosidad superficial en cada sector (4 mediciones c/u) siendo el sector patrón el que presenta mayor IRI (15.52) con respecto al IRI de los sectores tratados, Perma-Zyme (11.58) y Cloruro Cálcico (4.53). El progreso del IRI aumenta a medida que pasa el tiempo (60 días), presentando una mayor progresión el sector patrón. Las variaciones del IRI en los 4 monitoreos con relación a la primera medida del sector patrón (0 %), son bajas, el sector con Perma-Zyme presenta deformaciones (153 %) mientras que el sector con cloruro cálcico no presenta deformaciones (-1%). El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), por medio de su Manual Técnico para de mantenimiento de la red vial no

pavimentada, nos proporciona varios niveles estándar de condición del pavimento en función de los componentes y condiciones de la vía, así como valores de referencia para el IRI.

Tabla 84: Clasificación del estado de la superficie de rodadura

ESTADO DEL CAMINO		IRI	CRITERIOS Y CONDICIONES DEL CAMINO
Muy mal estado	MM	> 18	<p>La superficie de rodadura presenta elevado deterioro, grandes deformaciones, hundimientos y baches.</p> <p>De circulación muy restringida durante la mayor parte del año, Requiere mantenimiento</p> <p>La velocidad de circulación es menor a 10 kilómetros por hora en tramos rectos</p>
Mal estado	M	14 - 18	<p>La superficie de rodadura presenta deterioro, ciertas deformaciones apreciables, hundimientos y baches</p> <p>De circulación restringida durante la mayor parte del año</p> <p>La velocidad de circulación es menor a 20 kilómetros por hora en tramos rectos</p>
Regular estado	R	8 - 14	<p>La superficie de rodadura presenta deterioro superficial y presencia de baches y hundimientos puntuales</p> <p>De circulación sin restricciones durante el año</p> <p>La velocidad de circulación es aproximadamente entre 20 y 40 kilómetros por hora en tramos rectos</p>
Buen estado	B	6 - 8	<p>La superficie de rodadura no presenta deterioro apreciable.</p> <p>De circulación sin restricciones durante el año</p> <p>La velocidad de circulación es aproximadamente entre 40 y 60 kilómetros por hora en tramos rectos</p>
Muy buen estado	MB	4 - 6	<p>Superficie de rodadura sin defectos y con excelente regularidad superficial</p> <p>De circulación sin restricciones durante el año</p> <p>La velocidad de circulación puede llegar a ser mayor a 60 kilómetros por hora en tramos rectos</p>

Tomada de Program dust palliative selection and application guide por United States Department of Agriculture [USDA], 1999, p. 2.

De acuerdo con nuestros valores que obtuvimos en cada sector, ubicaremos para poder saber cómo se encuentra el estado de la carpeta de rodaduras donde se evidencian en la tabla siguiente:

Tabla 85: Estado de la carpeta de rodadura

SECTOR	ESTADO DE LA CARRETERA
A	Mal Estado
B	Regular Estado
C	Muy buen Estado

Nota. El estado de cada sector se define en base a su respectivo IRI. El sector A tuvo un IRI de 4.98; el sector B, un IRI de 5.81; y el sector C, 14.97.

Así mismo, se realizó una regresión no lineal para encontrar el tiempo hasta la recaída sostenida, y el sector de cloruro de calcio fue el dominio de mayor duración (14,97 meses) en comparación con el sector patrón (4.98 meses) y el sector con Perma-Zyme (5.81 meses).

4.2.2. Índice de Condición de Vía No Pavimentada (ICVNP)

El seguimiento de errores típicos con ICVNP muestra que todos los dominios probados tienen vulnerabilidades de gravedad media y alta. El sector con el mayor deterioro inicial (la brecha) es el área de referencia en relación con las demás. Aunque hay muchos baches, pero la gravedad del sector de cloruro de calcio no es alta.

Para probar la hipótesis de “Aplicación de estabilizantes de suelo mejoran las superficies de las carreteras no pavimentadas”, se realizó la prueba de hipótesis utilizando el método del valor medio, teniendo un control con el sector patrón, para tal efecto se tuvieron en cuenta los siguientes pasos y/o procedimientos.

4.2.3. Sector A (Sector Patrón) - Sector B (Perma-Zyme)

PASO 1: Planteamiento de la Hipótesis Nula (Ho) e Hipótesis Alternativa (H1), encontrando la siguiente situación.

Ho: La aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico NO mejora la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada.

H1: La aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálcico mejora la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada.

Tabla 86: Prueba de hipótesis sector A - sector B

Sectores	Tiempo	IRI	D. estandar
Sector A	60	15.52	5.04
Sector B	60	11.58	3.97
Sector C	60	4.53	0.71

Nota. Elaboración propia

$$H_0: \bar{X} \leq 11.58$$

$$H_1: \bar{X} > 11.58$$

Donde:

$$\bar{X} = 15.52 \text{ (IRI del sector patrón A)}$$

$$\mu = 11.58 \text{ (IRI del sector con Perma – Zyme B)}$$

PASO 2: Definir el Nivel de significancia ($\alpha=0.05$ o en su forma 5%), el tamaño de la muestra (n).

$$\alpha = 0.05$$

$$n = 4$$

PASO 3: Determinación de la Zona de Aceptación o Rechazo de la Hipótesis Nula (Ho).

Utilizando la tabla de distribución t de Student, tenemos $t = 2.3534$.

Tabla 87: Tabla de t de Student para la prueba sector A - sector B

n-1/α	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	1.0000	1.3764	1.9626	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567	636.6192
2	0.8165	1.0607	1.3862	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248	31.5991
3	0.7649	0.9785	1.2498	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409	12.9240
4	0.7407	0.9410	1.1896	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041	8.6103
5	0.7267	0.9195	1.1558	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321	6.8688
6	0.7176	0.9057	1.1342	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074	5.9588
7	0.7111	0.8960	1.1192	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995	5.4079
8	0.7064	0.8889	1.1081	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554	5.0413
9	0.7027	0.8834	1.0997	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498	4.7809
10	0.6998	0.8791	1.0931	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693	4.5869
11	0.6974	0.8755	1.0877	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058	4.4370

Nota. Se selecciona la fila del número 3 y la columna del número 0.05 que corresponde al nivel de significancia.

