



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL POLVO DE VIDRIO
RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE
LA SUBRASANTE DE LA VÍA HUANCANÉ – OJERIA,
HUANCANÉ, PUNO 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHON DAIVIS MENDOZA TICONA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL P
OLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LAS PR
OPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA**

AUTOR

JHON DAVIS MENDOZA TICONA

RECuento DE PALABRAS

24847 Words

RECuento DE CARACTERES

126790 Characters

RECuento DE PÁGINAS

120 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.9MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 19, 2024 9:12 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 19, 2024 9:14 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

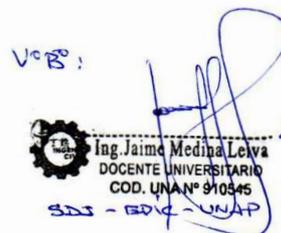
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arape
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNAP 2170516

VºBº:

Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNAP 910345
24/09/2024
SDS - EDIC - UNAP

Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las veces que tropecé en el camino y me levanté con más determinación, a todas las lágrimas derramadas que regaron mi crecimiento, y a cada obstáculo que transformé en escalón hacia mis sueños. Este éxito es el fruto de cada experiencia, cada aprendizaje, y cada paso, por más inusual que haya sido el camino.

Lo dedico también a mis padres y mis hermanas, por todo el apoyo que supieron darme a pesar de las adversidades.

Jhon Daivis Mendoza Ticona



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los ingenieros cuya pasión, dedicación y conocimiento han sido una fuente inagotable de inspiración y aprendizaje durante mi trayecto académico. Su capacidad para enfrentar desafíos con creatividad y determinación me ha inculcado lo valioso que es ser constante y el pensamiento innovador. Agradezco profundamente el privilegio de haber compartido experiencias y conocimientos con profesionales tan excepcionales en el ámbito laboral, cuya influencia ha dejado una huella indeleble en mi formación. Sus enseñanzas serán un faro que guíe mis futuros pasos en este apasionante campo del conocimiento. También agradezco a mis padres y a mis hermanas por todo lo que hacen por mí, agradeciendo su sacrificio que fue pilar fundamental en mi crecimiento personal y profesional.

Jhon Daivis Mendoza Ticona



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1. Problema general.....	16
1.1.2. Problemas específicos	17
1.2. HIPÓTESIS	17
1.2.1. Hipótesis general	17
1.2.2. Hipótesis específicas	17
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. Justificación teórica.....	18
1.3.2. Justificación metodológica.....	19
1.3.3. Justificación ambiental.....	20
1.3.4. Justificación social	20
1.3.5. Justificación económica	20
1.4. OBJETIVOS.....	21



1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes regionales.....	33
2.2. MARCO TEÓRICO	35
2.2.1. Suelo.....	35
2.2.2. Composición del suelo	36
2.2.3. Clasificación del suelo	36
2.2.4. Subrasante	37
2.2.5. Propiedades de la Subrasante	37
2.2.6. La plasticidad	37
2.2.7. Capacidad de soporte	38
2.2.8. Estabilización de suelos	39
2.2.9. Vidrio	42
2.3. MARCO CONCEPTUAL	47
2.3.1. Suelo.....	47
2.3.2. Subrasante	48
2.3.3. Estabilización	48
2.3.4. Plasticidad	48
2.3.5. Resistencia.....	49
2.3.6. Vidrio	49



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ASPECTOS GENERALES	50
3.2.	MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	51
3.2.1.	Materiales utilizados en campo	51
3.2.2.	Materiales utilizados en laboratorio	52
3.3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.3.1.	Enfoque de la investigación	52
3.3.2.	Tipo de investigación	53
3.3.3.	Nivel de investigación	53
3.3.4.	Diseño de investigación	54
3.3.5.	Variables de investigación	54
3.3.6.	Población.....	54
3.3.7.	Muestra.....	55
3.3.8.	Muestreo.....	56
3.3.9.	Unidad de análisis	57
3.3.10.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.3.11.	Procedimiento	58
3.3.12.	Confiabilidad y validez	68
3.3.12.1.	Confiabilidad.....	68
3.3.12.2.	Validez	69

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	RESULTADOS DE SUBRASANTE	74
4.1.1.	Propiedades físicas de la subrasante	74



4.1.2. Propiedades mecánicas de la subrasante	82
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	93
4.2.1. Prueba de normalidad para el índice de plasticidad	93
4.2.2. Prueba de ANOVA de un factor para el índice de plasticidad.....	94
4.2.3. Prueba de normalidad para la máxima densidad seca.....	96
4.2.4. Prueba de ANOVA de un factor para la máxima densidad seca.....	97
4.2.5. Prueba de normalidad para la capacidad de soporte	99
4.2.6. Prueba de ANOVA de un factor para la capacidad de soporte	101
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	103
V. CONCLUSIONES.....	107
VI. RECOMENDACIONES	109
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS.....	118

ÁREA: Transportes

TEMA: Estabilización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y Gestión Vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11 de octubre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Dosificaciones de vidrios de diversos antecedentes	18
Tabla 2 Tipos de suelos según el índice de plasticidad.....	38
Tabla 3 Categorías de una subrasante conforme al CBR adquirido	39
Tabla 4 Porcentaje de vidrio reciclado en diferentes países	46
Tabla 5 Características químicas del polvo de vidrio	47
Tabla 6 Características físicas del vidrio triturado reciclado	47
Tabla 7 Cantidad de muestras para cada ensayo a realizar	57
Tabla 8 Resultados de análisis FRX en el vidrio molido	62
Tabla 9 Resultados del análisis FRX en el suelo natural	67
Tabla 10 Resultados del análisis FRX en el suelo con la dosificación óptima de vidrio molido.....	68
Tabla 11 Evaluadores expertos en el área	70
Tabla 12 Valoración del V de Aiken	70
Tabla 13 Evaluación de expertos para el primer instrumento.....	71
Tabla 14 Evaluación de expertos para el segundo instrumento	71
Tabla 15 Evaluación de expertos para el tercer instrumento	72
Tabla 16 Resultados del análisis granulométrico en la calicata 01 con diversas adiciones... ..	74
Tabla 17 Resultados del análisis granulométrico en la calicata 02 con diversas adiciones... ..	76
Tabla 18 Resultados del análisis granulométrico en la calicata 03 con diversas adiciones... ..	77
Tabla 19 Contenido de humedad natural en tres calicatas	79



Tabla 20	Resultados de los límites de consistencia en la calicata 1	79
Tabla 21	Resultados de los límites de consistencia en la calicata 2	80
Tabla 22	Resultados de los límites de consistencia en la calicata 3	80
Tabla 23	Índice de plasticidad a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado... ..	81
Tabla 24	Densidad máxima seca a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado	83
Tabla 25	Contenido de humedad óptimo a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado	84
Tabla 26	CBR al 95% a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado	85
Tabla 27	Costo directo para el reciclaje de vidrio	90
Tabla 28	Costo directo para el transporte de polvo de vidrio	91
Tabla 29	Costo directo de extendido, riego y compactación de material con aditivo polvo de vidrio	91
Tabla 30	Costo directo de limpieza de terreno	92
Tabla 31	Costo directo del trazo, nivelación y replanteo	92
Tabla 32	Prueba de normalidad para los datos de índice de plasticidad	93
Tabla 33	Prueba de ANOVA para los datos de índice de plasticidad	94
Tabla 34	Prueba post hoc de Tukey para el índice de plasticidad	95
Tabla 35	Prueba de normalidad para los datos de máxima densidad seca	97
Tabla 36	Prueba de ANOVA para los datos de máxima densidad seca	98
Tabla 37	Prueba de post hoc de Tukey para la máxima densidad seca	98
Tabla 38	Prueba de normalidad para los datos de CBR al 95%	100
Tabla 39	Prueba de ANOVA para los datos de CBR al 95%	101
Tabla 40	Prueba de post hoc de Tukey para el CBR al 95%	101



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa de Puno identificando el distrito de Huancané.....	50
Figura 2 Georreferenciación de la vía Huancané - Ojería	51
Figura 3 Recolección de envases de vidrio.....	59
Figura 4 Limpieza de envases de vidrio	59
Figura 5 Triturado de los envases de vidrio.....	60
Figura 6 Tamizado del vidrio triturado	60
Figura 7 Polvo de vidrio reciclado.....	61
Figura 8 Excavación de calicatas	63
Figura 9 Extracción de muestras de suelo.....	63
Figura 10 Ensayo de análisis granulométrico	64
Figura 11 Ensayo de límite líquido.....	64
Figura 12 Ensayo de límite plástico.....	65
Figura 13 Compactación del material a diferentes energías	65
Figura 14 Inmersión de los moldes	66
Figura 15 Lectura del deformímetro para el cálculo de expansión.....	66
Figura 16 Aplicación de carga mediante el pisón de penetración	67
Figura 17 Distribución granulométrica del suelo en la calicata 01.....	75
Figura 18 Distribución granulométrica del suelo en la calicata 02.....	77
Figura 19 Distribución granulométrica del suelo en la calicata 03.....	78
Figura 20 Variación del índice de plasticidad.....	82
Figura 21 Variación de la densidad máximas seca	83
Figura 22 Variación del contenido de humedad óptimo.....	84
Figura 23 Variación de la capacidad de soporte al 95%	86



ACRÓNIMOS

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANOVA:	Análisis de varianza
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
CBR:	California Bearing Ratio
CH:	Arcilla de alta plasticidad
CL:	Arcilla de baja plasticidad
COH:	Contenido óptimo de humedad
IP:	Índice de plasticidad
LL:	Límite líquido
LP:	Límite plástico
MDS:	Máxima densidad seca
PVR:	Polvo de vidrio reciclado
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos



RESUMEN

El estado de la vía Huancané – Ojeria se encuentra en estado deficiente por la presencia de ahuellamientos en la carpeta de rodadura debido al contenido de material arcilloso en la subrasante, por lo que el objetivo de la presente es evaluar la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la vía Huancané - Ojeria, Distrito Huancané, Puno 2023. La metodología empleada presenta un enfoque cuantitativo, del tipo aplicada, un nivel exploratorio y un diseño experimental puro, la técnica de investigación es observación directa, los instrumentos aplicados fueron las fichas de recolección de datos para cada ensayo con sus respectivos equipos y procedimiento. Los resultados muestran que el tipo de suelo según la clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad), y según clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales es A-7-6 (Suelo arcilloso), el índice de plasticidad del suelo natural fue de 37.20% adicionando 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado, la plasticidad fue de 36.27%, 34.63%, 33.31% y 32.95% respectivamente, la prueba de relación de carga de California al 95% del suelo natural fue de 4.01%, al adicionar los porcentajes mencionados se tuvo una prueba de relación de carga de California de 6.97%, 8.60%, 10.81% y 8.98%. Concluyendo que se logró mejorar las características físicas y mecánicas de la subrasante, disminuyendo la plasticidad del suelo natural hasta un 11.43% con la adición óptima del 12%, se incrementó la capacidad de soporte del suelo natural hasta un 169.58% con la adición óptima del 9%.

Palabras clave: Arcilla, Densidad, Plasticidad, Prueba de relación de carga de California, Subrasante, Suelo, Vidrio.



ABSTRACT

The condition of the Huancané - Ojeria road is in poor condition due to the presence of rutting in the road surface due to content of clayey material in the subgrade, so the objective of this study is to evaluate the influence of recycled glass powder on the physical-mechanical properties in the subgrade of the Huancané - Ojeria road, Huancané District, Puno 2023. The methodology used presents a quantitative approach, of the applied type, an exploratory level and a pure experimental design, the research technique is direct observation, the instruments applied were the data collection sheets for each test with their respective equipment and procedure. The results show that the soil type according to the Unified Soil Classification System classification is CH (High plasticity inorganic clay), and the soil type according to the American Association of State Highway and Transportation Officials classification is A-7-6 (Clay Soil), the plasticity index of the natural soil was 37.20% by adding 3%, 6%, 9% and 12% of recycled glass powder the plasticity was 36.27%, 34.63%, 33.31% and 32.95% respectively, the California Bearing Ratio at 95% of the natural soil was 4.01%, by adding the mentioned percentages we had a California Bearing Ratio of 6.97%, 8.60%, 10.81% and 8.98%. In conclusion, it was possible to improve the physical and mechanical characteristics of the subgrade, decreasing the plasticity of the natural soil up to 11.43% with the optimum addition of 12%, increasing the bearing capacity of the natural soil up to 169.5%.

Keywords: Clay, Density, Plasticity, California Bearing Ratio, Subgrade, Soil, Glass.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Millones de toneladas de residuos se arrojan cada día a las superficies terrestres y acuáticas sin ser valorizados, tratados ni gestionados previamente debido al rápido crecimiento industrial y demográfico producido alrededor del mundo, como consecuencia, para el año 2025, la magnitud de residuos sólidos generados a nivel mundial se duplicará con respecto a la actual o, lo que es lo mismo, si la media actual es de 1,2 kg por persona, pasará a ser de 2,4 kg por persona (Guajardo, 2019).

En 2013, los hogares peruanos generaron un total de 4 938 085 toneladas de residuos, cifra que disminuyó a 4 833 465 toneladas en 2014 como resultado directo de la implementación de normas y políticas ambientales, sin embargo, esta cifra aumentó a 4 959 950 toneladas en 2015, esperando que durante los años próximos siga incrementando (Mansilla, 2019).

Las vías se han construido sobre el suelo durante milenios a nivel mundial, pero las deficiencias en las propiedades mecánicas han dificultado a los ingenieros cumplir con las normas que establecen lo mínimo que requiere una subrasante para que sea apta, esto es especialmente cierto en especial para los suelos arcillosos y limosos, que se hinchan mucho cuando absorben agua y se contraen cuando la humedad se evapora (Joshep, Jinu, Juny, & Mariya, 2017).

A nivel Nacional, se realizan obras donde se rehabilita una vía que se encuentre en pésimo estado hasta la realización de construcciones de nuevas vías para intercomunicar sectores, centros poblados, entre otros, en lo general esto conlleva



implementar procesos para la realización de la obra, parte del trabajo que se realiza en conocer la propiedad mecánica que tiene la subrasante, en las cuales por deficiencias geotécnicas la tener una capacidad portante muy baja; los cuales suelen ser incidentes en zonas con alta presencia de limos y arcillas se debe realizar una mejora a la subrasante (Torres & Landa, 2020).

En el municipio de Huancané, los domicilios generan residuos de los cuales en los sólidos se pudo clasificarlos en cinco los tipos de residuos que son desechados, se determinó que el 3.01% son tapas de latas y latas, el 7.96% fueron residuos de papel, el 8.91% son desechos de los servicios higiénicos, el 59.67% fue de materia orgánica y el 5.15% fueron envases y botellas de vidrio (Aroquipa, 2022).

En la vía Huancané - Ojeria, existe deficiencias con respecto al estado que se encuentra, debido a que se presencia ahuellamientos en la carpeta de rodadura, por lo que es necesario mejorar la inestabilidad que presenta por la presencia de material arcilloso en la subrasante, por lo que se debe mejorar las propiedades mecánicas y físicas, por medio de la estabilización, sin embargo, para la contribución con el medio ambiente se busca reciclar y reutilizar las botellas de vidrio, que son desechados. Por lo que para la investigación se formulan los siguientes problemas:

1.1.1. Problema general

¿De qué manera el polvo de vidrio reciclado influye en las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la vía Huancané - Ojeria, Distrito Huancané, Puno 2023?



1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de índice de plasticidad en la subrasante de la vía?
- b) ¿De qué manera influye la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de densidad seca máxima y capacidad portante en la subrasante de la vía?
- c) ¿Cuál es el porcentaje de dosificación óptima de polvo de vidrio reciclado que debe adicionarse a la subrasante para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la vía?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

El polvo de vidrio reciclado influye en la mejora de las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la vía Huancané - Ojeria, Distrito Huancané, Puno 2023.

1.2.2. Hipótesis específicas

- a) La dosificación de polvo de vidrio reciclado influye en la mejora de las propiedades de índice de plasticidad en la subrasante para la vía.
- b) La dosificación de polvo de vidrio reciclado influye en la mejora de las propiedades de densidad seca máxima y capacidad portante en la subrasante de la vía.
- c) El porcentaje de dosificación óptima de polvo de vidrio reciclado que debe adicionarse esta entre el 6% y 9% a la subrasante para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la vía.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación teórica

Teóricamente se justifica la investigación debido a que los vidrios de desecho triturados como geomateriales ecológicos derivados de la trituración de vidrios de desecho eliminados por las industrias del vidrio como pérdidas de chatarra procedentes de la producción de vidrio o de una mala manipulación ayudan a mejorar las características de un material de construcción (Bui et al., 2020). Por lo que en esta investigación se pretende utilizar el material como mejorador de una subrasante.