PASO 4: Determinación de la Función Pivotal

Para $n \leq 30$,

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}}$$

Donde:

$$\bar{X} = 15.52$$

$$\mu = 11.58$$

$$\sigma = 5.04$$

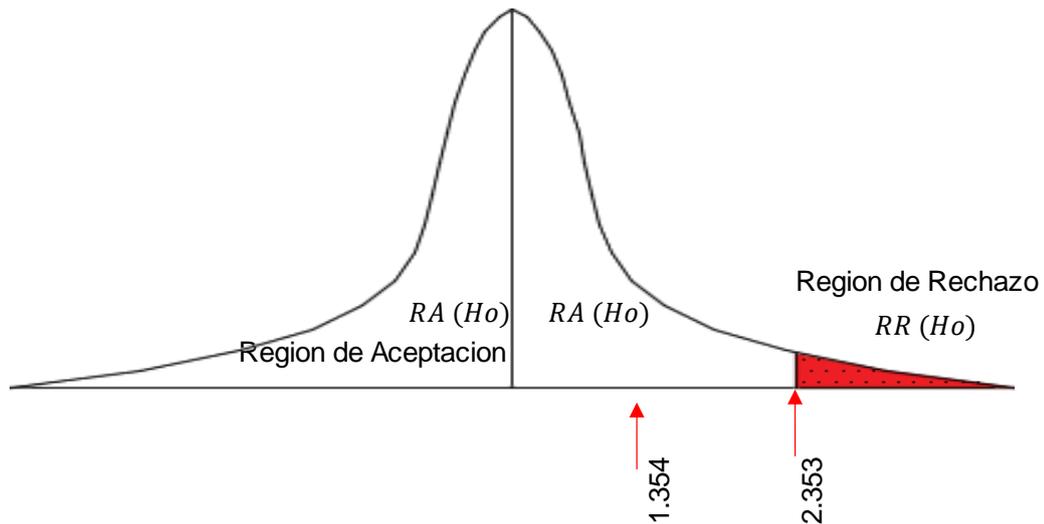
$$n = 4$$

PASO 5: Cálculo de la Función Pivotal

$$t = 1.354$$

PASO 6: Situar el Valor conseguido en el cálculo de la función Pivotal, en la región de rechazo (RR) o en la región de aceptación (RA) de la Hipótesis Nula.

Figura 39: Distribución de probabilidad de t de Student sector A - sector B



Nota. El estadístico de prueba no cae en la región de rechazo.

CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS: Se Acepta la hipótesis nula, significa que el estabilizante de suelo Perma-Zyme no mejora las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada, y por ende se Rechaza la hipótesis Alternativa.

4.2.4. Sector A (Sector Patrón) - Sector C (Cloruro cálcico)

PASO 1: Planteamiento de la Hipótesis Nula (H_0) e Hipótesis Alternativa (H_1), encontrando la siguiente situación.

H_0 : La dosificación aplicada con cloruro cálcico NO mejora las irregularidades superficiales de las carreteras no pavimentadas.

H_1 : La dosificación aplicada con cloruro cálcico mejora las irregularidades superficiales de las carreteras no pavimentadas.

Tabla 88: Prueba de hipótesis sector A - sector C

Sectores	Tiempo	IRI	D. estándar
Sector A	60	15.52	5.04
Sector B	60	11.58	3.97
Sector C	60	4.53	0.71

Nota. Elaboración propia

$$H_0: \bar{X} \leq 4.53$$

$$H_1: \bar{X} > 4.53$$

Donde:

$$\bar{X} = 15.52 \text{ (IRI del sector patrón A)}$$

$$\mu = 4.53 \text{ (IRI del sector C con cloruro cálcico)}$$

PASO 2: Definir el Nivel de significancia ($\alpha=0.05$ o en su forma 5%), el tamaño de la muestra (n).

$$\alpha = 0.05$$

$$n = 4$$

PASO 3: Establecimiento de la Zona de Aceptación o Rechazo de la Hipótesis Nula (H_0).

Utilizando la tabla de distribución t de Student, tenemos $t = 2.3534$.

Tabla 89: Tabla de t de Student para la prueba sector A - sector C

n-1/α	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	1.0000	1.3764	1.9626	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567	636.6192
2	0.8165	1.0607	1.3862	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248	31.5991
3	0.7649	0.9785	1.2498	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409	12.9240
4	0.7407	0.9410	1.1896	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041	8.6103
5	0.7267	0.9195	1.1558	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321	6.8688
6	0.7176	0.9057	1.1342	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074	5.9588
7	0.7111	0.8960	1.1192	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995	5.4079
8	0.7064	0.8889	1.1081	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554	5.0413
9	0.7027	0.8834	1.0997	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498	4.7809
10	0.6998	0.8791	1.0931	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693	4.5869
11	0.6974	0.8755	1.0877	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058	4.4370

Nota. Se selecciona la fila del número 3 y la columna del número 0.05 que corresponde al nivel de significancia.

PASO 4: Determinación de la Función Pivotal

Para $n \leq 30$,

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}}$$

Donde:

$$\bar{X} = 15.52$$

$$\mu = 4.53$$

$$\sigma = 5.04$$

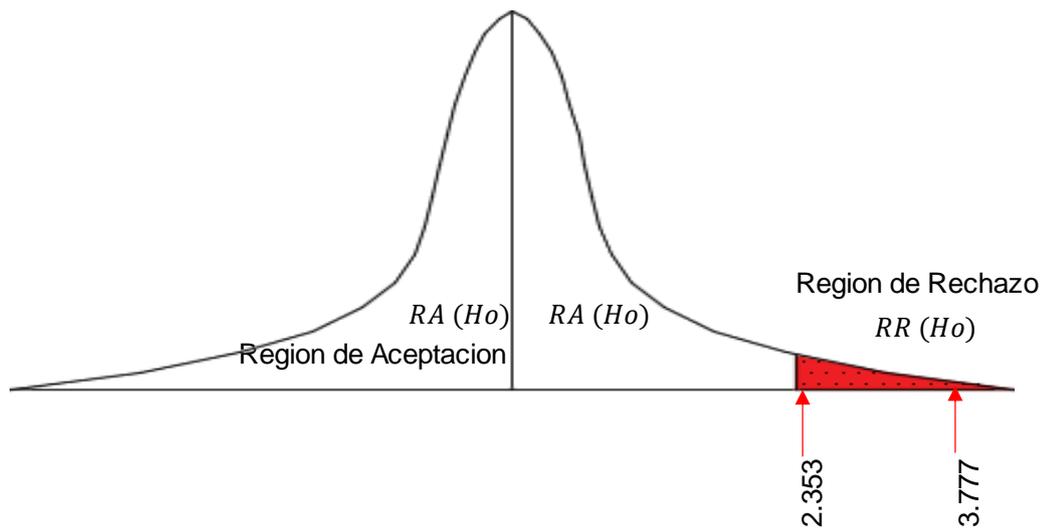
$$n = 4$$

PASO 5: Cálculo de la Función Pivotal

$$t = 3.777$$

PASO 6: Situar el Valor conseguido en el cálculo de la función Pivotal, en la región de rechazo (RR) o en la región de aceptación (RA) de la Hipótesis Nula.

Figura 40: Distribución de probabilidad de t de Student sector A - sector C



Nota. El estadístico de prueba no cae en la región de rechazo.

CONCLUSIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS: Se rechaza la hipótesis nula, significa que el estabilizante de suelo cloruro cálcico conserva la superficie de rodadura, y por ende se acepta la hipótesis Alternativa.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN RESULTADOS

4.3. Contrastación de los resultados del trabajo de investigación

De acuerdo con las investigaciones nacionales y locales utilizadas como antecedentes, consideramos la siguiente para la contrastación de resultados:

Choque (2012), llevó a cabo el estudio "Evaluaciones de aditivos químicos sobre la eficacia de la protección de la superficie de rodadura de caminos no pavimentados ", en la cual llegó a las conclusiones siguientes:

- El sector patrón (sin aditivo) ha presentado un adecuado comportamiento.
- En los sectores con aditivos utilizados después de 117 días de uso, cambiaron sus IRIs más que el sector patrón. En el sector B (cloruro de calcio) hubo un incremento del 107%, un aumento del 62% en el sector C (con enzimas) y un cambio del 45% en el sector A (sin aditivos) indicando que los estabilizantes no reducen el deterioro de la vía.
- En cuanto al ICVNP, los sectores en donde los aditivos fueron empleados luego de 117 días de aplicación, presentaron un gran cambio de ICVNP con respecto al tramo patrón, el cual presentó un índice de 60 resultando Bueno. El sector B (cloruro de calcio) tuvo un ICVNP de 40 indicando un estado Regular y el sector C (enzimático) tuvo un índice de 58 resultando Bueno. Se infiere que los aditivos tampoco mejoran la calidad superficial debido a que no superan el ICVNP del sector patrón.