Tabla 1

Dosificaciones de vidrios de diversos antecedentes

Autor	Año	Material	Dosificaciones	IP	Resultados MDS	CBR	Dosificación óptima
Bilgen	2020	Vidrio	0%			7%	25%
			25%			35%	
Haro	2021	Vidrio reciclado	0%			30%	6%
			6%			33,8%	
			8%			29,8%	
Soberon	2022	Vidrio	3%			0,7%	14%
			6%			2,8%	
			9%			5,7%	
Culquichico & Vásquez	2023	Vidrio molido	14%			9,4%	8%
			0%		1,53gr/cm ³	7,52%	
			8%		1,81gr/cm ³	38,38%	
Rodríguez	2021	Vidrio triturado	0%	16%	1,98gr/cm ³	2,35%	7%
			4%	13%	1,93gr/cm ³	6,10%	
			7%	12%	1,92gr/cm ³	11,50%	
Espinoza & Santinperi	2021	Vidrio reciclado	10%	11%	1,93gr/cm ³	8,20%	6%
			0%	13,33%			
			4%	12,40%	1,91gr/cm ³	8,40%	
			6%	11,40%	1,91gr/cm ³	9,10%	
			8%	10,07%	1,90gr/cm ³	8,90%	

Nota: Autoría propia.



En la tabla 1 se muestra una tabla de dosificaciones en donde se observan resultados de antecedentes actualizados utilizando vidrio en diversos estados para estabilizar un suelo, se tiene un valor mínimo de 6% de vidrio que es la dosificación óptima para mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas y un 25% de valor máximo, en nuestra investigación las dosificaciones utilizadas no superan el rango de 25%, ya que superior a este porcentaje la influencia es negativa respecto al suelo patrón, sin embargo se colocó una dosificación por debajo del mínimo establecido por los antecedentes con fines de experimentación, tomando de esta manera porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% de vidrio molido como material experimental para conocer la influencia en las características deficientes del suelo de subrasante arcilloso.

1.3.2. Justificación metodológica

Metodológicamente se justifica la investigación ya que se pretende adicionar un método de estabilización adecuada, ya que el método de estabilización química ha demostrado la capacidad de aumentar: la trabajabilidad del suelo; durabilidad; y resistencia al tiempo que disminuye la plasticidad del suelo. Sin embargo, las emisiones de carbono y el alto consumo de energía asociadas con la producción de estabilizadores químicos tradicionales del suelo han alentado a los investigadores a investigar técnicas de estabilización no químicas. Un ejemplo de un método de estabilización químico incluye el uso de materiales de desecho para reemplazar parcial o completamente el cemento o la cal (Chen et al., 2022).



1.3.3. Justificación ambiental

El vidrio se utiliza con frecuencia en nuestra vida diaria a través de productos manufacturados que incluyen tubos de vacío, botellas y láminas de vidrio. En Estados Unidos, el flujo de residuos sólidos municipales (RSU) en 2015 incluyó aproximadamente 10,4 millones de toneladas (11,5 millones de toneladas) de desecho de cristalería. De esto, el 60% fue enviado a vertederos y sólo el 26% fue reciclado. La parte restante se desechó en instalaciones de combustión (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., 2018). Además, la producción anual de vidrio usado es de aproximadamente 100 millones de toneladas, con una tasa de reciclaje relativamente baja del 26% (Sabbrojjaman et al., 2024). Sin embargo, existe un creciente número de investigaciones que exploran su potencial como alternativa al hormigón y suelo respetuosa con el ambiente natural.

1.3.4. Justificación social

Las vías dentro de la ciudad de Puno no se hallan en óptimas circunstancias para su uso y libre Transitabilidad de la población en general. La mejora del suelo no solo permitirá la construcción de una pavimentación duradera, sino que también traerá consigo importantes beneficios para los usuarios de la vía. Las carreteras con subrasante estabilizado con vidrio reciclado son más transitables, lo que facilita el acceso a servicios esenciales como educación, salud y oportunidades de trabajo, especialmente en zonas rurales dando beneficio a la sociedad.

1.3.5. Justificación económica

Económicamente se justifica que la gestión óptima de la infraestructura vial juega un papel esencial para el desarrollo económico Sasai et al., (2024).



Debido a la pavimentación total de las vías generará un impacto positivo en la economía local al reducir los tiempos de viaje, disminuir los costos de transporte y atraer inversiones. Por otro lado, la estabilización del suelo con vidrio reciclado presenta como una alternativa económica y sostenible que reduce la proporción de residuos y mejora las propiedades del suelo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la vía Huancané - Ojeria, Distrito Huancané, Puno 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de índice de plasticidad en la subrasante para la vía.
- b) Determinar la influencia de la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de densidad seca máxima y capacidad portante en la subrasante de la vía.
- c) Establecer el porcentaje de dosificación óptima de polvo de vidrio reciclado que debe adicionarse a la subrasante para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la vía.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según, Bilgen (2020) tuvo como objetivo evaluar el potencial del vidrio desecho como aditivo en suelos arcillosos. La metodología que empleo tuvo como diseño experimental y de tipo aplicada, donde la población fueron las arcillas de los caminos de Alapli y Eregli, donde para la muestra se recolecto la arcilla alapli, arcilla eregli y arcilla de bentonita. En los resultados en las propiedades mecánicas la arcilla bentonita su CBR de 7% en estado natural incremento a 35% con la dosificación de 25% de vidrio, en la arcilla Alapli de 11% CBR a 46% con la adición de 25% de vidrio y en la arcilla Eregli de 18% CBR a 62% con la adición de vidrio del 25%. Entre las conclusiones que afirmo fue que el adicionar los desechos de vidrio a un suelo cohesivo existe la mejora en sus características mecánicas con cada incremento de porcentaje de vidrio.

Asimismo, Baldovino et al. (2021) tuvieron como objetivo evaluar el impacto de contenidos altos, intermedios y bajos del vidrio en polvo reciclado en el comportamiento que tiene en el suelo con la determinación de los factores (q_u), (q_t), y (WD) a largo plazo. La metodología que se aplicó fue de diseño experimental y de tipo aplicada, en los suelos limosos sedimentario de la segunda capa de la formación Guabiro tuba, la muestra fueron los suelos recolectados en un talud de carretera. Se tiene como resultados una mejora en la microestructura y las propiedades mecánicas (q_u y q_t) de las mezclas compactadas suelo-GP-cal



dolomítica con contenidos crecientes de GP, al igual que las reducciones en el desgaste acumulado de masa (ALM). Concluyeron que, de las mezclas ninguna se puede usar para conformar una subbase posteriormente de 7 días de tiempo de curado, pero todas son adecuadas para ingeniería de movimiento de tierras después de un curado de 90 días.

Jalal et al. (2022) tuvieron como objetivo el mejorar el comportamiento de ingeniería de suelos expansivos medios (ES) ricos en Palygorskite mediante la utilización de polvo de vidrio de cal sodada (SLGP). La metodología fue con un diseño experimental y de tipo aplicada, la zona de estudio fueron los suelos de la ciudad de Kohat, para la muestra se tomó excavando una zanja de 5 'x 5' del área de acantonamiento de la ciudad mencionada de la provincia de Khyber Pakhtunkhwa (KPK) Pakistán. Los resultados revelaron que la plasticidad se redujo en casi un 80 %, el MDS aumentó de 18,25 a 19,16 kN/m³ y el OMC disminuyó, con el aumento de los niveles de dosificación de SLGP, el coeficiente de compresión (Cc) disminuyó en un 42,86 %, el coeficiente de volumen (mv) en un 60 %, el coeficiente de consolidación (cv) en un 91,53 % y las presiones de preconsolidación (Pc) aumentaron en un 240 %. Concluyeron que la inclusión de 16 % de SLGP en el medio ES era la cantidad óptima para reducir la plasticidad, mejorar las características de consolidación e impartir resistencia.

También, Al-Taie et al. (2023) tuvieron como objetivo determinar el comportamiento de hinchamiento-colapso de la subrasante de arcilla expansiva mejorada con vidrio reciclado (RG) en condiciones no saturadas. La metodología fue con un diseño experimental y de tipo aplicada, la zona de proyecto fueron las arcillas expansivas de los suburbios del oeste de Melbourne, Australia, la muestra fue recolectar las arcillas para los ensayos que realizaron. En los resultados se



determinó que el óptimo contenido de vidrio reciclado (ORCG) era del 25 %, lo que redujo aproximadamente el 80 % del potencial de expansión de la subrasante expansiva. Concluyeron que es posible reducir el hinchamiento-colapso de una subrasante de arcilla expansiva con la incorporación de vidrio reciclado.

Umut (2023) tuvo como objetivo determinar las características dinámicas de las combinaciones de arcilla y gránulos de vidrio expandido preparadas en varias proporciones (por volumen 2.5–5–7.5–10 – 15 % y masa 1–2. La metodología fue con un diseño experimental y de tipo aplicada, el lugar de estudio estuvo comprendida por arcillas de caolinita que constan de láminas de sílice y alúmina unidas por fuertes enlaces químicos. En los resultados del módulo de corte de las mezclas por masa (1–2 %) y por volumen (2.5–5 – 7.5 %), se observó que la amplitud de deformación por corte baja y media (0.001–0.05 %) fue mayor en el rango de hasta 40% y 10% en comparación con la muestra de referencia, se calculó que la densidad de las muestras mixtas (2,5–5 – 7,5 %) con alto módulo de cizallamiento era hasta un 6,2 % inferior a la de la muestra de referencia. Concluye que el uso de gránulos de vidrio expandido (en masa 1-2%, en volumen 2,5, 5%) es experimentalmente satisfactorio para la estabilización de suelos poco profundos en aplicaciones geotécnicas.

Finalmente, Tajaddini et al. (2023) tuvieron como objetivo la evaluación mecánica y microestructural de un suelo arcilloso de escasa plasticidad estabilizado utilizando diversas variedades de hidróxido de sodio como material activador alcalino y distintas mezclas de CS-RGP. La metodología fue con un diseño experimental y de tipo aplicada, lugar de estudio fue el suelo arcilloso de baja plasticidad de caolinita. En los resultados indicaron claramente que CS influyó en los límites de Atterberg y parámetros de compactación más que RGP,



asimismo, se observó que al aplicar 5% de CS a un fijo activador alcalino, la UCS a un curado de 56 días y el CBR a un curado de 7 días incrementaron a 3.11 y 1.68 veces, teniendo como valores entre 4.03 y 1.90 veces, al adicionar 5% PVP. Concluyeron que las reacciones entre el activador alcalino y las partículas del suelo a niveles de concentración más altos, alterara la mezcla de suelo hasta convertirla en una matriz rígida y de compactación dura.

García & Morales (2021) plantearon el objetivo analizar y comparar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso expansivo, con adición de cascara de huevo y cal, comparando diferentes porcentajes de estos. La metodología de diseño experimental, de enfoque cuantitativa. Los resultados del estudio demuestran que la (MDS) del suelo natural fue de 1537,2 kg/cm³. Cuando se añadió al suelo 5,5 % de cal, 4,5 % de cal + 1,0 % de CHP, 3,0 % de cal + 2,5 % de CHP, 1,5 % de cal + 4,0 % de CHP o 5,5 % de CHP, los valores de MDS disminuyeron a 1471,5 gr/cm³, 1509,3 gr/cm³, 1434,6 gr/cm³, 1494,0 gr/cm³ y 1503,0 gr/cm³, respectivamente. El índice de carga de California (CBR) del suelo natural fue de 0,83 %. Para los suelos con adición de cal y CHP, los valores de CBR fueron 6,20%, 10,30%, 7,20%, 3,70% y 0,38%, respectivamente. En conclusión, de todas las muestras analizadas, la combinación de 4,5 % de cal y 1,0 % de CHP mostró el rendimiento más favorable en términos de propiedades de índice y resistencia a suelos expansivos. Este hallazgo sugiere que el CHP por sí solo no mejora significativamente el comportamiento de los suelos expansivos.



2.1.2. Antecedentes nacionales

Según, Diaz & León (2021) se centraron en mejorar la subrasante en un pavimento flexible con la incorporación de vidrio en polvo. La metodología tomada es de un enfoque cuantitativo y experimental, la investigación estuvo constituida por suelos arcillosos, donde se tomó muestras en un total de 200 kilos de suelo natural obtenidos de 2 puntos de exploración. En los resultados en el punto de exploración número uno se logró un 1.819 gr/cm³ de (MDS) con la incorporación del 10% del vidrio de botella bordalesa en polvo y un COH 15.9 %, se obtuvo que el CBR al 100% a 0.1" fue 83.3% y a 0.2" fue 107.7% y C.B.R. al 95% a 0.1" fue 50.8% y a 0.2" fue 69.0%. Basándose en los datos que obtuvo concluyo que la incorporación de un 10% botella de vidrio en polvo a la muestra del punto de exploración uno se logra una mayor estabilización.

Asimismo, Haro (2021) analizar el comportamiento que tiene el suelo al ser incorporado el material de vidrio reciclado. La metodología que empleo fue de tipo explicativa, con un diseño experimental, la población que considero fueron los suelos de baja capacidad portante de A.H. Villa Hermosa, donde se tomó 4 puntos de exploración para sacar muestras representativas. En los resultados se los puntos de exploración se determinaron que eran suelos de clasificación arenoso, porque se encontró una mayor presencia en el porcentaje de arena y grava, en el ensayo de las calicatas de suelo natural el CBR al 100% fue de 30.00%, 29.20%, 30.00%, 29.00%, con la adición al 6% fue 33.80%, 32.50%, 32.00%, 34% y 8% fue 29.80%, 29.10%, 29.20%, 30.20%. Se concluyo con la demostración en los ensayos que el vidrio reciclado mejora las características mecánicas y físicas del suelo, de las dosificaciones que se implementaron el 6% fue el más recomendado por ser el que mayor efecto tuvo.



Noel (2022) estudió acerca de implementar el vidrio en polvo para estabilizar suelos que conforman una subrasante. La metodología adaptada en su investigación fue de un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada, la población fue la calle de 1.2 km del Miguel Grau Seminario y de 9 m de ancho de vía, la muestra que considero fue 1 km donde estableció 3 puntos exploratorios de 1.2m x 1.2m. En los resultados de laboratorio el IP en la calicata 1 y 2 al tener un IP de 8% es mayor al 7% se considera un suelo arcilloso y la calicata 3 con 5% fue un suelo poco arcilloso, en el ensayo de CBR en el suelo sin adición fueron, 59.7%, 62.0% y 53.8% y con la adición del estabilizante fueron 63.3%, 72.3% y 74.1%. Llego a la conclusión de que si se incorpora a un suelo desfavorable un porcentaje de vidrio reciclado en polvo se puede mejorar hasta un 20.3%.

Pajuelo & Rivera (2022) tuvieron como objetivo potenciar las cualidades de un suelo formado por arcilla con la aplicación de reciclado de vidrio en polvo. La metodología que emplearon tuvo un diseño experimental y enfoque cuantitativa, donde la población estuvo representada por los suelos arcillosos presente en la carretera pomachaca a San Marcos de 77 km, para la muestra se realizó una calicata en el km 77. En los resultados el adicionar 20% los resultados fueron mejores, en cuanto a la estabilización del suelo, logrando disminuir de 11.33% a 4.53% la plasticidad del suelo, logrando así mejorar las características, obteniendo un CBR de 2.11%. En conclusión se puede obtener un progreso en las características de un suelo tanto en la plasticidad como en la capacidad portante que posee.

Soberon (2022) tuvo como objetivo definir que tamaño debe de tener una partícula de vidrio y en qué cantidad debe adicionarse para poder lograr la estabilidad de una subrasante para fines de un pavimento urbano. La metodología



que se usó fue de diseño experimental, de nivel correlacional y con un fin aplicado, la población tomada es suelo arcilloso de la localidad de Chiclayo y la muestra fue un total de 03 puntos de exploración en la urbanización ciudad del Chofe. En los resultados el suelo de los puntos de exploración 1 y 2 según SUCS es arcilla arenosa de plasticidad baja y según AASHTO arcilla de calidad mala, la mejora del CBR para las adiciones de 14% 9% 6% y 3%, en el punto de exploración de suelo 1 fue de 9.40%, 5.70%, 2.80% y 0.70% y en el 2 fue de 13.80%, 7.70%, 2.10% y 0.00% en el rango de 75 - 300 μm de granulometría, en comparación de la resistencia del suelo patrón, en el rango $< 75 \mu\text{m}$ de granulometría en el punto de exploración 1 fue de 8.40%, 6.60%, 2.40% y 0.00% y en el 2 fue de 14.20%, 10.00% 3.60% y 0.20%, en comparación del CBR del suelo patrón. En conclusión, el contenido que debe adicionarse al suelo es del 9% de vidrio en polvo, para hacer el mejoramiento de la consistencia y así también mejorar en un 6% el CBR, sin embargo, si se adiciona más tiende a expandirse el suelo.

Finalmente, Culquichicon & Vasquez (2023) tuvieron como propósito analizar de qué manera impacta el vidrio que es reciclado luego molido en un suelo. La metodología que se aplicó fue de diseño experimental y de enfoque cuantitativo, la zona de impacto fueron los suelos de la vía Caserío Simbal Mucha -Simbal de 9 km, de la cual se tomó muestras de suelos de los puntos de exploración en total de 9 puntos. En sus resultados las pruebas de índice CBR mostraron 7.52% al 100% del MDS y el valor promedio más alto fue de 38.38% CBR a una dosis de 8% de vidrio molido; los ensayos Proctor modificados mostraron una densidad máxima media de 1.53 g/cm^3 , siendo el más elevado valor de 1.81 g/cm^3 a una dosis de 8% de vidrio molido. Al final, se determinó



que una dosis de estabilizante del 8% de vidrio reciclado y molido era óptima para la subrasante.

Espinoza & Santimperi (2021) plantearon el objetivo determinar el uso del vidrio reciclado para mejorar la estabilización de suelos en la carretera. La metodología empleada es de nivel explicativo tomando tres calicatas a lo largo de los 3.36 km. los resultados demuestran que para el ensayo de la granulometría de acuerdo a la clasificación de AASHTO para la M-1 es de A-6 (9), M-2 es de A-6 (7), M-3 es de A-6 (3) donde se clasifica como suelos de bueno a pobre. Los ensayos de límite de consistencia realizados en la muestra natural arrojaron un valor promedio de 13.33%. En el caso de las muestras con adiciones, la media de los límites de consistencia fue de 12.40%, 11.40% y 10.07% para las adiciones de 4%, 6% y 8%. El ensayo de proctor modificado al agregar un 4% de material a las muestras M-1, M-2 y M-3, se obtuvieron las siguientes (MDS): 1.909 gr/cm³, 1.914 gr/cm³ y 1.897 gr/cm³, respectivamente. El (OCH) para las mismas muestras fueron del 13.77%, 12.79% y 12.89%, respectivamente. En cuanto al Índice CBR para una compactación del 95%, se alcanzaron valores de 8.4%, 9.1% y 8.9%, mientras que para una compactación del 100%, los valores fueron del 12.9%, 13.0% y 13.6%, respectivamente. Al adicionar el 6% se obtuvieron las siguientes densidades secas máximas (DSM): 1,917 gr/cm³, 1,928 gr/cm³ y 1,905 gr/cm³, respectivamente. El (OCH) para las mismas muestras fueron 12,31%, 11,27% y 11,29%, respectivamente. Finalmente, se determinó el (CBR) para una compactación del 95% y 100% con valores de 9,9%, 11,3% y 10,3%, y 14,3%, 14,6%, 15,1% respectivamente. Finalmente, se evaluó la adición del 8% los resultados obtenidos para (MDS) fueron de 1.934 gr/cm³, 1.931 gr/cm³ y 1.918 gr/cm³, respectivamente. En cuanto a la (OCH), se registraron valores del 11.79%,



9.81% y 10.54% para las mismas muestras. El Índice CBR se determinó para una compactación del 95% y 100%, obteniéndose los siguientes valores: 12.7%, 13.5%, 12.9% y 17.3%, 17.3%, 17.7%. En conclusión, a través de las pruebas de laboratorio, se determinó que el 8% es el porcentaje óptimo de vidrio triturado para estabilizar suelos cohesivos, arrojando los resultados más favorables.

Ñamot (2022) planteo el objetivo evaluar el efecto del polvo de mármol en la estabilización de suelos en caminos no pavimentados. Tomando una metodología de diseño experimental con un enfoque cuantitativo de tipo aplicada empleando ellos porcentajes del polvo de mármol de 5%, 10%, 20%. Los resultados obtenidos de acuerdo a la granulometría y la clasificación de suelos según la normativa AASHTO se alcanzaron los siguientes tipo A-6 (8), A-6 (8), A-6 (6). El ensayo Proctor modificado se realizó para determinar la (MDS) y la óptima humedad de compactación (OCH) del espécimen natural y de las muestras con adiciones de 5%, 10%, 15% y 20% de material. Los resultados promedio para la MDS fueron: 1.87 gr/cm³ para la muestra natural, 1.95 gr/cm³ para la adición del 5%, 2.03 gr/cm³ para la adición del 10%, 2.11 gr/cm³ para la adición del 15% y 1.94 gr/cm³ para la adición del 20%. En cuanto al OCH, los resultados promedio fueron: 9.68% para la muestra natural, 10.33% para la adición del 5%, 11.09% para la adición del 10%, 12.2% para la adición del 15% y 12.73% para la adición del 20%. Finalmente, se realizó la prueba CBR (California Bearing Ratio) a una compactación del 95%, obteniendo los siguientes resultados promedio: 7.82% para la muestra natural, 8.52% para la adición del 5%, 9.63% para la adición del 10%, 11.36% para la adición del 15% y 9.13% para la adición del 20%. En conclusión, se determinó que la dosis óptima de polvo de mármol fue del 15%, lo que arrojó resultados favorables en los estudios de laboratorio realizados.



Goñas & Saldaña (2020) plantearon el objetivo evaluar la influencia que tiene un subproducto obtenido de la quema de carbón mineral y carbón vegetal (cenizas de carbón) proveniente de una industria ladrillera de la ciudad de Chachapoyas en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de muestras de suelo. Empleando una metodología de diseño experimental aplicado con un nivel explicativo donde se realizaron muestras de suelo de las cuadras ocho y nueve de las cuales se realizaron ensayos en laboratorio. Los resultados obtenidos para las adiciones de 15%, 20% y 25% revelaron que la distribución del tamaño de partícula de la C-1 corresponde a la clasificación AASHTO A-7-6 (16), lo que indica un suelo arcilloso. De manera similar, la distribución del tamaño de partícula de la C-2 corresponde a la clasificación AASHTO A-7-5 (13), lo que también indica un suelo arcilloso, las pruebas de límites de Atterberg revelaron que el (IP) para el suelo natural de la C-1 es 24, los valores de IP para las muestras de suelo con adiciones de 15%, 20% y 25% fueron 21, 19 y 16, respectivamente. De manera similar, el IP para el suelo natural de la C-2 fue 18, y los valores de IP para las muestras de suelo con adiciones de 15%, 20% y 25% fueron 17, 15 y 13, respectivamente. La densidad seca máxima (MDS) obtenida para la C-1 y C-2 fue de 1.449 gr/cm³, y 1.473 gr/cm³ así mismo para las adiciones se obtuvo los valores de 1.457 gr/cm³, 1.487 gr/cm³, 1.494 gr/cm³, y 1.525 gr/cm³, 1.551 gr/cm³, 1.571 gr/cm³, parar (OCH) para las muestras de suelo natural era del 18,2% y del 21,3%, respectivamente. Los valores de OCH para las muestras de suelo con adiciones del 15%, del 20% y del 25% fueron del 19,1%, del 21,5%, 24,7%, y 26,5%, 26,7%, 29,1%, para el ensayo de CBR tenemos para la C-1 fueron 2.1 % 2.3 %, 2.9 %, 3.5 %, y para la C-2 tenemos 2.2 %, 2.6 %, 3.0 %, 3.7 %. En conclusión, los estudios indican que la ceniza de carbón tiene un efecto



positivo en las propiedades mecánicas de los tipos, pero no satisface los estándares establecidos para su aplicación.

Luan & Vargas (2024) plantearon el objetivo Evaluar el impacto del cloruro de calcio (0%, 3% y 4%) en la estabilidad de la subrasante del tramo Pachin alto de la carretera Otuzco. La metodología utilizada en este trabajo es de carácter aplicado, con un diseño experimental. Se consideró una población del tramo Otuzco-Pachin Alto y se extrajo una muestra de cuatro puntos para su análisis. Los resultados del análisis granulométrico, basados en la clasificación AASHTO, mostraron que tres de las muestras de suelo fueron A-1-a (0) y una fue A-2-4(0) con lo que no cumple con los requisitos de calidad establecidos por el MTC que nos dice que el material a emplearse para la subrasante de un pavimento debe de tener un $CBR > 30\%$ o 40% . Los límites de consistencia promedio para estas muestras fueron 3.44, 2.90, 4.58 y 8.69, respectivamente. Llegando a una conclusión que a lo largo de las calicatas realizadas en la carretera OTUZCO-PACHIN ALTO, se aplicó el método de adición de cloruro de calcio al 3%. Los resultados indicaron que esta adición produjo una disminución del 4% en el valor CBR de la subrasante.

Chávez (2024) planteo el objetivo de aplicar cenizas de carbón para mejorar la estabilización de la subrasante del km 30+000 - km 31+000 de la vía LuyaOcúmal. Se empleó una metodología de investigación experimental con enfoque cuantitativo para este estudio, se realizaron excavaciones de calicatas para analizar el suelo natural y determinar su comportamiento al incorporar 15%, 20% y 25% de ceniza de carbón. Los resultados para la prueba de granulometría de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO tenemos A-06 (7) y A-06 (10) el cual clasifica como suelo regular a malo, para la prueba de proctor modificado



se obtuvieron los siguientes valores de la MDS para la C-1 con la incorporación de (0 % ,15 % , 20 % , 25 %) tenemos 1.878 g/cm³, 1.694 g/cm³, 1.630 g/cm³, 1.581g/cm³ y el OCH tenemos 14.23 %, 15.66 %, 19.82 %, 22.27 %, para la C-2 tenemos la MDS 1.893 g/cm³, 1.700 g/cm³, 1.686 g/cm³, 1.654 g/cm³ y para el OCH tenemos 15.03 %, 16.14 %, 17.77 %, 18.53 %, y para la prueba de CBR tenemos la compactación del 100% y 95% para la C-1 tenemos 12.9 %, 36.1%, 31.3 %, 24.4 % y 6.9 %, 14.5 %, 22.7 %, 10.2 %, y 5.8 %, 17.0 %, 16.4 %, 16.9 % respectivamente. En conclusión, se ha determinado que la incorporación de ceniza de carbón a la mezcla de suelo tiene un efecto significativo en el valor del Índice de California de Relación de Soporte (CBR). Al adicionar un 20% de ceniza de carbón, el valor promedio del CBR al 95% de compactación mejoró considerablemente de 6.35% a 19.55%. Sin embargo, la incorporación de un 25% de ceniza de carbón provocó una disminución del valor promedio del CBR a 13.55%. Estos resultados indican que la dosis óptima de ceniza de carbón para mejorar el CBR es del 20%.

2.1.3. Antecedentes regionales

Según Mamani et al., (2023) plantearon el objetivo determinar cuán efectiva es la combinación de ceniza de quinua y cal en la estabilización de suelos. La metodología de nivel aplicada, de un enfoque cuantitativa y el diseño experimental puro. Los resultados obtenidos muestran que al adicionar 9% de ceniza de quinua y 5% de cal al suelo de fundación, se observaron cambios mínimos en el LL, LP e IP. En contraste, la densidad seca aumentó a 1,902 g/cm³ y el óptimo contenido de humedad disminuyó a 9%. En cuanto al CBR, alcanzó un valor máximo de 32,0% al 100% de densidad seca, mientras que al 95% de densidad seca se registró un valor de 25,6%. Llegando a una conclusión la adición



de 9% de ceniza de quinua y 5% de cal al suelo genera mejoras en sus propiedades, gracias al incremento en la MDS y el Índice de Soporte de California (CBR).

Asimismo, Rodríguez (2021) tuvo objetivo determinar la influencia de la adición del vidrio triturado en las propiedades físico - mecánicas de suelos cohesivos. Tomando una metodología de investigación de tipo aplicada con un diseño experimental tomando como el lugar de estudio la avenida industrial de la región Puno donde se tomó una muestra de un punto donde se realizó estudios de laboratorio. El análisis granulométrico del suelo natural lo clasificó como AASHTO A-6(12), lo que indica que no es adecuado para su uso. Se realizaron pruebas de granulometría adicionales en la mezcla M-1 con adiciones de 4%, 7% y 10% de un material específico. Las clasificaciones AASHTO para estas mezclas fueron A-6(10), A-6(7) y A-6(5), respectivamente. El límite de consistencia del suelo natural fue del 16%, mientras que para las mezclas con adiciones fue de 13%, 12% y 11%, respectivamente. En el ensayo de Proctor modificado, la densidad máxima seca (MDS) para la muestra natural fue de 1.977 g/cm³, mientras que para las muestras con adiciones de 4%, 7% y 10% fue de 1.926 gr/cm³, 1.920 gr/cm³ y 1.929 gr/cm³, respectivamente. La óptima humedad compactación (OCH) para la muestra natural fue del 10.4%, mientras que para las muestras con adiciones fue de 11.8%, 12.7% y 12.5%, respectivamente. Finalmente, se determinó el Índice CBR (California Bearing Ratio) para la muestra natural y las muestras con adiciones al 95% y 100% de compactación. El CBR para la muestra natural al 95% fue del 2.35%, mientras que para las muestras con adiciones fue de 6.10%, 11.50% y 8.20%. El CBR para la muestra natural al 100% fue del 2.50%, mientras que para las muestras con adiciones fue de 8.50%, 14.50% y 13.80%. Se ha comprobado que la adición de un 7% de vidrio a suelos arcillosos mejora



significativamente su resistencia. En comparación con el suelo natural, que tiene una resistencia del 2.35%, la adición de vidrio la aumenta hasta un 11.50%. Esto representa una mejora notable en las propiedades del suelo, lo que podría tener aplicaciones en diversas áreas de la ingeniería civil y la construcción.

Finalmente, Jara (2024) en su tesis de investigación el cual presenta como objetivo evaluar la influencia al estabilizar suelos de tipo arcilloso implementando en su composición cenizas de madera (aserrín), para conocer su comportamiento deformacional y mecánico para mejorar la capa de subrasante en vías de la urbanización las gardenias de la ciudad de Juliaca. La metodología empleada es de un nivel explicativo con un enfoque cuantitativo y de un diseño experimental en el que se analizaron diversos porcentajes de aserrín en el suelo extraído de dos calicatas, en donde los resultado a través de la incorporación de cenizas de madera en dosificaciones de 5%, 12% 18% y 25% se constató una notable mejora en el comportamiento mecánico deformacional de los suelos arcillosos, evidenciada por una reducción del 31% en su plasticidad y un incremento del 3.36% al 17.26% en el valor CBR, lo cual los categoriza como aptos para su uso como subrasante. Asimismo, se observó una reducción del 29.82% al 21.75% en la deformación. Concluyendo que el material es óptimo y adecuado para fines de mejoramiento o estabilización de suelos con propiedades complicadas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Suelo

Es la desintegración química de las rocas a lo largo del tiempo, es una capa muy fina de partículas que puede encontrarse en la corteza del planeta (Crespo, 2004).



El término "suelo" se refiere a un cuerpo natural diverso que puede o no contener materia orgánica en el contexto del campo de la ingeniería civil, definido como partículas sólidas de los sedimentos no consolidados que son resultado de la modificación de los suelos, o rocas que han sido trasladados a través de fenómenos como el viento o la congelación, que son ejercidas por la gravedad actuando como fuerza motriz selectiva (Duque & Escobar, 2016).

2.2.2. Composición del suelo

El suelo se compone de dos partes principales: la parte sólida y la parte porosa. La parte sólida tienen un origen de roca madre, que se desintegra con el tiempo y libera minerales. Estos minerales son los que dan al suelo su estructura y composición. La otra parte de la parte sólida del suelo proviene de la materia orgánica, que son los residuos de animales y plantas que se han descompuesto (Thompson & Troeh, 2021).

2.2.3. Clasificación del suelo

Dado que el suelo se conforma por partículas de distintos tamaños, muchas partes interesadas han decidido clasificarlo en grava, arena, limo o arcilla, esto se debe al hecho de que el suelo está constituido por tales partículas, algunas organizaciones han establecido límites que ayudan a clasificar el suelo en función de su tamaño, las gravas se definen como materiales que incluyen cuarzo, feldespatos y otras partículas minerales en estado disperso, el cuarzo y el feldespato son dos de los minerales que pueden encontrarse en las partículas que componen la arena, los limos están formados por partículas muy pequeñas de cuarzo y las arcillas están compuestas por partículas que pueden ser tan pequeñas como



laminillas microscópicas o tan pequeñas como minerales arcillosos submicroscópicos (Das, 2015).

2.2.4. Subrasante

El objetivo de esta capa inferior, que se coloca por encima del cuerpo del terraplén y por debajo de la subbase, es proporcionar una alineación vertical de la carretera para que el pavimento esté sometido a menos tensiones como consecuencia del tráfico (Ponce, 2018).