En el actual estudio llegamos a las conclusiones siguientes:

- De todos los sectores, el sector C estabilizado con cloruro cálcico ha tenido un mejor comportamiento.
- El sector A, donde no se aplicó el estabilizante de suelo presentó gran aumento de IRI referente a sectores donde se aplicaron los estabilizantes.

- En el sector B estabilizado con Perma-Zyme aumentó el IRI en 153 % y en el sector C disminuyó en un 1 % referente al sector A (sin estabilizante), el cual evidenció una variación de un 238 % en la cuarta evaluación.
- Después de 60 días de aplicación de los estabilizantes, los sectores presentaron una variación del ICVNP de acuerdo al tramo patrón obteniéndose un índice de 26 (condición deficiente). En el sector B (Perma-Zyme) el índice resultó 44, indicando una condición regular y en el sector C el índice resultó 75, indicando una condición muy buena.

La investigación de Choque (2012) demostró que los estabilizantes no mejoraban la calidad de la vía ya que los IRIs de los sectores estabilizados se incrementaron mucho más que el IRI del sector patrón (sin aditivo). Por otro lado, en la presente investigación se ha demostrado la efectividad del estabilizante químico Cloruro Cálcico. Por lo tanto, existe una discrepancia con los resultados de Choque (2012).

CONCLUSIONES

1. Los dos sectores tratados con Perma-Zyme y Cloruro Cálculo presentaron buenos comportamientos con respecto a los deterioros superficiales, donde el sector con cloruro cálcico obtuvo el mejor desempeño óptimo.
2. Los sectores estabilizados tuvieron buen comportamiento en los primeros 30 días. Debido a que se intensificaron las precipitaciones acumuladas hasta 38.70 mm a los 60 días, los sectores comenzaron a presentar algunos baches y su rugosidad se incrementó.
3. El sector patrón donde no se aplicó el estabilizante de suelo, luego de 60 días de empleo de afirmado presentó gran variación de IRI de acuerdo con los sectores donde se aplicaron los estabilizantes. En el sector B aumentó en 153 % y en el sector C disminuyó en 1 % con relación al sector A (sin estabilizante) que evidenció una fluctuación de un 238 %.
4. El tiempo de recurrencia en el sector sin estabilizante fue de 4.98 meses, lo cual indica que tiene una baja durabilidad. Por otro lado, el sector con Perma-Zyme tuvo durabilidad de 5.81 meses y el sector con cloruro cálcico tuvo una durabilidad de 14.97 meses.
5. El sector patrón presenta gran deterioro con respecto a la rugosidad presentando al final de la evaluación un IRI de 15.52, el cual representa un aumento de 238 % con respecto al IRI inicial que era 4.59.
6. El sector patrón evidenció deterioro rápido debido a la formación de depresiones moderadas y alta en el tercer monitoreo llevado a cabo a los 45 días. En contraste, el sector con cloruro cálcico presentó una pequeña cantidad de baches a los 45 días de aplicado, manteniendo una severidad baja y moderada.
7. De acuerdo con la prueba de hipótesis, se concluyó que para un nivel de significancia del 5 % solo el estabilizante cloruro cálcico mejora la conservación de las carreteras no pavimentadas.

RECOMENDACIONES

1. El estabilizador se aplica en condiciones secas con el fin de impedir el exceso de agua durante la aplicación.
2. Tenga especial cuidado al manipular y usar cloruro cálcico. Se recomienda estar muy atento y seguir todas las indicaciones del personal responsable de la aplicación, asimismo usar el equipo de protección personal en cada etapa del proceso.
3. El proceso de compactación debe ser controlado adecuadamente mediante los ensayos de campo respectivos. También, se recomienda que el rodillo compactador comience por los bordes de la calzada y termine la compactación por la parte central de la carretera. En este caso, se recomienda utilizar una superficie con un grosor de al menos 15 cm.
4. De acuerdo con algunas investigaciones, para el procedimiento de aplicación de esta tecnología, se recomienda mezclar y homogeneizar con un rociador, ya que con una mezcladora no se puede lograr el 100% de eficiencia.
5. La medición del área de las fallas debe hacerse de forma cuidadosa de tal manera que las áreas sean lo más próximas a la realidad. Asimismo, la identificación de la severidad de la falla debe ser correctamente asignada. Ambas consideraciones determinan el ICVNP, el cual es un indicador fundamental por evaluar al final del período de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2007). *Standard Test Methods for Measuring Road Roughness Using the Static Level Method*. ASTM.

http://www.kelid1.ir/FilesUp/ASTM_STANDARS_971222/E1364.PDF

American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2007). *Standard Practice for Surface Condition Index Tests for Roads and Parking Lots*. ASTM.

<https://n9.cl/7ypbr>

Apolinario, A. A. & Delgado, E. A. (2019). *Estabilizar arcilla con bajo valor de soporte (CBR), con el fin de mejorar el sustrato*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

<https://n9.cl/ix4gx>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *El manual de carreteras: geología, suelos, pavimentos y geotecnia*. MTC.

<https://bit.ly/3HEPQhI>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS] (2010). Normas técnicas CE. 010: Pavimento urbano. MVCS.

<https://bit.ly/37D5I7j>

Morales, D. (2015). *Evaluación de la estabilidad en suelos de cenizas de carbón por activación alcalina y su aplicación en caminos no pavimentados*. Universidad de Medellín.

<https://bit.ly/3yFieNm>

Ruano, D. R. (2012). *El suelo cohesivo debe estabilizarse con arena volcánica y cal viva*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

<https://n9.cl/f94wlc>

Sánchez, M. A. (2014). *La estabilidad de suelos expandidos con cal y cemento en el sector Calcical del Cantón Tosagua Provincia de Manabí*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<https://bit.ly/3yyz68n>

Choque, H. M. (2012). *Evaluación de aditivos químicos sobre la eficacia de la protección de la superficie de rodadura de caminos no pavimentados*. Universidad Nacional de Ingeniería.

<https://n9.cl/oe5p2>

De la Cruz, L. M. & Salcedo, K. K. (2016). *Estabilizaciones de suelos cohesivos con aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian Huancayo - Junín*. Universidad Peruana Los Andes.

<https://bit.ly/3IVMuln>

Segura, C. D. (2015). *Estabilizar suelos con alto contenido de plástico con cemento Portland en el departamento de Lambayeque*. Universidad Señor de Sipán.