2.2.5. Propiedades de la Subrasante

A la hora de diseñar una vía, es esencial tener un conocimiento sólido de las características del suelo de la subrasante, porque esto permite verificar si el suelo está o no en condiciones satisfactorias y si requiere o no algún tipo de tratamiento, ya sea mecánico, químico o físico, los resultados de varias pruebas pueden servir para obtener información sobre las características del suelo (Figueroa, 2005).

2.2.6. La plasticidad

La plasticidad del suelo, que define su capacidad de moldearse sin romperse hasta cierto límite de humedad, depende solamente de sus partículas finas, como la arcilla y el limo, excluyendo las partículas gruesas. El análisis granulométrico no permite determinar esta propiedad, por lo que se requiere realizar pruebas específicas como las que determinan los límites de Atterberg, que identifican los diferentes estados del suelo (sólido, plástico y líquido) y su plasticidad. Esta información es vital para diversos campos como la ingeniería civil, la agricultura y la geología (MTC, 2014).

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad (IP) revela la capacidad del suelo para moldearse sin romperse dentro de un rango de humedad específico. Esta propiedad permite clasificar los suelos con bastante precisión. Una alta plasticidad es propia de suelos arcillosos, mientras que una baja plasticidad es caracterizada por suelos con escaso contenido de arcilla. La tabla siguiente indica la clasificación de suelos según su índice de plasticidad:

Tabla 2

Tipos de suelos según el índice de plasticidad

IP	Plasticidad	Tipo de suelo
IP = 0	NP	Suelos sin arcilla
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos

Nota: Extraído de MTC (2014).

La presencia de arcilla en un suelo, dependiendo de su cantidad, puede ser un factor de riesgo para la estabilidad tanto de la subrasante, así como de la estructura del pavimento. Esto es producto de la alta sensibilidad de la arcilla al agua. Cuando la arcilla se expone a la humedad, aumenta su volumen y se vuelve susceptible a la deformación y al agrietamiento (MTC, 2014).

2.2.7. Capacidad de soporte

El CBR de una subrasante precisa su resistencia, se determina en relación al 95% de la densidad máxima seca y a 2.54 mm de penetración de carga. Este valor, una vez establecido para cada sector con rasgos similares, permite determinar el diseño adecuado del pavimento, incluyendo el espesor de las capas

y los materiales a utilizar (MTC, 2014), la subrasante está caracterizada, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3

Categorías de una subrasante conforme al CBR adquirido

Categoría Subrasante:	CBR
Excelente	$CBR \geq 30\%$
Muy buena	$CBR \geq 20\%$ a $CBR < 30\%$
Buena	$CBR \geq 10\%$ a $CBR < 20\%$
Regular	$CBR \geq 6\%$ a $CBR < 10\%$
Insuficiente	$CBR \geq 3\%$ a $CBR < 6\%$
Inadecuada	$CBR < 3\%$

Nota: Extraído de MTC (2014).

2.2.8. Estabilización de suelos

En la construcción de pavimentos, algunos tipos de suelos de subrasante son adecuados para usar en su forma natural, mientras que otros no. En este caso, existe la necesidad de reemplazar uno adecuado por uno problemático que es costoso y requiere mucho tiempo o realizar una estabilización efectiva que pueda implementarse más fácilmente para mejorar las características de ingeniería (Christopher & Chimobi, 2019).

Es la mejora de las cualidades del suelo conseguida a través del uso de procesos mecánicos y la integración de productos químicos naturales y sintéticos, la estabilización se lleva a cabo a menudo en suelos que tienen una subrasante insuficiente o pobre (DGIP, 2015).

Esta técnica se diseñó para poder satisfacer mejor los criterios previstos para el suelo y para que la calidad alcanzada pudiera considerarse satisfactoria. Existen varios enfoques diferentes de estabilización, el más común de los cuales se conoce como compactación mecánica. Sin embargo, existen otros enfoques que



utilizan el drenaje, la electricidad, los productos químicos, el calor y la calcinación, la inclusión de determinados agentes estabilizadores y otras estrategias (Montejo A. , 2006).

Cuando los suelos compactados, en particular los de naturaleza expansiva, se humedecen bajo ciertos estados de tensión, pueden hincharse o colapsar, dando lugar a asentamientos considerables. Estos asentamientos pueden dañar estructuras ligeras como losas o aceras de casas residenciales. Este desafío se ha abordado mediante métodos como la estabilización química y no química. Los aditivos químicos tradicionales utilizados para la estabilización de suelos expansivos suelen incluir materiales a base de calcio como la cal y el cemento (Al-Taie et al., 2023).

2.2.8.1. Tipos de estabilización

Estabilización mecánica

Este tipo de estabilización pretende mejorar la calidad del suelo ya existente, sin la necesidad de alterar su composición básica y su estructura, por lo cual se usa la compactación como herramienta o técnica que lleve a cabo dicha estabilización, que tiene como fin reducir los espacios vacíos y por ende el volumen que se encuentra en el suelo. Entre los cuales se destacan la estabilización por combinación de suelos en donde se combina el material con un suelo de préstamo de cantera que atribuya mejores propiedades, la estabilización por sustitución de suelos que consiste en cambiar completamente el suelo ya existente por un material adecuado de cantera (MTC, 2014, pág. 98).



Estabilización química

Consiste en la alteración de las características netas del suelo ya existente, entre los insumos para estabilizar más comunes están los de cal, que ayudan en la reducción de la plasticidad y en la densificación del suelo, el cemento, escoria, cloruro de sodio, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, también se encuentran los productos asfálticos que ayudan a incrementar las características del suelo por su propiedad aglomerante del ligante que envuelve al suelo, generando impermeabilización y convirtiéndola en menos sensible a los cambios de humedad (MTC, 2014, pág. 101).

Estabilización con geosintéticos

Consiste en la aplicación de un material que no sea suelo que proporcionen resistencia a tracción, lo cual genera una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos en suelos que no posean propiedades óptimas y adecuadas, los geosintéticos presentan un comportamiento agresivo frente a los agentes externos que perjudican la capacidad del suelo, proporcionándole una resistencia mecánica eficiente (MTC, 2014, pág. 109).

2.2.8.2. Estabilización de una subrasante

La estabilización de la subrasante del suelo con desechos industriales puede incrementar la resistencia del suelo para soportar una estructura de pavimento y garantizar la durabilidad del pavimento. Esto puede conducir a una reducción de los recursos naturales para la construcción de pavimentos. La estabilización de la subrasante del suelo



es la alteración para intercambiar las características físicas del suelo. Aumenta la resistencia al corte (SS) de los suelos y mejora la capacidad de carga. Generalmente, los suelos arcillosos tienen menos resistencia al corte y generalmente tienen propiedades de ingeniería indeseables (Harinder et al., 2022).

2.2.9. Vidrio

El vidrio es una sustancia inorgánica no viva que, a pesar de su resistencia y durabilidad, presenta un alto grado de fragilidad, la composición química de este material influirá si hay o no una secuencia progresiva de distintos tonos, asimismo si es transparente (Fernández J. , 2019).

El vidrio es un mineral que se produce cuando los componentes inorgánicos se funden a altas temperaturas y luego se enfrían rápidamente, esto da como resultado que el vidrio se vuelva quebradizo y emita un producto sólido que puede tener una variedad de composiciones diferentes dependiendo de la materia prima. materiales que se utilizan y el proceso térmico que se utiliza (Fernández J. , 2003).

2.2.9.1. Tipos de vidrios

Vidrios laminados

Son los vidrios más comunes, se le conoce como vidrio laminado de seguridad, debido a la lámina de unión entre ambas hojas de vidrio, en caso de desprendimiento los fragmentos de vidrio quedan adheridos a la lámina, evitando el desprendimiento y disminuyendo los riesgos de lesiones. La característica más importante de este tipo de vidrio es la resistencia a la penetración, también ofrece buenas cualidades ópticas,



disminuye los ruidos producidos y protege contra la radiación ultravioleta (Morales, 2017).

Vidrio templado

Es un vidrio térmico que genera tensiones que ofrecen características de alta resistencia al impacto y a los riesgos de ruptura térmica, este tipo de vidrios suelen utilizarse en mamparas, divisiones horizontales, las cuales se encuentran expuestas a cambios de temperatura sobre su superficie y también posee la capacidad de soportar un esfuerzo mecánico elevado (Morales, 2017).

Vidrio termo endurecido

Similar al vidrio templado, material que se somete a un proceso de calentamiento hasta una temperatura próxima al reblandecimiento, a diferencia del anterior su enfriamiento es más lento, su patrón de rotura es diferente al del templado (Morales, 2017).

Vidrio templado químicamente

En un material que genera tensiones adicionales que se produce por la modificación superficial de la composición química del vidrio, es poco usual (Morales, 2017).

Vidrio satinado

Es aquel que deja pasar la luz a través de él, sin embargo no permite ver el paso de la imagen con plena nitidez, las variadas de diseños es posible con este tipo de material (Morales, 2017).



Espejo

Este tipo de vidrio se genera mediante una serie de procesos, en las que interviene una máquina especial, siguiendo lo siguiente: limpieza y pulido del material, sensibilización del material, lavado con agua desmineralizada, depósito en planta, nuevamente el lavado, secado a la intemperie, precalentamiento, pintado, horneado, limpieza final y control de calidad (Morales, 2017).

Vidrio de botellas

El vidrio común para botellas se compone principalmente de sílice, sodio y calcio. A esta mezcla base se le pueden añadir otros elementos para mejorar sus propiedades. El carbonato de sodio (Soda Ash), por ejemplo, es un fundente común que aumenta la fluidez del vidrio y facilita la eliminación de burbujas. Los envases de vidrio suelen contener entre un 13% y un 16% de carbonato de sodio. Durante el proceso de refusión, alrededor del 2% de este compuesto junto con otros se volatiliza (Suárez et al., 2018).

2.2.9.2. Disponibilidad mundial del vidrio

La producción mundial anual de vidrio ronda los 130 millones de toneladas, de las cuales el 48% es vidrio para envases, el 42% es vidrio plano, el 5% es vajilla y el resto se destina a otras aplicaciones. Por otro lado, la capacidad mundial de reciclaje de vidrio se estima en 27 millones de toneladas anuales, lo que representa sólo alrededor del 21% de la producción mundial (Premathilaka et al., 2024).



2.2.9.3. Reciclaje del vidrio

El vidrio, por su facilidad de recuperación, se convierte en un aliado para la gestión ambiental. Los envases de vidrio son 100% reciclables, permitiendo crear nuevos envases con las mismas características a partir de los usados. Esta capacidad abre un abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones se autogestionen de forma sencilla y responsable, contribuyendo a un entorno más sostenible. El reciclaje, una práctica presente en diversos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y Francia desde hace más de 20 años, se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión de residuos. En Alemania, el mayor productor de basura en Europa, las leyes exigen a las industrias reciclar parte de sus desechos, aunque su elevado costo ha generado la búsqueda de alternativas para que el consumidor asuma parte de este gasto. El proceso de reciclaje exige condiciones específicas como la limpieza y separación de materiales, la garantía de un mínimo de producto por parte de los proveedores y entregas a plazos fijos (Castillo et al., 2020).

Tabla 4

Porcentaje de vidrio reciclado en diferentes países

País	Porcentaje de vidrio reciclado (%)
Bélgica	96%
Suiza	94%
Luxemburgo	93%
Países bajos	91%
Noruega	89%
Alemania	82%
Italia	74%
Francia	67%
Reino Unido	61%
España	57%
EE.UU.	33%

Nota: Extraído de Epure et al. (2023).

2.2.9.4. Composición del vidrio

El proceso de elaboración de materiales y métodos de vidrio comienza con la extracción de arena, que suele realizarse en grandes cantidades. En principio, el vidrio se puede reciclar muchas veces antes de que la calidad del material sufra algún daño. Antes de que el vidrio desecho pueda utilizarse como materia prima para la industria del vidrio, debe pasar por varias fases que requieren mucho tiempo y mano de obra. Estos procesos incluyen la separación, la eliminación de la suciedad y la limpieza. Esto presenta un desafío importante para la reutilización del vidrio desecho en la producción de vidrio (Epure et al., 2023).

El vidrio está disponible en varias formas, colores y matices, cada uno con una composición química única. Una de las razones clave por las que el vidrio no se remanufactura es porque los vidrios de diferentes colores tienen diferentes características químicas.

Tabla 5*Características químicas del polvo de vidrio*

Compuesto/ Elemento	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	Na₂O	MgO	K₂O
Contenido (% peso)	72.58	1.47	0.85	10.49	12.54	0.61	0.4

Nota: Extraído de Mohajerani et al. (2017).

Tabla 6*Características físicas del vidrio triturado reciclado*

Características físicas	Valores
Densidad a granel	1360 kg/m ³
Gravedad específica	2.4 – 2.8
Módulo de finura	0.43 – 3.29
Módulo de finura	84.4 – 94.7
Índice de forma (%)	30.5
Relación de rodamiento california (%)	50 – 75
Valor de los ángeles (%)	25 – 28
Ángulo de fricción	Crítico: 38 (estado suelto)
Ángulo de fricción	Crítico: 50-61 (estado denso)
Conductividad térmica	0.7 – 1.3 W/m.K
Capacidad calorífica térmica	850 – 950 J/kg.K
Coefficiente de expansión térmica	9.1 – 9.5 $\mu\text{cepa}/^{\circ}\text{C}$

Nota: Extraído de Epure et al. (2023).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Suelo

El suelo, un ecosistema dinámico en constante cambio, se define como el horizonte de la roca que se transforma bajo la acción del agua, el aire y diversos organismos. Actúa como soporte para las estructuras y como proveedor de nutrientes, siendo escenario de interacciones entre las fases sólida, líquida y gaseosa (Jaramillo, 2002).



2.3.2. Subrasante

El diseño y el rendimiento de los pavimentos se ven directamente afectados por la resistencia y durabilidad del suelo de subrasante que recubren, algunos tipos de suelos de subrasante son adecuados para usar en su forma natural, mientras que otros no, en este caso, existe la necesidad de reemplazar uno adecuado por uno problemático que es costoso y requiere mucho tiempo o realizar una estabilización efectiva (Tanyildizi et al., 2023).

2.3.3. Estabilización

La estabilización del suelo busca mejorar sus características físicas y químicas a través de diversos métodos. Se trata de adicionar al suelo cohesivo un aditivo que genere reacciones químicas para cementar sus partículas, lo que a su vez mejora características como la resistencia, durabilidad, permeabilidad, plasticidad y densidad del suelo. En resumen, la estabilización busca convertir un suelo inestable en uno más firme y con mejores propiedades para su uso (Montejo et al., 2018).

2.3.4. Plasticidad

La plasticidad es una propiedad que ha servido por siglos para clasificar suelos en forma puramente descriptiva. En el suelo es una propiedad que se debe a la capacidad de interactuar con el agua que tienen los minerales de caolinita, montmorilonita e illita que componen la arcilla, la forma laminar de las partículas influyen la compresibilidad del suelo mientras que el tamaño pequeño propio de estas partículas reduce considerablemente la permeabilidad del suelo (UCSC, 2016).



2.3.5. Resistencia

Diversos métodos para la estabilización son necesarios para potenciar la resistencia de varios suelos, en algunos casos suelen perder la resistencia cuando presentan contenido de materia orgánica, los mayores problemas de resistencia suelen estar en los suelos orgánicos. La compactación, como método de estabilización mecánica para aumentar la fuerza del suelo, no siempre se traduce en una mayor eficacia a medida que se incrementa la intensidad del proceso. Es importante encontrar un equilibrio, ya que una compactación excesiva puede generar efectos contraproducentes en la resistencia del suelo (Montejo et al., 2018).

2.3.6. Vidrio

La elaboración del vidrio es un proceso extenso y complejo que inicia con la cocción de una mezcla de materiales a altas temperaturas. Esta mezcla, compuesta principalmente de arena de sílice, funde y se transforma en un líquido viscoso. A partir de este punto, se realizan diversas operaciones para darle forma al vidrio, como el soplado, el moldeo o el prensado. Durante este proceso, el vidrio experimenta cambios físicos y reacciones químicas que determinan sus propiedades finales. Finalmente, el vidrio se enfría de manera controlada para evitar tensiones internas y obtener un producto sólido y resistente (Fernández, 2003).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

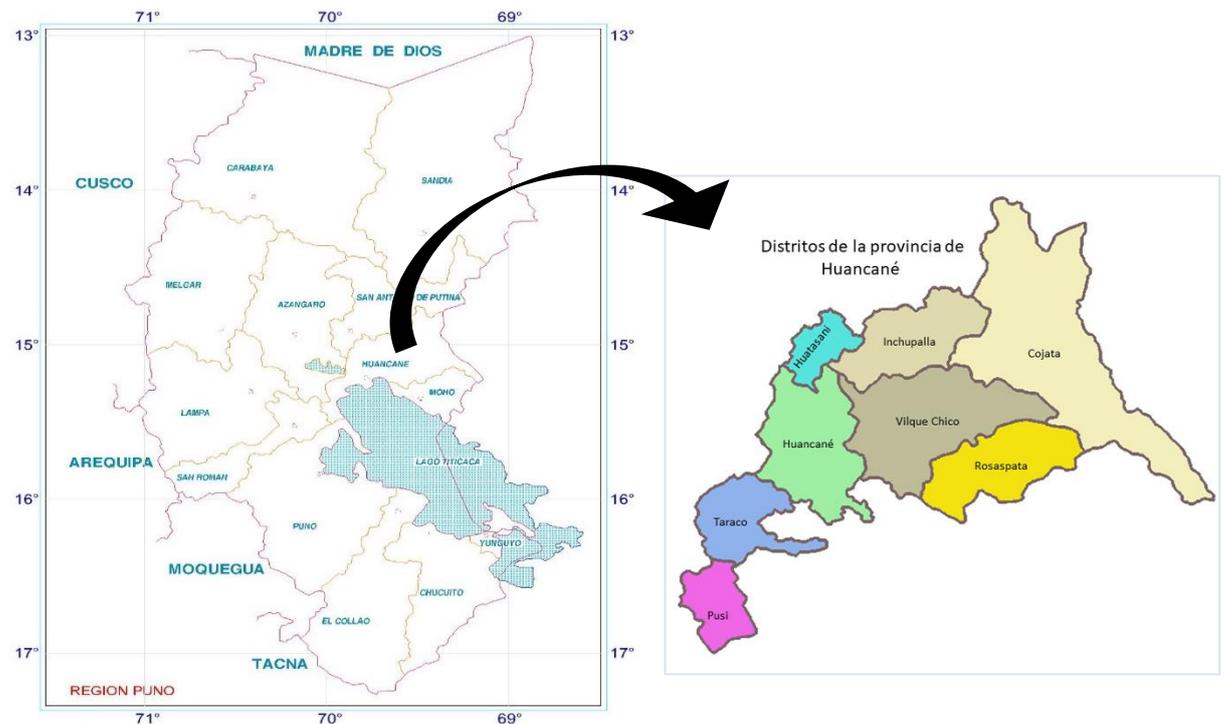
3.1. ASPECTOS GENERALES

La presente investigación se lleva a cabo en la ciudad de Puno, localizada en la zona sur de la región homónima del Perú políticamente ubicada tal cómo se detalla a continuación.

- **Distrito** : Huancané
- **Provincia** : Huancané
- **Departamento** : Puno
- **Altitud** : 3827 m.s.n.m.

Figura 1

Mapa de Puno identificando el distrito de Huancané



Nota: Imagen tomada de Google maps.

Figura 2

Georreferenciación de la vía Huancané - Ojería



Nota: Imagen tomada de Google earth.

Importancia

El distrito de Huancané por su geología presenta un tipo de suelo de arcilla inorgánica de alta plasticidad, generando dificultades en los transportes incomodando a la población del distrito de Huancané, por lo que es necesario reducir la plasticidad y mejorar la capacidad de soporte en la subrasante con el fin de que esta pueda soportar una estructura de pavimento.

3.2. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.2.1. Materiales utilizados en campo

En esta fase de la investigación se utilizarán diversos materiales para recolectar datos y muestras de suelo en campo, las cuales se especifican de la siguiente manera:



- **Herramientas:** pico, pala, flexómetro, espátulas y badilejos.
- **Materiales:** sacos de diversos tamaños, bolsas de plástico selladas, pizarra, libreta de apuntes.
- **Dispositivos:** cámara fotográfica, GPS.

3.2.2. Materiales utilizados en laboratorio

En esta fase de laboratorio se ejecutaron varias pruebas para precisar las características mecánicas y físicas del suelo estudiado, para lo cual los materiales utilizados se especifican de la siguiente manera:

- **Equipos:** prensa de ensayo de CBR.
- **Instrumentos:** cuchara de Casagrande, balanza
- **Materiales:** bandejas, recipientes de aluminio, taras, tamices normalizados, placa de vidrio, cucharón, espátula, cucharón, moldes y martillos Proctor.
- **Dispositivos:** cámara fotográfica.
- **Artefactos:** horno eléctrico.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo se basa en mediciones numéricas y análisis estadísticos para responder preguntas de investigación. Se observan y recopilan datos del proceso en cuestión, y luego se analizan utilizando métodos estadísticos. Esto implica la medición de parámetros, la obtención de frecuencias y estadígrafos de población (Hernández & Mendoza, 2018).



El enfoque será cuantitativo, en la investigación se recabarán datos cuantitativos que serán analizados respecto a cómo mejora el polvo de vidrio en la subrasante de la vía Huancané – Ojeria.

3.3.2. Tipo de investigación

Es un término que se refiere a un conjunto de enfoques que se emplean en un proyecto de investigación para obtener información de la condición problemática que existe en la región que se examina teniendo en cuenta todos los elementos de aplicación (Hernández et al., 2014).

El tipo será aplicado, debido a que se realizará con el conocimiento ya establecido por técnicas y normas para la recopilación de las muestras de la vía, asimismo como el procedimiento en el laboratorio para los ensayos de las propiedades mecánicas y físicas de las representaciones de suelo de la vía y con la suma de porcentajes de polvo de vidrio.

3.3.3. Nivel de investigación

Arias (2012) se ubica en el nivel más profundo del conocimiento, abordando un sector poco explorado. Busca comprobar hipótesis causales y explicar las causas de un fenómeno. Para ello, inserta el fenómeno en un contexto teórico, proporcionando una comprensión más profunda del mismo.

El nivel será explicativo porque trata de explicar el efecto que causa al incorporar vidrio molido en un suelo extraído de una subrasante, dentro de sus características físicas y mecánicas con el fin de adecuar dicho material para considerarse una subrasante adecuada.



3.3.4. Diseño de investigación

Carrasco (2007) menciona que los diseños experimentales puros pueden incluir una o más variables independientes y dependientes. Algunos diseños usan prepruebas y pospruebas para medir la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental. Aunque la preprueba no es indispensable en todos los diseños "puros", la posprueba sí es necesaria para determinar los efectos del experimento.

El diseño será experimental puro, porque existe la manipulación del suelo natural de la subrasante con la dosificación en porcentajes polvo de vidrio reciclado para mejorar las características físicas y mecánicas de la vía Huancané – Ojeria.

3.3.5. Variables de investigación

Variable independiente:

Polvo de vidrio reciclado

Variable dependiente:

Propiedades físico-mecánicas de la subrasante

3.3.6. Población

Es la representación de un todo de un determinado grupo de individuos, sujetos, información, etc. que serán tema de investigación, puede que estén conformados por empresas, personas, días, metros, etc. (Pino, 2007).



Para el estudio la población estará constituida por los suelos de la vía Huancané – Ojeria de 5 km de longitud, del Distrito de Huancané, de la Provincia de Huancané, Departamento Puno.

3.3.7. Muestra

Se considera una porción representativa de la población en su conjunto, que contiene las cualidades de ser precisa y una copia genuina de la población, con el propósito de que la respuesta de la muestra se generalice para aplicarla a la totalidad de los componentes de la población (Carrasco, 2007).

Para la estimación del tamaño de muestra estadística se determinará por la fórmula para una población finita que es:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

donde:

- N: es Población o Universo (5000 km)
- E: es el Margen de error (se consideró de 2%)
- Z: es el Nivel de confianza (se consideró al 95% que tiene un coeficiente de 2)
- p: es la Probabilidad de éxito (50%)
- q: es la Probabilidad de fracaso (50%),

reemplazando los valores quedaría así:

$$n = \frac{5000 * 2^2 * 50\% * 50\%}{2\%^2 * (5000 - 1) + 2^2 * 50\% * 50\%}$$

$$n = 1666.89$$



Al analizar la vía se redondea a 2000 m o 2 Km siendo este dato la muestra de la presente investigación.

Para la adquisición de las muestras conforme al Manual de Carreteras 2014 en el Capítulo VI, en el cuadro 4.1 indica en número mínimo de exploración de suelos, siendo la vía de tipo de carretera de escaso volumen de tránsito, indica que se deben ejecutar 1 calicata por cada km a 1.50 m, la muestra de la vía al ser de 2 km, se analizaran 3 puntos de exploración (calicatas) de donde se retira muestras para los ensayos de laboratorios.

3.3.8. Muestreo

Carrasco (2007) define que se presentan dos tipos de muestreo: no probabilístico y probabilístico, el primero hace referencia a un muestreo que se apega a los fundamentos estadísticos y principios y no está sujeta al capricho o la voluntad del investigador, mientras que no probabilístico no está sujeta a la estadística y reglas, sino que depende de las preferencias del investigador.

El muestreo será probabilístico debido a que se realizó mediante la determinación de muestreo para población finita.

Tabla 7*Cantidad de muestras para cada ensayo a realizar*

Ensayos	Subrasante					Total de ensayo	Kg por ensayo	Total de muestra
	Suelo Natural Patrón	Polvo de vidrio reciclado						
		3%	6%	9%	12%			
Granulometría	3	-	-	-	-	3	3	9
Contenido de humedad	3	-	-	-	-	3	3	9
Límites de consistencia	3	3	3	3	3	15	3	45
Proctor modificado	3	3	3	3	3	15	50	750
CBR	3	3	3	3	3	15	50	750
Total	15	9	9	9	9	51	109	1563

Nota: Elaboración propia.

3.3.9. Unidad de análisis

Representa una unidad de medida, el cual es necesario definir claramente antes de establecer la muestra, lo que dependerá del problema planteado y de los objetivos de investigación (Rivero et al., 2021).

En el presente estudio la unidad de muestreo es el suelo material extraído de la subrasante.

3.3.10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Son estrategias y criterios que pueden emplearse para afinar un determinado proceso y conjunto de objetivos que se desean determinar, se puede emplear el uso de la recopilación documental, las escalas de apreciación, la observación, los cuestionarios, las entrevistas, etc. (Ñaupas et al., 2018).

Para nuestro estudio será necesario lo siguiente:

- Revisión bibliográfica



- Observación directa
- Trabajo en campo
- Análisis y procesamiento de datos

Instrumentos de recolección de datos

Son los recursos que permiten la recopilación de datos e información cruciales para el análisis y la consecución del objetivo planteado y pueden adoptar diversas formas en función de la aplicación de los procedimientos fundamentales y necesarios (Ñaupas et al., 2018).

Para la investigación se utilizarán los siguientes instrumentos para recolectar los datos resultantes:

- Fichas de recolección de datos en campo y en laboratorio
- Software de procesamiento de datos (Excel)
- Software de procesamiento de datos (Word)
- Software de contraste de hipótesis (SPSS)

3.3.11. Procedimiento

Etapas preliminar

Se procederá primeramente a la recolección de vidrios reciclados provenientes de los consumidores de botellas de vidrio las cuales serán lavadas y secadas, para luego triturarlas hasta que se consiga el estado de polvo del vidrio que fue reciclado.

Figura 3

Recolección de envases de vidrio



Nota: Imagen propia.

Figura 4

Limpieza de envases de vidrio



Nota: Imagen propia.

Figura 5

Triturado de los envases de vidrio



Nota: Imagen propia.

Figura 6

Tamizado del vidrio triturado



Nota: Imagen propia.

Figura 7

Polvo de vidrio reciclado



Nota: Imagen propia.

Posteriormente se realizó un ensayo de Fluorescencia de rayos X en la universidad nacional del Altiplano en el laboratorio de yacimientos minerales para conocer las características químicas en porcentajes de concentración que posee el polvo de vidrio utilizado para la investigación, dichos valores se muestran a continuación:



Tabla 8

Resultados de análisis FRX en el vidrio molido

Fórmula	Concentración
SiO ₃	70.55%
Na ₂ O	13.35%
CaO	11.33%
Al ₂ O ₃	2.7%
Fe ₂ O ₃	0.5%
K ₂ O	0.13%
TiO ₂	0.56%
Cr ₂ O ₃	0.40%
SrO	0.20%
MnO	0.15%
ZrO ₂	0.05%
ZnO	0.04%
As ₂ O ₃	0.03%
V ₂ O ₅	0.01%

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

Etapa de campo

Se realizará los puntos de exploración para obtener muestras de los 2 km que se analizarán de la vía Huancané – Ojeria, al tener la recomendación del Manual de Carreteras se efectuará 3 calicatas 1 en el km 0+000 otra en el km 1+000 y en la final en el km 2+000, todas a un fondo de 1.50m aproximadamente de la subrasante.

Figura 8

Excavación de calicatas



Nota: Imagen propia.

Figura 9

Extracción de muestras de suelo



Nota: Imagen propia.

Etapa de laboratorio

Al tener la cantidad de suelo requerido se llevará al laboratorio, para poder realizar los ensayos de granulometría, contenido de humedad, límites de atterberg a las representaciones de suelo natural de las calicatas para poder determinar la clasificación de suelo que pertenece, seguidamente se realizará el ensayo de

Proctor modificado y CBR a la muestra natural de suelo y con las respectivas dosificaciones que se planteó.

Figura 10

Ensayo de análisis granulométrico



Nota: Imagen propia.

Figura 11

Ensayo de límite líquido



Nota: Imagen propia.

Figura 12

Ensayo de límite plástico



Nota: Imagen propia.

Figura 13

Compactación del material a diferentes energías



Nota: Imagen propia.

Figura 14

Inmersión de los moldes



Nota: Imagen propia.

Figura 15

Lectura del deformímetro para el cálculo de expansión



Nota: Imagen propia.

Figura 16

Aplicación de carga mediante el pisón de penetración



Nota: Imagen propia.

Con las muestras de suelo de subrasante también se realizó un ensayo de fluorescencia de rayos x para el suelo natural y el suelo combinado con polvo de vidrio, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 9

Resultados del análisis FRX en el suelo natural

Fórmula	Concentración
Fe ₂ O ₃	44.20%
K ₂ O	30.23%
CaO	16.16%
TiO ₂	7.90%
MnO	0.55%
ZrO ₂	0.47%
V ₂ O ₅	0.23%
Cr ₂ O ₃	0.13%
Rb ₂ O	0.05%
NiO	0.05%
SrO	0.03%
Rh ₂ O ₃	0.01%

Nota: Datos resultantes de laboratorio.



Tabla 10

Resultados del análisis FRX en el suelo con la dosificación óptima de vidrio molido

Fórmula	Concentración
Fe ₂ O ₃	38.13%
SiO ₃	24.56%
K ₂ O	14.89%
Na ₂ O	8.49%
CaO	5.67%
TiO ₂	6.87%
MnO	0.56%
ZrO ₂	0.40%
V ₂ O ₅	0.20%
Cr ₂ O ₃	0.15%
SrO	0.05%
NiO	0.04%
Rb ₂ O	0.03%
Rh ₂ O ₃	0.01%

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

Etapas de gabinete

Al evaluar las propiedades mecánicas y físicas con la incorporación de las dosificaciones de polvo de vidrio reciclado, con los datos recolectados en laboratorio se pasará a analizar mediante tablas y gráficos la influencia de la subrasante, para poder interpretar según los problemas planteados los resultados de los ensayos y como último hacer la respectiva discusión con otras investigaciones.

3.3.12. Confiabilidad y validez

3.3.12.1. Confiabilidad

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere a la consistencia y precisión de sus resultados. Esto significa que al aplicar el instrumento varias veces a los mismos sujetos, en diferentes circunstancias, se obtendrán resultados similares. La confiabilidad



también indica el grado de error aleatorio presente en la medición. Un instrumento será confiable si las diferencias en los resultados entre los sujetos se deben a características reales de los mismos y no a errores en la medición, ya sea por la técnica utilizada o por las personas que la administran (Carvajal, 2012).

En nuestra investigación la confiabilidad se realizará a los datos resultantes en las diferentes pruebas de laboratorio mediante el alfa de Cronbach en el software SPSS.

3.3.12.2. Validez

La validez de un instrumento de medición se refiere a su capacidad para medir realmente lo que se pretende medir. En otras palabras, indica si el instrumento refleja con precisión el constructo que se quiere evaluar. La validez también permite determinar el grado de error sistemático presente en la medición, es decir, el error que se produce de forma constante en una dirección determinada. Un instrumento será válido si los resultados que produce corresponden a la realidad y no a errores en la medición (Carvajal, 2012).

La validez será realizada mediante el valor de V de Aiken, dichos valores son adquiridos a través de hojas de evaluación realizada por expertos en el tema.

Para el desarrollo del presente estudio la validación de los instrumentos de investigación se realizó mediante el juicio de expertos, que son profesionales con experiencia en el ámbito de la ingeniería civil.

Tabla 11

Evaluadores expertos en el área

N°	Nombres y apellidos	Grado	CIP
1	Fausto Ponciano Mamani Mamani	Ing.	38080
2	Rubén Tamayo Mollinedo	Ing.	75252
3	Silvia Leonor Ingaluque Arapa	Ing.	84024

Nota: Autoría propia.