<https://bit.ly/3F1W8a7>

Espinoza, G. H. (2010). *Propuestas de mejora de las características físicas – mecánicas del suelo, empleando estabilizantes (terrazyme y zimplex pz – 22x, en proporciones de: 1lt por 33 m³ de suelo y 1lt por 30 m³ de suelo), en suelos de fundación de matriz limosa*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

<https://bit.ly/3GMGCPM>

Arriaga, M., Garnica, P., & Rico, A. (2011). *Índices Internacionales de Rugosidades en las redes carreteras de México*.

Carranza, F. (9 de 2 de 2016). Quimpac S.A.
<http://www.quimpac.com.pe/cloruro.html>

Kogan, J. (2014). *Análisis de los sectores de transportes*. Navarrete.

Menéndez, J. R. (2011). *Mantenimientos rutinarios de carreteras para microempresas*. Oficina Internacional del Trabajo.

<https://n9.cl/vis3b>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *Manuales de carreteras: geología, suelos, pavimentos y geotecnia*. MTC.

<https://bit.ly/3HfwP5c>

MTC (2016). *Manuales de ensayos de materiales*. MTC.

<https://bit.ly/3HDkiZd>

MTC. (2020). *Diagnosticar vulnerabilidades en la infraestructura o accesibilidad de los servicios esenciales*. MTC.

<https://bit.ly/3ExdASI>

MTC. (2008). *Manual de diseño para caminos no pavimentados de bajo flujo*. MTC.

MTC. (2012). *Manuales técnicos para los mantenimientos periódico de las redes viales no pavimentadas*. MTC.

Martínez, P. N. (2008). *Definición mejorada del índice de textura del pavimento para mantenimiento*. Universidad de Chile.

Polidem. (15 de 12 de 2015). Polidem S.A. Obtenido de http://www.polydem.com.ar/mejorador_de_suelos.html

Revista de Ingeniería de Construcción (1989). Obtenido de

<https://n9.cl/sgzoi>

Badilla, G., Elizondo, F. & Barrantes, R. (2008). Especificación del procedimiento de prueba utilizado para calcular el IRI. Universidad de Costa Rica.

<https://n9.cl/v7i4w>

Hernández, R. & Mendoza, C. P. (2018). *Metodologías de las investigaciones: Las rutas mixta y cuantitativa*. McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1: Resolución de designación de asesor

Anexo 2: Resolución de asignación de jurados

Anexo 3: Resolución de aprobación del proyecto de tesis

Anexo 4: Matriz de consistencia

Anexo 5: Formato del muestreo probabilístico

Anexo 6: Resultados de los ensayos de laboratorio

Anexo 7: Panel fotográfico

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1130-2021-D-FI-UDH

Huánuco, 16 de Setiembre de 2021

Visto, el Oficio N° 712-2021-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 312573-0000003852, del Bach. **Estefani Mirella, MORALES BETETA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 312573-0000003852, presentado por el (la) Bach. **Estefani Mirella, MORALES BETETA**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, el mismo que propone al Mg. Bladimir Jhon Abal Garcia, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la Bach. **Estefani Mirella, MORALES BETETA**, al Mg. Bladimir Jhon Abal Garcia, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá reiniciar el trámite.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Jhonani Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANATE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Mat. y Reg. Acad. – Interesado – Archivo.
BLCR/EJML/nto.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1062-2022-D-FI-UDH

Huánuco, 26 de mayo de 2022

Visto, el Of. N° 622-2022-C-PAIC-FI-UDH y el Exp. N° 345839-000003128 presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil, quien informa que el (la) Bach. **Estefani Mirella MORALES BETETA**, solicita Revisión del informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: **"EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMAZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022"**.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Art. N° 38 y 39 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, es necesaria la revisión del Trabajo de Investigación (Tesis) por la Comisión de Grados y Títulos del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Huánuco; y,

Que, para tal efecto es necesario nombrar al jurado Revisor y/o evaluador, compuesta por tres miembros docentes de la Especialidad; y,

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - NOMBRAR, al Jurado Revisor que evaluará el informe final del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulada: **"EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMAZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022"**, presentado por el (la) Bach. **Estefani Mirella MORALES BETETA**, del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, conformado por los siguientes docentes:

- | | |
|--|------------|
| ➤ Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas | PRESIDENTE |
| ➤ Mg. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza | SECRETARIO |
| ➤ Mg. Joel Luis Guarniz Florez | VOCAL |

Artículo Segundo. - Los miembros del Jurado Revisor tienen un plazo de siete (07) días hábiles como máximo, para emitir el informe y opinión acerca del Informe Final del Trabajo de Investigación (Tesis).

REGISTRESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVESE,



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
[Signature]
Ing. Ethel Inés Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
[Signature]
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:
C PAIC -Mat. y Reg. Acad.- Interesado- Jurado (03)-Archivo
BCR/EJML/nto.

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 373-2022-D-FI-UDH

Huánuco, 23 de febrero de 2022

Visto, el Oficio N° 232-2022-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMA-ZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022", presentado por el (la) Bach. ESTEFANI MIRELLA MORALES BETETA.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1130-2021-D-FI-UDH, de fecha 16 de setiembre de 2021, perteneciente al Bach. ESTEFANI MIRELLA MORALES BETETA se le designó como ASESOR(A) de Tesis al Mg. Bladimir Jhon Abal García, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 232-2022-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMA-ZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022" presentado por el (la) Bach. ESTEFANI MIRELLA MORALES BETETA, integrado por los siguientes docentes: Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza (Secretario) y Mg. Joel Luis Guarniz Flores (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "EVALUACION DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CALCICO Y PERMA-ZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO 2022" presentado por el (la) Bach. ESTEFANI MIRELLA MORALES BETETA para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Ibarra Manzano Lozada
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANATE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDICADORES
¿De qué manera los estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálculo mejorará la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022?	Determinar de qué manera la aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálculo mejorará la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022.	La aplicación de estabilizantes de suelo Perma-Zyme y Cloruro Cálculo mejora la superficie de rodadura de la carretera no pavimentada del distrito y provincia de Ambo, región Huánuco-2022	Instrumentos de investigación documental y bibliográfica a. Fichas de documentación e investigación: - Fichas textuales - Fichas de resumen - Fichas de comentario
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	
¿De qué manera el Perma-Zyme mediante la dosificación aplicada mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada?	Evaluar que la dosificación aplicada con Perma-Zyme mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada	La dosificación aplicada con Perma-Zyme mejora las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada	b. Fichas de registro o localización - Fichas bibliográficas - Fichas hemerográficas - Fichas de internet
¿De qué manera el Cloruro Cálculo mediante la dosificación aplicada mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada?	Evaluar que la dosificación aplicada con Cloruro Cálculo mejorará las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada	La dosificación aplicada con Cloruro Cálculo mejora las irregularidades superficiales de la carretera no pavimentada	Instrumentos de recolección de información de trabajo de campo c. Libreta de campo d. Instrumentos de campo
¿De qué manera el Perma-Zyme mediante la dosificación aplicada mejorará la integridad de la vía?	Determinar que la dosificación aplicada con Perma-Zyme mejorará la integridad de la vía de la carretera no pavimentada	La dosificación aplicada con Perma-Zyme mejora la integridad de la vía de la carretera no pavimentada	Instrumentos de recolección de información de laboratorio e. Guías de laboratorio - Guía de laboratorio para anotar los datos del ensayo
¿De qué manera el Cloruro Cálculo mejorará la integridad de la vía?	Determinar que la dosificación aplicada con Cloruro Cálculo mejorará la integridad de la vía de la carretera no pavimentada	La dosificación aplicada con Cloruro Cálculo mejora la integridad de la vía de la carretera no pavimentada	-

Formato del muestreo probabilístico

MUESTREO PROBABILÍSTICO SISTEMÁTICO

EN QUE CONSISTE EL MUESTREO SISTEMÁTICO

Es una técnica dentro de la categoría de muestreos probabilísticos – y que por lo tanto requiere tener un control preciso del marco muestral de individuos seleccionables junto con la probabilidad de que sean seleccionados – consistente en escoger un individuo inicial de forma aleatoria entre la población y, a continuación, seleccionar para la muestra a cada n -ésimo individuo disponible en el marco muestral.