Con este método se otorga un valor que se mide conforme a la magnitud que se observa en las fichas de evaluación conforme a la valoración de los jueces sobre el instrumento de recolección (Martin & Molina, 2017).

$$V = \frac{S}{n(c-1)}$$

Donde:

S : Sumatoria de todos los resultados.

N : Cantidad de expertos.

C : Cantidad de valores en la escala de valoración.

Tabla 12

Valoración del V de Aiken

Interpretación	V Aiken
Fuerte	0.90 – 1.00
Aceptable	0.80 – 0.89
Débil	0.00 – 0.79

Nota: Autoría propia.

En la presente investigación se consideraron 10 criterios para cada instrumento de recolección de datos para indicador, así mismo se utilizaron los criterios de validación entre: excelente (5), buena (4), aceptable (3), deficiente (2) y muy deficiente (1).

Tabla 13*Evaluación de expertos para el primer instrumento*

Instrumento 01: Ficha de recolección de datos en campo						
Ítems	Expertos			Suma de acuerdos total (S)	V Aiken	Descripción
	1	2	3			
1	5	5	5	15	1.00	Fuerte
2	5	5	5	15	1.00	Fuerte
3	5	5	5	15	1.00	Fuerte
4	5	5	5	15	1.00	Fuerte
5	5	5	5	15	1.00	Fuerte
6	5	5	5	15	1.00	Fuerte
7	5	5	5	15	1.00	Fuerte
8	5	5	5	15	1.00	Fuerte
9	5	5	5	15	1.00	Fuerte
10	5	5	5	15	1.00	Fuerte
Media					1.00	Fuerte

Nota: Autoría propia.

Tal como se detalla en la tabla 13 el valor de Aiken para el instrumento (ficha de recolección de datos en campo) es de 1.00 que se ubica dentro del parámetro “Fuerte”.

Tabla 14*Evaluación de expertos para el segundo instrumento*

Instrumento 02: Fichas de recolección de datos para las propiedades físicas del suelo						
Ítems	Expertos			Suma de acuerdos total (S)	V Aiken	Descripción
	1	2	3			
1	5	5	5	15	1.00	Fuerte
2	5	5	5	15	1.00	Fuerte
3	5	5	5	15	1.00	Fuerte
4	5	5	5	15	1.00	Fuerte
5	5	5	5	15	1.00	Fuerte
6	5	5	5	15	1.00	Fuerte
7	5	5	5	15	1.00	Fuerte
8	5	5	5	15	1.00	Fuerte
9	5	5	5	15	1.00	Fuerte
10	5	5	5	15	1.00	Fuerte
Media					1.00	Fuerte

Nota: Autoría propia.

Tal como se detalla en la tabla 14 el valor de Aiken para el instrumento (ficha de recolección de datos en campo) es de 1.00 que se ubica dentro del parámetro “Fuerte”.

Tabla 15

Evaluación de expertos para el tercer instrumento

Instrumento 02: Fichas de recolección de datos para las propiedades mecánicas del suelo						
Ítems	Expertos			Suma de acuerdos total (S)	V Aiken	Descripción
	1	2	3			
1	5	5	5	15	1.00	Fuerte
2	5	5	5	15	1.00	Fuerte
3	5	5	5	15	1.00	Fuerte
4	5	5	5	15	1.00	Fuerte
5	5	5	5	15	1.00	Fuerte
6	5	5	5	15	1.00	Fuerte
7	5	5	5	15	1.00	Fuerte
8	5	5	5	15	1.00	Fuerte
9	5	5	5	15	1.00	Fuerte
10	5	5	5	15	1.00	Fuerte
			Media		1.00	Fuerte

Nota: Autoría propia.

Tal como se detalla en la tabla 15 el valor de Aiken para el instrumento (ficha de recolección de datos en campo) es de 1.00 que se ubica dentro del parámetro “Fuerte”.

3.3.12.3. Prueba estadística

Conforme a los resultados adquiridos se ejecutará la prueba estadística mediante el software SPSS, con el que determinaremos las significancias de cada análisis, se realizará una prueba de normalidad por cada hipótesis planteada en donde se determinará si en caso los valores presentan una normal distribución o no normal para identificar la estadística a aplicar, ya sea paramétrica o no paramétrica, considerando que nuestros datos sean normales y conforme al nivel de investigación se



realizará la prueba estadística ANOVA de un factor, ya que la cantidad de grupos a evaluar son más de dos, con el ANOVA hallaremos la diferencia de medias de cada adición para conocer la incidencia del polvo de vidrio reciclado en las características mecánicas y físicas de la subrasante.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE SUBRASANTE

4.1.1. Propiedades físicas de la subrasante

Mediante las pruebas de laboratorio a la muestra de suelo extraída de la subrasante se determinaron las características físicas en estado natural y adicionando a la muestra de suelo proporciones de polvo de vidrio, con la finalidad de mejorar las características malas que no cumplen con los requisitos máximos y mínimos establecidos en el manual de carreteras para ser un material apto para una subrasante.

Tabla 16

Resultados del análisis granulométrico en la calicata 01 con diversas adiciones

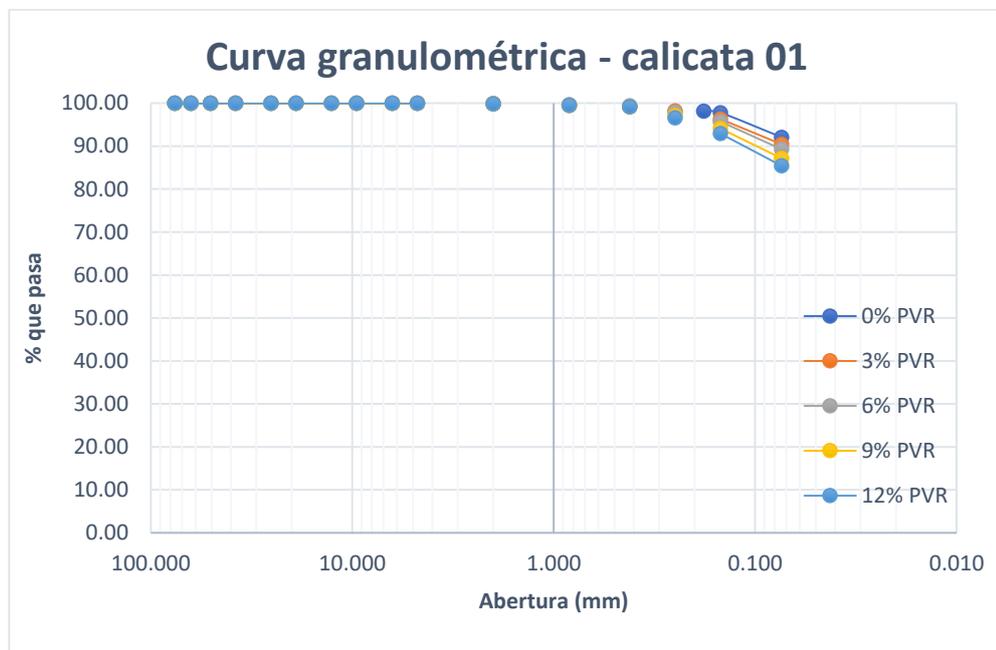
Tamices (ASTM)	Abertura (mm)	%que pasa (suelo natural)	%que pasa (3% PVR)	%que pasa (6% PVR)	%que pasa (9% PVR)	%que pasa (12% PVR)
3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.600	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.700	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.525	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No4	4.760	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No8	2.380					
No10	2.000	99.86	99.87	99.91	99.87	99.87
No16	1.190					
No20	0.840	99.52	99.53	99.65	99.56	99.54
No30	0.590					

Tamices (ASTM)	Abertura (mm)	% que pasa (suelo natural)	% que pasa (3% PVR)	% que pasa (6% PVR)	% que pasa (9% PVR)	% que pasa (12% PVR)
No 50	0.300					
No60	0.250		98.22	97.93	97.12	96.61
No80	0.180	98.15				
No100	0.149	97.80	96.32	95.74	94.12	92.95
No200	0.074	92.10	90.46	89.29	87.17	85.44

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

Figura 17

Distribución granulométrica del suelo en la calicata 01



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 16 se muestran los datos resultantes del análisis granulométrico realizado al material extraído de la subrasante en la calicata 01 adicionando 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado y en la figura 17 se muestra la curva granulométrica en donde observamos la distribución de las partículas de la muestra de subrasante, el tipo de suelo resultante de acuerdo de la clasificación SUCS es CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad) y de acuerdo a la AASHTO es A-7-6 (Suelo Arcilloso)

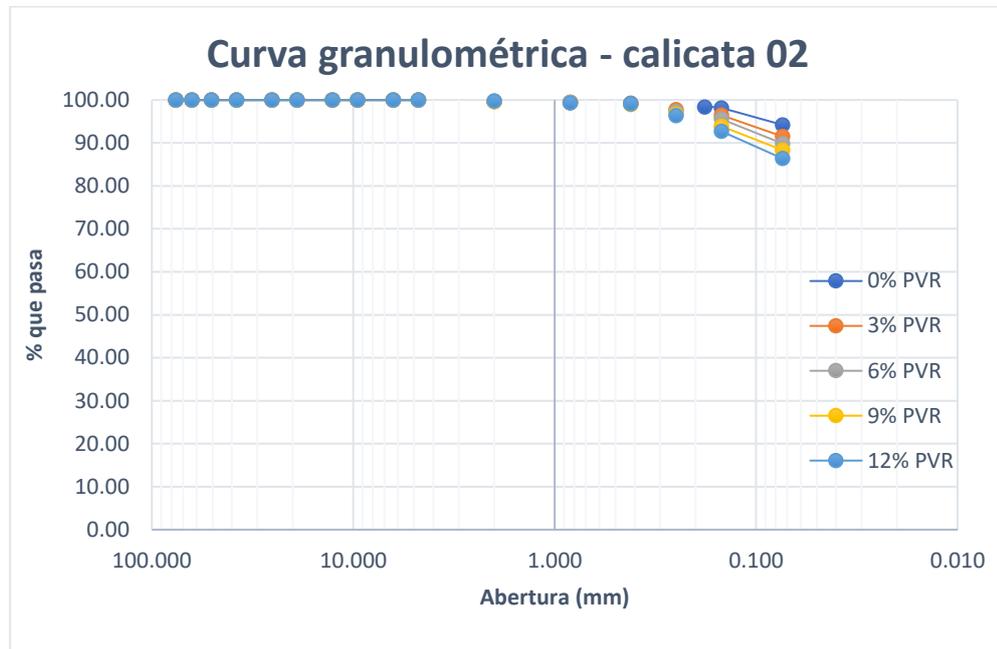
Tabla 17*Resultados del análisis granulométrico en la calicata 02 con diversas adiciones*

Tamices (ASTM)	Abertura (mm)	%que pasa (suelo natural)	%que pasa (3% PVR)	%que pasa (6% PVR)	%que pasa (9% PVR)	%que pasa (12% PVR)
3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.600	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.700	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.525	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No4	4.760	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No8	2.380					
No10	2.000	99.72	99.71	99.63	99.64	99.72
No16	1.190					
No20	0.840	99.49	99.42	99.38	99.42	99.33
No30	0.590					
No40	0.420	99.23	99.11	99.12	98.96	99.09
No 50	0.300					
No60	0.250		97.79	97.31	96.70	96.34
No80	0.180	98.37				
No100	0.149	98.10	96.48	95.57	93.90	92.73
No200	0.074	94.22	91.52	89.87	88.35	86.39

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

Figura 18

Distribución granulométrica del suelo en la calicata 02



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 17 se muestran los datos resultantes del análisis granulométrico realizado al material extraído de la subrasante en la calicata 02 adicionando 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado y en la figura 18 se muestra la curva granulométrica en donde observamos la distribución de las partículas de la muestra de subrasante, el tipo de suelo resultante de acuerdo a SUCS es CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad).

Tabla 18

Resultados del análisis granulométrico en la calicata 03 con diversas adiciones

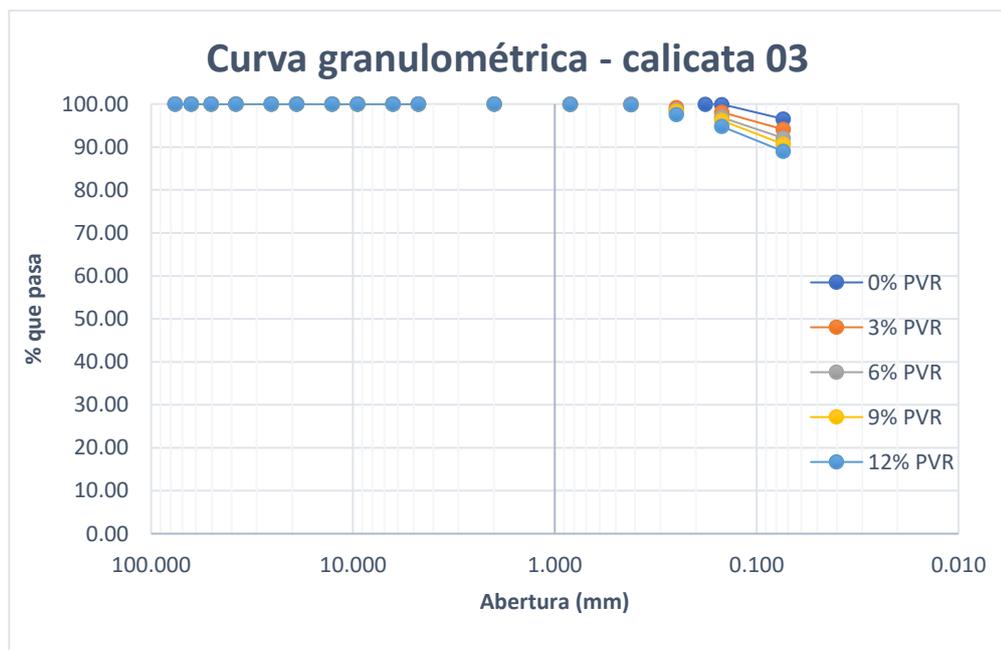
Tamices (ASTM)	Abertura (mm)	%que pasa (suelo natural)	%que pasa (3% PVR)	%que pasa (6% PVR)	%que pasa (9% PVR)	%que pasa (12% PVR)
3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.600	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tamices (ASTM)	Abertura (mm)	%que pasa (suelo natural)	%que pasa (3% PVR)	%que pasa (6% PVR)	%que pasa (9% PVR)	%que pasa (12% PVR)
1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.700	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.525	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.350	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No4	4.760	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No8	2.380					
No10	2.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
No16	1.190					
No20	0.840	99.99	99.98	99.97	99.95	99.96
No30	0.590					
No40	0.420	99.96	99.93	99.92	99.88	99.89
No 50	0.300					
No60	0.250		99.16	98.58	98.33	97.55
No80	0.180	99.92				
No100	0.149	99.88	98.11	96.89	96.20	94.79
No200	0.074	96.55	94.12	92.10	90.69	89.04

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

Figura 19

Distribución granulométrica del suelo en la calicata 03



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 18 se muestran los datos resultantes del análisis granulométrico realizado al material extraído de la subrasante en la calicata 03 adicionando 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado y en la figura 19 se muestra la curva granulométrica en donde observamos la distribución de las partículas de la muestra de subrasante, el tipo de suelo resultante a través de la clasificación SUCS es CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad).

Tabla 19

Contenido de humedad natural en tres calicatas

Muestra	Contenido de humedad			
	C-01	C-02	C-03	Promedio
Suelo natural	9.57%	8.35%	5.31%	7.74%

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 19 se presentan los resultados del contenido de agua natural de la subrasante en tres calicatas, observamos que la calicata 1 presenta una humedad de 9.57%, la calicata 2 tiene una humedad de 8.35% y la calicata 3 presenta una humedad de 5.31% teniendo un promedio de 7.74%.

Tabla 20

Resultados de los límites de consistencia en la calicata 1

Muestra	Calicata 01			Variación IP (%)
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
Suelo natural	82.40	28.70	53.80	0.00
3%PVR	79.80	28.00	51.80	-3.72
6%PVR	76.40	27.74	48.66	-9.55
9%PVR	74.12	27.53	46.59	-13.40
12%PVR	73.48	27.35	46.13	-14.26

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 20 se presentan los resultados de límites de consistencia realizados mediante la normativa ASTM D 4318, en donde observamos que para la calicata 1 la plasticidad va disminuyendo a medida se le adicionan porcentajes

ascendentes de polvo de vidrio reciclado, hasta un 14.26% respecto al suelo natural, la cual es la adición más óptima que redujo mucho más la plasticidad del suelo natural, sin embargo, no llegó a la plasticidad requerida para un material de subrasante.

Tabla 21

Resultados de los límites de consistencia en la calicata 2

Muestra	Calicata 02			Variación IP (%)
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
Suelo natural	69.60	30.40	39.30	0.00
3%PVR	68.60	29.60	39.00	-0.76
6%PVR	66.59	28.54	38.04	-3.21
9%PVR	66.40	28.47	37.93	-3.49
12%PVR	65.38	27.89	37.40	-4.83

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 21 se presentan los resultados de límites de consistencia realizados mediante la normativa ASTM D 4318, en donde observamos que para la calicata 2 la plasticidad va disminuyendo a medida se le adicionan porcentajes ascendentes de polvo de vidrio reciclado, hasta un 4.83% respecto al suelo natural, la cual es la adición más óptima que redujo mucho más la plasticidad del suelo natural, sin embargo, no llegó a la plasticidad requerida para un material de subrasante.

Tabla 22

Resultados de los límites de consistencia en la calicata 3

Muestra	Calicata 03			Variación IP (%)
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
Suelo natural	34.20	15.70	18.50	0.00
3%PVR	33.20	15.20	18.00	-2.70
6%PVR	31.90	14.72	17.18	-7.14
9%PVR	29.61	14.19	15.42	-16.65
12%PVR	29.44	14.13	15.31	-17.24

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 22 se presentan los resultados de límites de consistencia realizados mediante la normativa ASTM D 4318, en donde observamos que para la calicata 3 la plasticidad va disminuyendo a medida se le adicionan porcentajes ascendentes de polvo de vidrio reciclado, hasta un 17.24% respecto al suelo natural, la cual es la adición más óptima que redujo mucho más la plasticidad del suelo natural, sin embargo, no llegó a la plasticidad requerida para un material de subrasante.

Tabla 23

Índice de plasticidad a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado

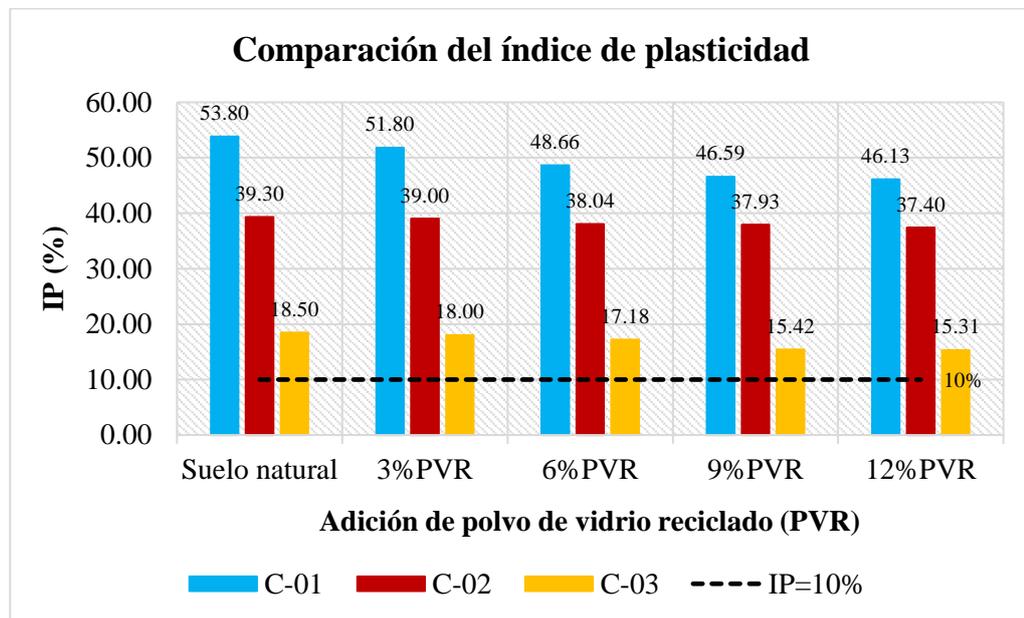
Muestra	Índice de plasticidad (%)				
	C-01	C-02	C-03	Promedio	Variación
Suelo natural	53.80	39.30	18.50	37.20	0.00
3%PVR	51.80	39.00	18.00	36.27	-2.51
6%PVR	48.66	38.04	17.18	34.63	-6.92
9%PVR	46.59	37.93	15.42	33.31	-10.45
12%PVR	46.13	37.40	15.31	32.95	-11.43

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 23 se muestra la variación del índice de plasticidad promedio, el suelo natural presenta una IP de 37.20%, considerada una plasticidad alta característica de suelos muy arcillosos, al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la plasticidad tuvo una variación de 2.51%, 6.92%, 10.45% y 11.43% respecto al suelo natural, con la incorporación óptima del 12% el IP resultante fue de 32.95% considerada una alta plasticidad.

Figura 20

Variación del índice de plasticidad



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la figura 20 se observa la comparación del IP adicionando diversos porcentajes de polvo de vidrio reciclado para las tres calicatas analizadas, en cada calicata el comportamiento de la plasticidad va disminuyendo a medida se incorporan porcentajes ascendentes de polvo de vidrio, es decir que si hubo influencia positiva al incorporar PVR.

4.1.2. Propiedades mecánicas de la subrasante

Mediante pruebas de laboratorio a la muestra de suelo extraída de la subrasante se determinaron las características mecánicas en estado natural y adicionando a la muestra de suelo porcentajes de polvo de vidrio reciclado, con la finalidad de mejorar las características malas que no cumplen con los requisitos máximos y mínimos establecidos en el manual de carreteras para ser un material apto para una subrasante.

Tabla 24

Densidad máxima seca a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado

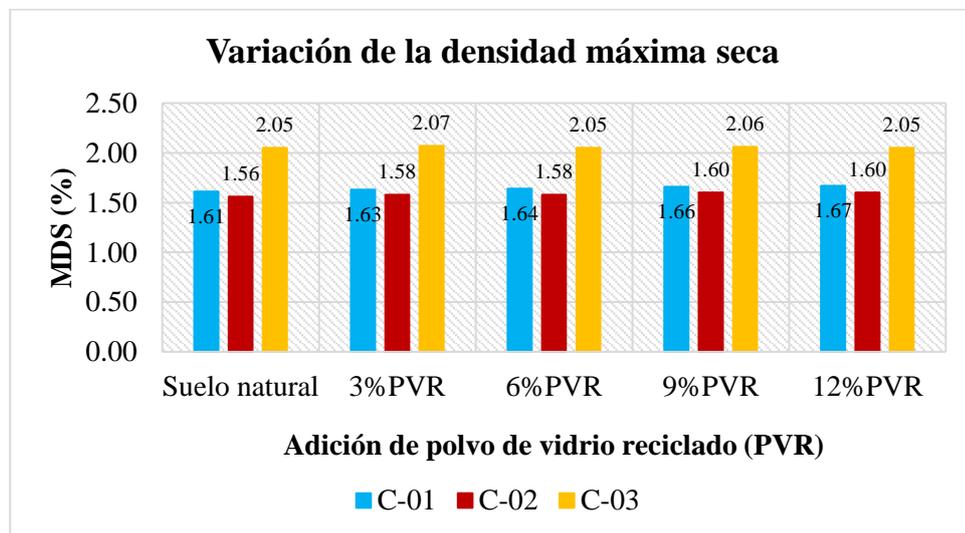
Muestra	Densidad Máxima seca (gr/cm ³)				
	C-01	C-02	C-03	Promedio	Variación
Suelo natural	1.61	1.56	2.05	1.74	0.00
3%PVR	1.63	1.58	2.07	1.76	1.15
6%PVR	1.64	1.58	2.05	1.76	1.15
9%PVR	1.66	1.60	2.06	1.77	1.92
12%PVR	1.67	1.60	2.05	1.77	1.92

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 24 se muestran los resultados de la densidad máxima seca promedio, el suelo natural presenta una MDS de 1.74 gr/cm³, al incorporar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la densidad tuvo una variación de 1.15%, 1.15%, 1.92% y 1.92% de acuerdo al suelo natural.

Figura 21

Variación de la densidad máximas seca



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la figura 21 se muestra la variación de la MDS promedio por cada calicata, en la calicata 1 observamos un incremento de densidad a medida se adicionaron porcentajes de polvo de vidrio reciclado, en la calicata 2 también se

visualiza un incremento de la densidad y en la calicata 3 tenemos un incremento y una mayor densidad seca respecto a las demás calicatas mencionadas.

Tabla 25

Contenido de humedad óptimo a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado

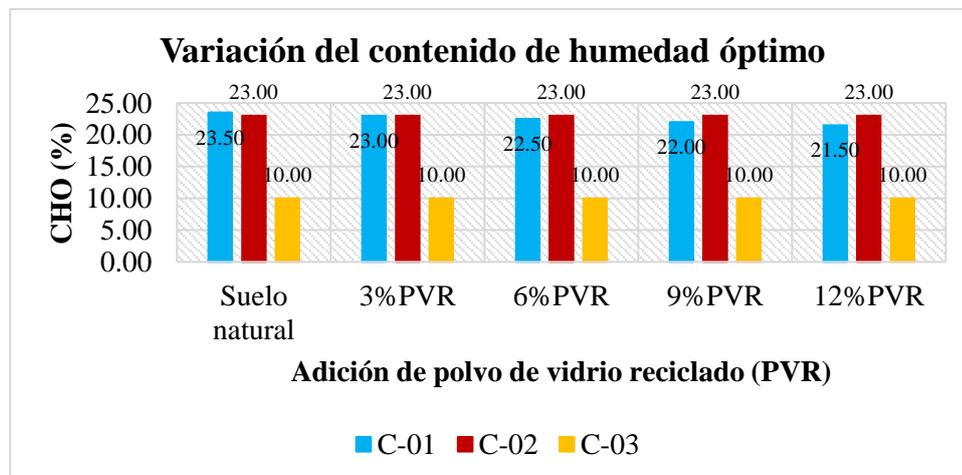
Muestra	Contenido de humedad óptima (%)				
	C-01	C-02	C-03	Promedio	Variación
Suelo natural	23.50	23.00	10.00	18.83	0.00
3%PVR	23.00	23.00	10.00	18.67	-0.88
6%PVR	22.50	23.00	10.00	18.50	-1.77
9%PVR	22.00	23.00	10.00	18.33	-2.65
12%PVR	21.50	23.00	10.00	18.17	-3.54

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 25 se muestran los resultados de contenido de humedad óptima promedio, el suelo natural presenta una CHO de 18.83%, al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la densidad tuvo una variación de -0.88%, -1.77%, -2.65% y -3.54% de acuerdo al suelo natural.

Figura 22

Variación del contenido de humedad óptimo



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la figura 22 se muestra la variación del contenido de humedad óptimo promedio por cada calicata, en la calicata 1 observamos una disminución de humedad a medida se adicionaron porcentajes de polvo de vidrio reciclado, en la calicata 2 y calicata 3 no se observó una influencia al adicionar polvo de vidrio.

Tabla 26

CBR al 95% a diferentes adiciones de polvo de vidrio reciclado

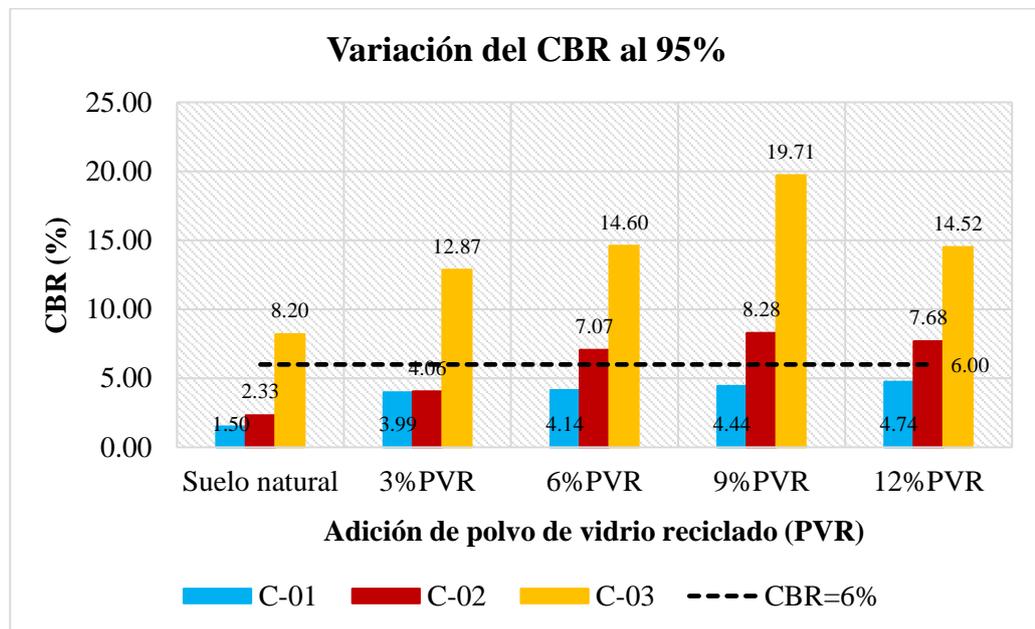
Muestra	CBR al 95% (%)				
	C-01	C-02	C-03	Promedio	Variación
Suelo natural	1.50	2.33	8.20	4.01	0.00
3%PVR	3.99	4.06	12.87	6.97	73.90
6%PVR	4.14	7.07	14.60	8.60	114.55
9%PVR	4.44	8.28	19.71	10.81	169.58
12%PVR	4.74	7.68	14.52	8.98	123.94

Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la tabla 26 se muestran los resultados de capacidad de soporte al 95% de la MDS promedio, el suelo natural presenta un CBR de 4.01%, según el manual de carreteras presenta una subrasante insuficiente, al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado el CBR al 95% tuvo una variación de 73.90%, 114.55%, 169.58% y 123.94% respecto al suelo natural.

Figura 23

Variación de la capacidad de soporte al 95%



Nota: Datos resultantes de laboratorio.

En la figura 23 se muestra la variación de la capacidad de soporte al 95% adicionando diversos porcentajes de polvo de vidrio reciclado en las tres calicatas analizadas, el manual de carreteras indica que un 6% de CBR es apta para ser considerada un material para una subrasante, sin embargo, el suelo natural está por debajo de lo mencionado en la calicata 1 no se logró mejorar el CBR, en la calicata 2 se logró superar el CBR mencionado con la adición del 6%, 9% y 12%, teniendo una mejor capacidad de soporte con la adición del 9%, la calicata 3 desde el suelo natural hasta las demás adiciones superaron lo establecido por la norma, teniendo como mejor dosificación la adición del 9% de PVR.