El muestreo sistemático es un proceso muy simple y que sólo requiere la elección de un individuo al azar. El resto del proceso es trivial y rápido. Los resultados que obtenemos son representativos de la población, de forma similar al muestreo aleatorio simple, siempre y cuando no haya algún factor intrínseco en la forma en que los individuos están listados que haga que se reproduzcan ciertas características poblacionales cada cierto número de individuos. Este suceso es realmente poco frecuente.

DATOS

Longitud Total	=	4,540.00 mt
Longitud del tramo	=	300.00 mt
Numero de tramos "n"	=	3.00

SOLUCION

1. **Elaboramos una lista ordenada de los N individuos de la población**, lo que sería el marco muestral.

$$N = L \text{ total} / L \text{ tramo} = 15.133333$$

2. **Dividimos el marco muestral en n fragmentos**, donde n es el tamaño de muestra que deseamos. El tamaño de estos fragmentos será:

$$K = N/n = 5.0444444$$

donde **K** recibe el nombre de intervalo o coeficiente de elevación.

3. **Número de inicio**: obtenemos un número aleatorio entero A, menor o igual al intervalo. Este número corresponderá al primer sujeto que seleccionaremos para la muestra dentro del primer fragmento en que hemos dividido la población.

$$A = 2 \text{ Ok!!!}$$

4. **Selección de los n-1 individuos restantes**: Seleccionamos los siguientes individuos a partir del individuo seleccionado aleatoriamente, mediante una sucesión aritmética, seleccionando a los individuos del resto de fragmentos en que hemos dividido la muestra que ocupan la misma posición que el sujeto inicial. Esto equivale a decir que seleccionaremos los individuos.

Tramo 1 = 2.00	Prog. 300 al 600
Tramo 2 = 8.00	Prog. 2100 al 2400
Tramo 3 = 14.00	Prog. 3900 al 4200

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN - HUANUCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE ESTABILIZANTES DE SUELO CON CLORURO CÁLCICO Y PERMA-ZYME EN LA SUPERFICIE DE RODADURA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADA EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE AMBO, REGIÓN HUANUCO-2022"

UBICACIÓN : PILLCO MARCA - DIST: PILLCO MARCA - PROV: HUÁNUCO - DEP: HUÁNUCO

MUESTRA : M - 01

CANTERA : MATICHICO

SOLICITA : Bach. Ing. Civil Estefani Mirella Morales Beteta.

FECHA : Febrero 2022

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D - 423

Nº DE GOLPES	11	16	26	35
Suelo Húmedo + Tarro	8.431	8.399	7.831	8.920
Suelo seco + Tarro	6.779	6.729	6.487	7.399
Peso de Tarro	2.058	1.622	1.700	1.675
Peso del Agua	1.652	1.670	1.344	1.521
Peso de Suelo Seco	4.721	5.107	4.787	5.724
HUMEDAD %	34.993	32.700	28.076	26.572

LIMITE LIQUIDO : 29.50

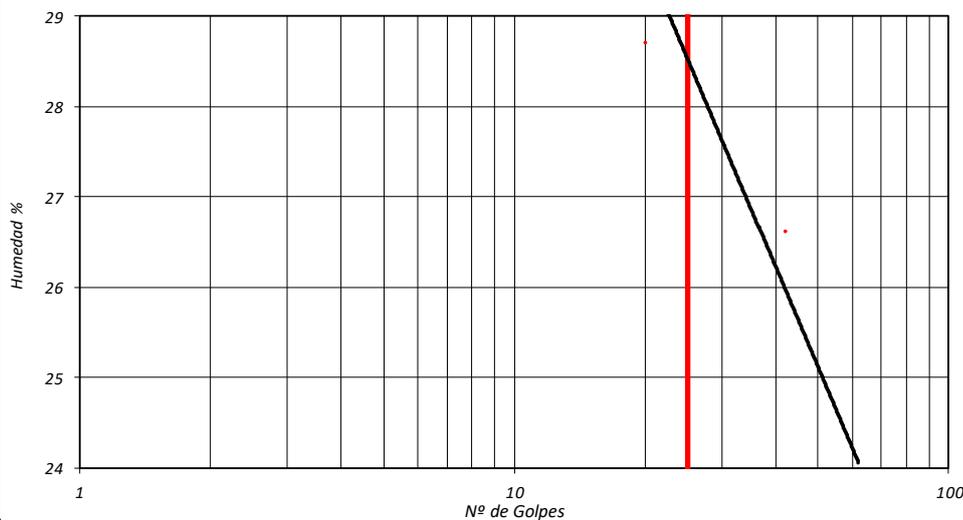
LIMITE PLÁSTICO : 21.21

ÍNDICE PLÁSTICO : 8.29

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - 424

MUESTRA	01	02	03
Suelo Húmedo + Tarro	3.403	4.040	3.040
Suelo seco + Tarro	3.281	3.722	2.712
Peso de Tarro	2.054	2.294	1.668
Peso del Agua	0.122	0.318	0.328
Peso de Suelo Seco	1.227	1.428	1.044
HUMEDAD %	9.943	22.269	31.418

CURVA DE FLUIDEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

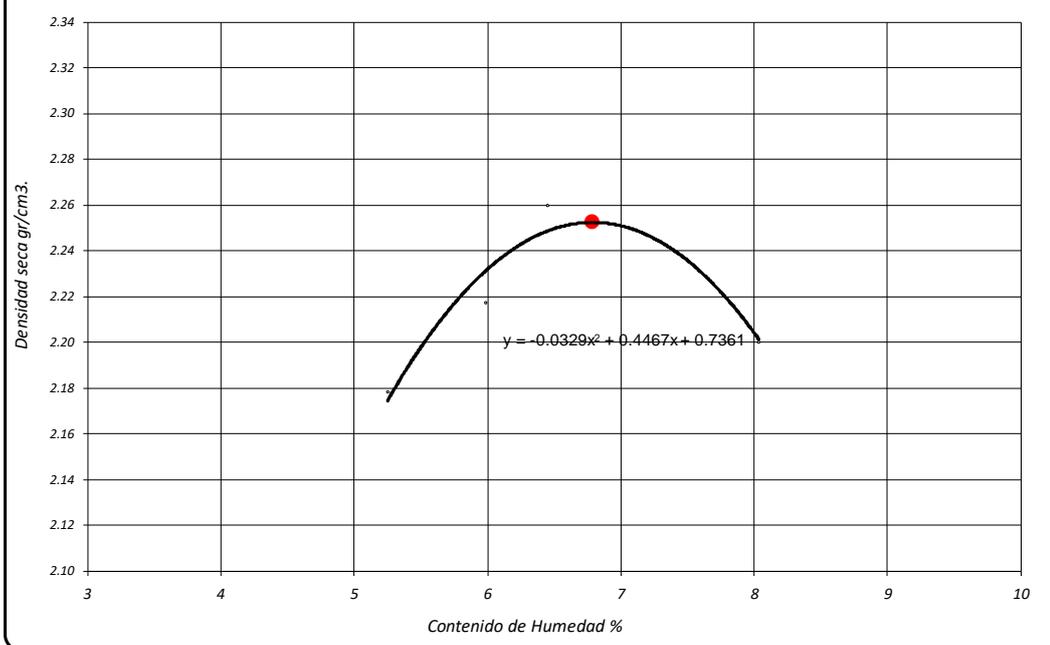
LABORATORIO DE GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y MECANICA DE MATERIALES

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA COMPACTADA

PROYECTO : TESIS
UBICACIÓN : DIST: PILLCO MARCA PROV: HUANUCO DEP: HUANUCO Nº DE CAPAS : 5
CANTERA : MATICHICO Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
SOLICITA : Bach. Ing. Civil Estefani Mirella Morales Beteta.
FECHA : Febrero 2022

PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	11243.6		11365.4		11483.1		11422.5	
PESO DEL MOLDE	gr.	6374.2		6374.2		6374.2		6374.2	
PESO MUESTRA HÚMEDA	gr.	4869.4		4991.2		5108.9		5048.3	
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³ .	2123.9		2123.9		2123.9		2123.9	
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³ .	2.293		2.350		2.405		2.377	
Nº DE TARA		1	2	3	4	5	6	7	8
DETERMINACIÓN		SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
PESO MUEST. HÚMEDA + TARA	gr.	37.570	21.920	50.030	34.560	52.630	30.660	23.100	23.770
PESO MUESTRA SECA + TARA	gr.	35.850	20.890	47.340	32.770	49.660	28.930	21.620	22.160
PESO DE LA TARA	gr.	2.200	1.770	2.690	2.670	2.660	2.670	2.650	2.690
PESO DEL AGUA	gr.	1.720	1.030	2.690	1.790	2.970	1.730	1.480	1.610
PESO MUESTRA SECA	gr.	33.650	19.120	44.650	30.100	47.000	26.260	18.970	19.470
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	5.11	5.39	6.02	5.95	6.32	6.59	7.80	8.27
HUMEDAD PROMEDIO	%		5.25		5.99		6.45		8.04
DENSIDAD SECA	gr/cm ³ .		2.178		2.217		2.260		2.200

GRAFICO DE DENSIDAD DEL SUELO



Observaciones.- Muestra proporcionada por el Solicitante
 Densidad Máxima Seca : 2.252 gr/cm³.
 Humedad Óptima : 6.79 %

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y MECANICA DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS** NUMERO DE CAPAS : 5
 UBICACIÓN : **DIST: PILLCO MARCA PROV: HUANUCO DEP: HUANUCO** Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
 SOLICITA : **Bach. Ing. Civil Estefani Mirella Morales Beteta** **PESO DEL PISON** : 10 LB.
 CANTERA : **MATICHICO** COMPACTACION : TIPO C
 FECHA : **Febrero 2022**

MUESTRA		01				02				03			
Nº DE GOLPES		56				25				10			
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	12264.7		12359.9		12040.2		12154.5		11781.7		12016.9	
Peso del molde	gr.	7138.5		7138.5		7127.0		7127.0		7139.9		7139.9	
Peso del suelo húmedo	gr.	5126.2		5221.4		4913.2		5027.5		4641.8		4877.0	
Volumen del suelo	cm ³ .	2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9	
Densidad húmeda	gr/cc	2.4		2.5		2.3		2.4		2.2		2.3	
Humedad	%	6.83				6.95				7.05			
Densidad seca	gr/cc	2.259				2.163				2.042			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peso tara + suelo húmedo	gr.	47.82	57.27			60.65	48.82			46.68	55.22		
Peso tara + suelo seco	gr.	44.76	53.99			56.82	45.87			43.67	51.89		
Peso de la tara	gr.	2.68	2.68			2.68	2.67			2.65	2.65		
Peso del agua	gr.	3.06	3.28			3.83	2.95			3.01	3.33		
Peso de los sólidos	gr.	42.08	51.31			54.14	43.20			41.02	49.24		
humedad	%	7.27	6.39			7.07	6.83			7.34	6.76		
Promedio de humedad	%	6.83				6.95				7.05			

E X P A N S I O N

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
8/21/2014	10:32		0.0			0.0			0.0		
8/22/2014	10:30		0.0			1.0			7.0		
8/23/2014	10:35		0.0			3.0			10.0		

P E N E T R A C I O N

PENETRACION EN PULGADAS	MUESTRA Nº 01				MUESTRA Nº 02				MUESTRA Nº 03			
	LECTURA DIAL	CORRECCION			LECTURA DIAL	CORRECCION			LECTURA DIAL	CORRECCION		
		Libras	Lb/Pulg.2.			Libras	Lb/Pulg.2.			Libras	Lb/Pulg.2.	
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.008	20	158.1	52.7	190.0	13.0	102.7	34.2	146.0	7.0	55.3	18.4	57.0
0.023	48	379.4	126.5	410.0	37.0	292.4	97.5	310.0	21.0	166.0	55.3	123.0
0.040	75	592.8	197.6	610.0	64.0	505.8	168.6	475.0	36.0	248.5	82.8	165.0
0.064	124	980.0	326.7	800.0	93.0	735.0	245.0	607.0	51.0	403.1	134.4	210.0
0.100	169	1335.7	445.2	1035.0	153.0	1209.2	403.1	775.0	79.0	624.4	208.1	273.0
0.158	267	2110.2	703.4	1360.0	201.0	1588.6	529.5	965.0	99.0	782.4	260.8	348.0
0.228	361	2853.2	951.1	1645.0	245.0	1936.4	645.5	1130.0	117.0	924.7	308.2	418.0
0.291	455	3596.1	1198.7	1880.0	280.0	2213.0	737.7	1250.0	135.0	1067.0	355.7	463.0
0.378	624	4931.8	1643.9	2134.0	335.0	2647.7	882.6	1393.0	161.0	1272.5	424.2	507.0
0.500	749	5919.7	1973.2	2380.0	380.0	3003.3	1001.1	1540.0	187.0	1478.0	492.7	557.0

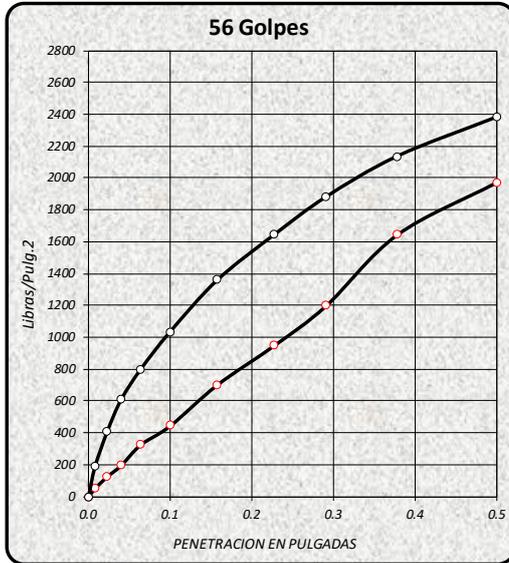
UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

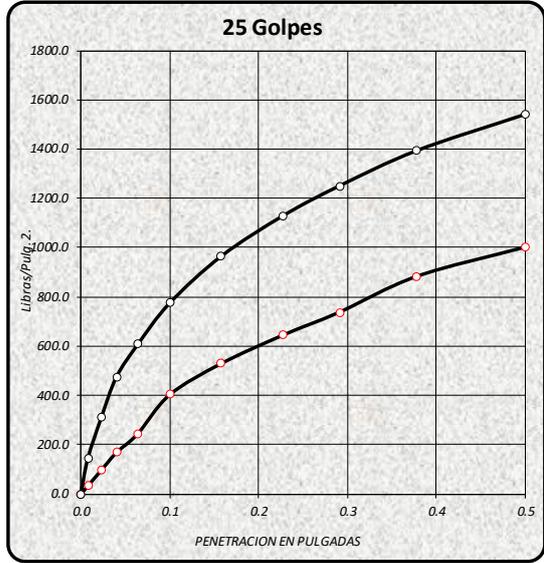
LABORATORIO DE GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y MECANICA DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS
 UBICACIÓN : DIST: PILLCO MARCA PROV: HUANUCO DEP: HUANUCO
 SOLICITA : Bach. Ing. Civil Estefani Mirella Morales Beteta
 CANTERA : MATICHICO

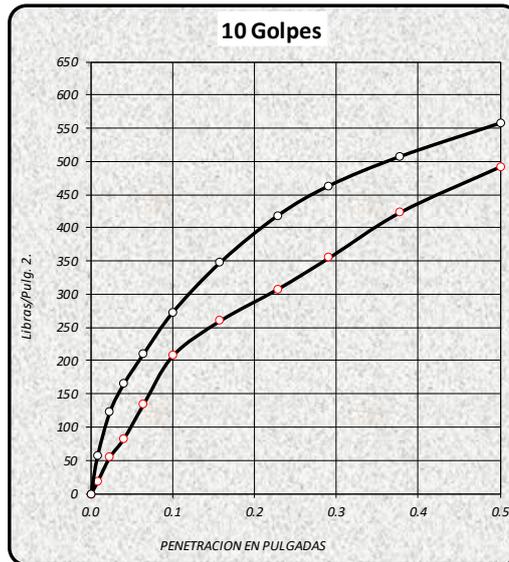
COMPACTACION: TIPO C
 FECHA : Febrero 2022



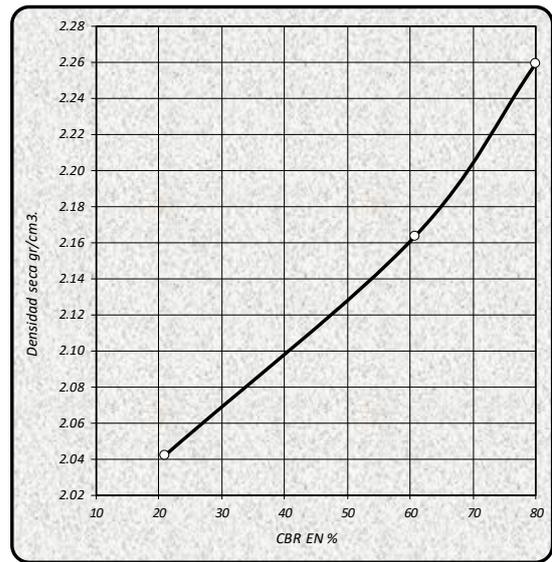
DENSIDAD SECA = 2.259 gr/cm³.
 CBR a 0.1" = 80.0 %
 CBR a 0.2" = 90.7 %



DENSIDAD SECA = 2.163 gr/cm³.
 CBR a 0.1" = 60.7 %
 CBR a 0.2" = 64.3 %



DENSIDAD SECA = 2.042 gr/cm³.
 CBR a 0.1" = 21.0 %
 CBR a 0.2" = 23.2 %



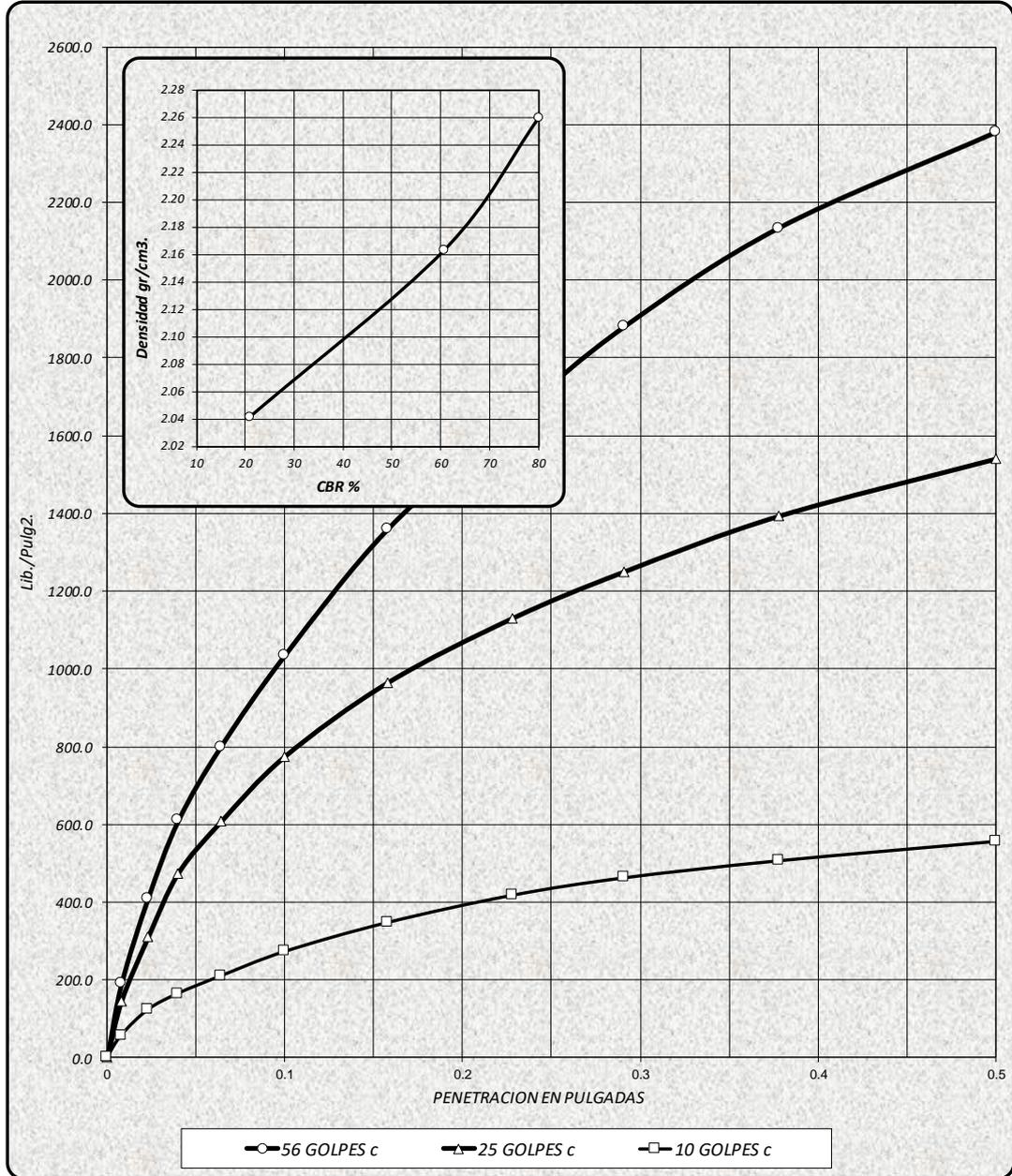
RESULTADOS DEL ENSAYO: CBR 1" DENSIDAD
 CBR CON 56 GOLPES = 80.0 % 2.26 gr/cm³.
 CBR CON 25 GOLPES = 60.7 % 2.16 gr/cm³.
 CBR CO 10 GOLPES = 21.0 % 2.04 gr/cm³.
 CBR al 100% DE DENSIDAD SECA MAX: 80.0 %
 CBR al 95% DE DENSIDAD SECA MAX = **55.6 %**

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y MECANICA DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS
 UBICACIÓN : DIST: PILLCO MARCA PROV: HUANUCO DEP: HUANUCO
 SOLICITA : Bach. Ing. Civil Stefani Mirella Morales Beteta
 CANTERA : MATICHICO

COMPACTACION : TIPO C
 FECHA : Febrero 2022



56 GOLFES	25 GOLFES	10 GOLFES	CBR DE DISEÑO
DENSIDAD SECA = 2.26 gr/cm ³	DENSIDAD SECA = 2.16 gr/cm ³	DENSIDAD SECA = 2.04 gr/cm ³	CBR al 100% DE DENSIDAD SECA MAX = 80.0 %
CBR a 0.1" = 80.0 %	CBR a 0.1" = 60.7 %	CBR a 0.1" = 21.0 %	CBR al 95% DE DENSIDAD SECA MAX = 55.6 %
CBR a 0.2" = 90.7 %	CBR a 0.2" = 64.3 %	CBR a 0.2" = 23.2 %	

Panel fotográfico

En la imagen, se muestra la Carretera no pavimentada Tramo Urumbisha-Maraypata durante la visita de campo realizada.



En la imagen, se muestra la situación actual de la carretera en mal estado Sector A.



En la imagen, se muestra la situación actual de la carretera en mal estado Sector B.



En la imagen, se muestra situación actual de la carretera en mal estado Sector C



En las imagenes, se muestra la elaboración de material de cantera, acopio del material y el vehículo de traslado.



En la imagen, se observa el corte de los taludes y la carga de material para afirmado.



En la imagen, se observa el Sector A y la aplicación de afirmado.



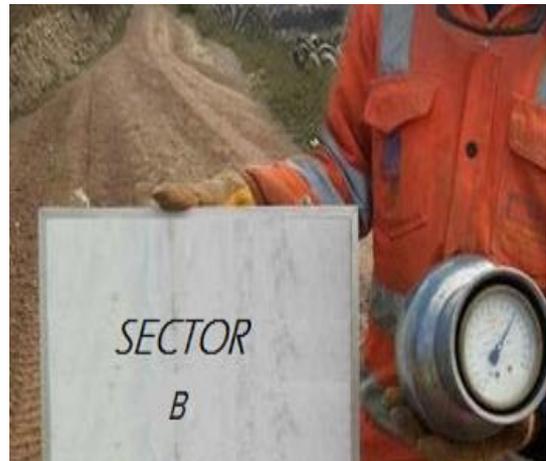
En las imágenes, se muestran el mezclado y homogenizado, compactación e hidratación del Sector A.



En las imágenes, se muestra el proceso constructivo del Sector B con Perma-Zyme.



En la imagen, se muestra el humedecimiento, control de humedad en campo y compactación.



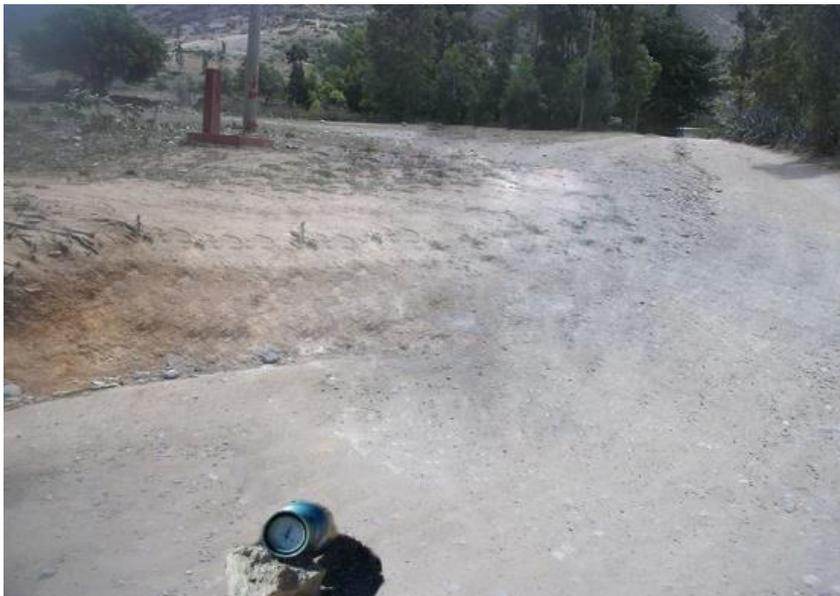
En la imagen, se muestra el acabado final del sector B.



En las imágenes, se observa la evolución del Sector B a los 30 días (febrero) y 60 días (abril) respectivamente.



En la imagen, se observa el control de humedad en campo.



En las imágenes, se muestra el tendido del material de cantera y la aplicación del Cloruro Cálculo en el Sector C.



En las imágenes, se muestra el mezclado y homogenizado y la compactación del Sector C.



En la imagen, se observa el acabado final después de la aplicación de Cloruro Cálcico.



En las imágenes, se observa la evolución del Sector C a los 30 días (febrero) y 60 días (abril) respectivamente.



Se realizó la entrega de las muestras en el laboratorio de la UNHEVAL para el proceso respectivo. Debido a la emergencia sanitaria, no permitieron el acceso a estudiantes y/o personas externas. Al respecto, el Ing. Juan Carlos recibió las muestras y emitió el informe de los ensayos de laboratorio.

En la imagen, se observa el ensayo de contenido de humedad natural.



En la imagen, se muestra el análisis granulométrico.





En las imágenes, se muestran los ensayos de límite líquido y límite plástico





En las imágenes, se muestra el ensayo California Bearing Ratio (CBR).