4.1.2.1. Análisis de costos unitarios

Datos Preliminares:

Densidad máxima seca de la muestra de suelo =2.05 gr/cc



Muestra de suelo = 5000 gr

Polvo de vidrio= 9.0 %

Agua = 10.0 %

- Peso de muestra de suelo = 5000 gr.....(1)
- Peso de polvo de vidrio = 9%(4500gr) = 405 gr.....(2)
- Peso del agua = 10.0%(5000gr) = 500 gr.....(3)

Añadiendo 1, 2 y 3 tenemos el peso bruto en 4900 gr de la muestra de suelo

Peso bruto = 5000 gr + 405 gr + 500 gr

Peso bruto = 5905 gr

Ahora calculamos el peso bruto para 1000 gr del peso total de material de nuestra subrasante

Material	Material propio
5905 gr _____	5000gr
1000 gr _____	X

X (Material propio) = 846.74 gr

Para el polvo de vidrio

5905 gr _____	405 gr
1000 gr _____	Y

Y (polvo de vidrio) = 68.59 gr

Para el Agua



$$5905 \text{ gr} \text{-----} 500\text{gr}$$

$$1000 \text{ gr} \text{-----} Z$$

$$Z(\text{agua}) = 84.67 \text{ gr}$$

Entonces para 1000 gr o su equivalente 1Kg de peso total se requiere

- Material propio = 846.74 gr
- Polvo de vidrio = 68.59 gr
- Agua = 84.67 gr

Calcularemos ahora por metro cubico

- Material propio = $\frac{846.74 \text{ gr}}{2.05 \text{ gr/cm}^3} = 413.04 \text{ cm}^3$
- Polvo de vidrio = $\frac{68.59 \text{ gr}}{2.5 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 27.44 \text{ cm}^3$
- Agua = $\frac{84.67 \text{ gr}}{1.0 \text{ gr/cm}^3} = 84.67 \text{ cm}^3$

Entonces nuestro volumen total de los tres componentes es:

$$\text{Volumen total} = 413.04 \text{ cm}^3 + 27.44 \text{ cm}^3 + 84.67 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 525.15 \text{ cm}^3$$

Calculamos por metro cubico para cada componente:

Material propio	Material propio
413.04 cm ³	525.15 cm ³
X'	1 m ³

$$X' (\text{Material propio}) = 0.7865 \text{ m}^3$$



Para el polvo de vidrio

$$27.44 \text{ cm}^3 \text{ _____ } 525.15 \text{ cm}^3$$

$$Y' \text{ _____ } 1 \text{ m}^3$$

$$Y' (\text{polvo de vidrio}) = 0.052 \text{ m}^3$$

Para el Agua

$$84.67 \text{ cm}^3 \text{ _____ } 525.15 \text{ cm}^3$$

$$Z' \text{ _____ } 1 \text{ m}^3$$

$$Z'(\text{agua}) = 0.1612 \text{ m}^3$$

Para el análisis de costo unitario de los elementos, material de subrasante y el agua serán expresados en m^3 y el polvo de vidrio estará expresado en Kg. Tal como se muestra

Polvo de vidrio

$$2.5 \text{ gr} \text{ _____ } 1 \text{ cm}^3$$

$$W \text{ gr} \text{ _____ } 0.052 \text{ m}^3$$

$$W (\text{polvo de vidrio}) = 130 \text{ Kg}$$

Entonces nuestra dosificación por 1 m^3

- Material propio 0.7865 m^3
- Polvo de vidrio 130 Kg
- Agua 0.1612 m^3

El desperdicio de los componentes será de 0.7% (Cámara Peruana de la Construcción)



- Material propio = $0.7865 \text{ m}^3 * 1.07 = 0.842 \text{ m}^3$
- Polvo de vidrio = $130 \text{ Kg} * 1.07 = 139.1 \text{ Kg}$
- Agua = $0.1612 * 1.07 = 0.172 \text{ m}^3$

Finalmente realizaremos el análisis de costo unitario para la subrasante con un espesor de 0.60 m (según MTC-2014) para 1 m²

Volumen = $0.60 * 1.00 * 1.00 = 0.60 \text{ m}^3$, Entonces la cantidad por m²:

- Material propio = $0.842 \text{ m}^3 * 0.60 \text{ m}^2 = 0.5052 \text{ m}^3 \text{ por m}^2$
- Polvo de vidrio = $139.1 \text{ Kg} * 0.60 \text{ m}^2 = 83.46 \text{ Kg por m}^2$
- Agua = $0.172 \text{ m}^3 * 0.60 \text{ m}^2 = 0.1032 \text{ m}^3 \text{ por m}^2$

Para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en la vía Huancané – Ojeria del distrito de Huancané se utilizó el polvo de vidrio generado de los envases de vidrio reciclado, pasando por un proceso de trituración constante, por lo cual se presenta un análisis de costos detallados en las siguientes tablas.

Tabla 27

Costo directo para el reciclaje de vidrio

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Mano de obra				0.97
Peón	HH	0.0667	14.57	0.97
Materiales				0.00
Equipos				0.03
Herramientas manuales	%	0.0300	1.17	0.03
Costo directo				1.00

Nota: Autoría propia.



Tabla 28

Costo directo para el transporte de polvo de vidrio

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Mano de obra				0.08
Peón	HH	0.0056	14.57	0.08
Materiales				4.61
Camión volquete	HM	0.0112	198.26	2.22
Cargador Frontal	HM	0.0112	213.41	2.39
Equipos				0.00
Herramientas Manuales	%	0.0300	0.08	0.00
Costo directo				4.69

Nota: Autoría propia.

Tabla 29

Costo directo de extendido, riego y compactación de material con aditivo polvo de vidrio

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Mano de obra				0.52
Oficial	HH	0.0050	16.20	0.08
Peón	HH	0.0300	14.57	0.44
Materiales				92.98
Agua	M3	0.1032	1.50	0.15
Material propio	M3	0.5052	0.00	0.00
Polvo de vidrio	M3	83.4600	1.11	92.64
Equipos				3.20
Herramientas manuales	% MO	0.0300	0.52	0.02
Rodillo liso vibratorio autopulsado 7 * 9 tn	HM	0.0050	150.00	0.75
Motoniveladora 130-135 hp	HM	0.0050	200.60	1.00
Tractor de orugas	HM	0.0025	290.00	0.73
Camión cisterna (2000 glns)	HM	0.0050	140.00	0.70
Costo directo				96.52

Nota: Autoría propia.

Tabla 30*Costo directo de limpieza de terreno*

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Mano de obra				830.18
Operario	HH	10.6667	19.55	208.53
Peón	HH	42.6667	14.57	621.65
Materiales				0.00
Equipos				41.51
Herramientas manuales	HM	8.0000	85.00	41.51
Costo directo				871.69

Nota: Autoría propia.

Tabla 31*Costo directo del trazo, nivelación y replanteo*

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Mano de obra				752.24
Operario Topógrafo	HH	8.0000	19.55	156.40
Ayudante de Topografía	HH	8.0000	16.20	129.60
Peón	HH	32.0000	14.57	466.24
Materiales				77.12
Clavos para madera cc de 1 ½"	KG	5.0000	6.00	30.00
Estacas de madera	UND	8.0000	5.00	40.00
Pintura esmalte	GAL	0.2000	35.60	7.12
Equipos				206.57
Nivel	HM	8.0000	8.00	64.00
Teodolito	HM	8.0000	15.00	120.00
Herramientas Manuales	%	0.0300	752.24	22.57
Costo directo				1035.93

Nota: Autoría propia.

Se muestran el análisis de costo unitario por cada partida en la estabilización de la vía Huancané – Ojeria. En la tabla 27 el costo directo para la partida de reciclaje del vidrio es de s/. 1.00, en la tabla 28 el costo directo para la partida de transporte de polvo de vidrio es de s/. 4.69, en la tabla 29 el costo directo para la partida de extendido, riego y compactación de material con aditivo polvo de vidrio es de s/. 96.52, en la tabla 30 el

costo directo para la partida de limpieza de terreno es de s/. 871.69, finalmente en la tabla 31 se muestra el costo directo de la partida trazo, nivelación y replanteo es de s/. 1035.93.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

HE1: La dosificación de polvo de vidrio reciclado influye en la mejora de las propiedades de índice de plasticidad en la subrasante para la vía.

4.2.1. Prueba de normalidad para el índice de plasticidad

H₀: Los datos de plasticidad presentan una normal distribución

H_a: Los datos de plasticidad no presentan una normal distribución

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$

Para la cantidad de nuestros datos que son menores a 50 utilizaremos la prueba estadística de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 32

Prueba de normalidad para los datos de índice de plasticidad

	Adición de polvo de vidrio reciclado	Shapiro-Wilk	
		Estadístico	gl Sig.
Índice de plasticidad	Suelo natural	0.989	3 0.804
	3% PVR	0.981	3 0.734
	6% PVR	0.966	3 0.645
	9% PVR	0.938	3 0.520
	12% PVR	0.941	3 0.532

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

La regla de decisión es la siguiente: Sig. Calculada < a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada $>$ a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

Las significancias calculadas de los valores de índice de plasticidad son mayores a la significancia establecida de 0.05 por lo que aceptaremos la hipótesis estadística nula en donde indica que los valores presentan una distribución normal, es decir que se utilizará una prueba estadística paramétrica, por la variedad de nuestros grupos utilizaremos el ANOVA de un factor para conocer la influencia del polvo de vidrio en la plasticidad del suelo.

4.2.2. Prueba de ANOVA de un factor para el índice de plasticidad

H₀: Las medias de los grupos de plasticidad son iguales

H_a: Por lo menos una de las medias de los grupos de plasticidad es diferente

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$

Tabla 33

Prueba de ANOVA para los datos de índice de plasticidad

ANOVA					
Índice de plasticidad					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	40.684	4	10.171	0.037	0.997
Dentro de grupos	2747.497	10	274.750		
Total	2788.181	14			

Nota. Datos resultantes del software SPSS.

Tabla 34

Prueba post hoc de Tukey para el índice de plasticidad

(I) Adición de polvo de vidrio reciclado	(J) Adición de polvo de vidrio reciclado	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	3% PVR	0.93333	1.000
	6% PVR	2.57333	1.000
	9% PVR	3.88667	0.998
	12% PVR	4.25333	0.998
3% PVR	Suelo natural	-0.93333	1.000
	6% PVR	1.64000	1.000
	9% PVR	2.95333	0.999
	12% PVR	3.32000	0.999
6% PVR	Suelo natural	-2.57333	1.000
	3% PVR	-1.64000	1.000
	9% PVR	1.31333	1.000
	12% PVR	1.68000	1.000
9% PVR	Suelo natural	-3.88667	0.998
	3% PVR	-2.95333	0.999
	6% PVR	-1.31333	1.000
	12% PVR	0.36667	1.000
12% PVR	Suelo natural	-4.25333	0.998
	3% PVR	-3.32000	0.999
	6% PVR	-1.68000	1.000
	9% PVR	-0.36667	1.000

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

La regla de decisión es la siguiente:

Sig. Calculada < a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada > a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

En la tabla 33 se muestran los resultados de la prueba de ANOVA, en donde el p-valor es de 0.997 el cual es mayor a la significancia, por lo que rechazaremos la hipótesis alterna y por consiguiente aceptamos la hipótesis nula



donde indica una igualdad de medias, sin embargo, existe una ligera diferencia de medias por lo que el software SPSS no considera.

En la tabla 34 se muestran la diferencia de medias no mencionado en la tabla anterior, asumiendo que las medias son diferentes se observa que con la adición del 12% de polvo de vidrio reciclado se tiene una diferencia de medias de 4.253, el cual es mucho mayor al resto de adiciones, es decir que la dosificación óptima es del 12% ya que con esta adición se logró una mejor diferencia de medias respecto al suelo natural, reduciendo considerablemente la plasticidad del suelo.

HE2: La dosificación de polvo de vidrio reciclado influye en la mejora de las propiedades de densidad seca máxima y capacidad portante en la subrasante de la vía.

4.2.3. Prueba de normalidad para la máxima densidad seca

H₀: Los datos de densidad presentan una normal distribución

H_a: Los datos de densidad no presentan una normal distribución

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$

Para la cantidad de nuestros datos que son menores a 50 utilizaremos la prueba estadística de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 35*Prueba de normalidad para los datos de máxima densidad seca*

	Adición de polvo de vidrio reciclado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Máxima densidad seca	Suelo natural	0.826	3	0.177
	3% PVR	0.826	3	0.177
	6% PVR	0.844	3	0.225
	9% PVR	0.846	3	0.230
	12% PVR	0.863	3	0.277

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

La regla de decisión es la siguiente:

Sig. Calculada $<$ a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada $>$ a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

Las significancias calculadas de los valores de máxima densidad seca son mayores a la significancia establecida de 0.05 por lo que aceptaremos la hipótesis estadística nula en donde indica que los valores presentan una distribución normal, es decir que se usará una prueba estadística paramétrica, por la variedad de nuestros grupos utilizaremos el ANOVA de un factor para conocer la influencia del polvo de vidrio en la densidad del suelo.

4.2.4. Prueba de ANOVA de un factor para la máxima densidad seca

H₀: Las medias de los grupos de densidad son iguales

H_a: Por lo menos una de las medias de los grupos de densidad es diferente

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$

Tabla 36

Prueba de ANOVA para los datos de máxima densidad seca

ANOVA					
Máxima densidad seca					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.002	4	0.001	0.009	1.000
Dentro de grupos	0.664	10	0.066		
Total	0.666	14			

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

Tabla 37

Prueba de post hoc de Tukey para la máxima densidad seca

(I) Adición de polvo de vidrio reciclado	(J) Adición de polvo de vidrio reciclado	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	3% PVR	-0.02000	1.000
	6% PVR	-0.01667	1.000
	9% PVR	-0.03333	1.000
	12% PVR	-0.03333	1.000
3% PVR	Suelo natural	0.02000	1.000
	6% PVR	0.00333	1.000
	9% PVR	-0.01333	1.000
	12% PVR	-0.01333	1.000
6% PVR	Suelo natural	0.01667	1.000
	3% PVR	-0.00333	1.000
	9% PVR	-0.01667	1.000
	12% PVR	-0.01667	1.000
9% PVR	Suelo natural	0.03333	1.000
	3% PVR	0.01333	1.000
	6% PVR	0.01667	1.000
	12% PVR	0.00000	1.000
12% PVR	Suelo natural	0.03333	1.000
	3% PVR	0.01333	1.000
	6% PVR	0.01667	1.000
	9% PVR	0.00000	1.000

Nota: Datos resultantes del software SPSS.



La regla de decisión es la siguiente:

Sig. Calculada $<$ a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada $>$ a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

En la tabla 36 se muestran los resultados de la prueba de ANOVA, en donde el p-valor es de 1.000 el cual es mayor a la significancia, por lo que rechazaremos la hipótesis alterna y por consiguiente aceptamos la hipótesis nula donde indica una igualdad de medias, sin embargo, existe una ligera diferencia de medias por lo que el software SPSS no considera.

En la tabla 37 se muestran la diferencia de medias no mencionado en la tabla anterior, asumiendo que las medias son diferentes se observa que con la adición del 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado se tiene una diferencia de medias de -0.0333, el cual es mucho mayor al resto de las incorporaciones, es decir que la dosificación óptima es del 9% y 12% ya que con esta adición se logró una mejor diferencia de medias respecto al suelo natural, incrementando mínimamente la densidad del suelo.

4.2.5. Prueba de normalidad para la capacidad de soporte

H₀: Los datos de CBR al 95% presentan una normal distribución

H_a: Los datos de CBR al 95% no presentan una normal distribución

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$



Para la cantidad de nuestros datos que son menores a 50 utilizaremos la prueba estadística de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 38

Prueba de normalidad para los datos de CBR al 95%

	Adición de polvo de vidrio reciclado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Capacidad de soporte al 95%	Suelo natural	0.841	3	0.217
	3% PVR	0.756	3	0.013
	6% PVR	0.939	3	0.525
	9% PVR	0.924	3	0.466
	12% PVR	0.950	3	0.568

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

La regla de decisión es la siguiente:

Sig. Calculada $<$ a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada $>$ a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

Las significancias calculadas de los valores de capacidad de soporte son mayores a la significancia establecida de 0.05 por lo que aceptaremos la hipótesis estadística nula en donde indica que los valores presentan una distribución normal, es decir que se usará una prueba estadística paramétrica, por la variedad de nuestros grupos utilizaremos el ANOVA de un factor para conocer la influencia del polvo de vidrio en el CBR al 95% del suelo.

4.2.6. Prueba de ANOVA de un factor para la capacidad de soporte

H₀: Las medias de los grupos de CBR al 95% son iguales

H_a: Por lo menos una de las medias de los grupos de CBR al 95% es diferente

Nivel de confianza = 95%

Significancia (error) $\alpha = 0.05$

Tabla 39

Prueba de ANOVA para los datos de CBR al 95%

ANOVA					
Capacidad de soporte al 95%					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	78.351	4	19.588	0.625	0.656
Dentro de grupos	313.617	10	31.362		
Total	391.967	14			

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

Tabla 40

Prueba de post hoc de Tukey para el CBR al 95%

(I) Adición de polvo de vidrio reciclado	(J) Adición de polvo de vidrio reciclado	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	3% PVR	-2.96333	0.963
	6% PVR	-4.59333	0.848
	9% PVR	-6.80000	0.592
	12% PVR	-4.97000	0.809
3% PVR	Suelo natural	2.96333	0.963
	6% PVR	-1.63000	0.996
	9% PVR	-3.83667	0.912
	12% PVR	-2.00667	0.991
6% PVR	Suelo natural	4.59333	0.848
	3% PVR	1.63000	0.996
	9% PVR	-2.20667	0.987
9% PVR	12% PVR	-0.37667	1.000
	Suelo natural	6.80000	0.592
	3% PVR	3.83667	0.912



(I) Adición de polvo de vidrio reciclado	(J) Adición de polvo de vidrio reciclado	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
	6% PVR	2.20667	0.987
	12% PVR	1.83000	0.994
12% PVR	Suelo natural	4.97000	0.809
	3% PVR	2.00667	0.991
12% PVR	6% PVR	0.37667	1.000
	9% PVR	-1.83000	0.994

Nota: Datos resultantes del software SPSS.

La regla de decisión es la siguiente:

Sig. Calculada $<$ a 0.05, aceptamos la hipótesis alterna

Sig. Calculada $>$ a 0.05, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la nula

Conclusión

En la tabla 39 se muestran los resultados de la prueba de ANOVA, en donde el p-valor es de 0.656 el cual es mayor a la significancia, por lo que rechazaremos la hipótesis alterna y por consiguiente aceptamos la hipótesis nula donde indica una igualdad de medias, sin embargo, existe una ligera diferencia de medias por lo que el software SPSS no considera.

En la tabla 40 se muestran la diferencia de medias no mencionado en la tabla anterior, asumiendo que las medias son diferentes se observa que con la adición del 9% de polvo de vidrio reciclado se tiene una diferencia de medias de -6.800, el cual es mucho mayor al resto de incorporación, es decir que la dosificación óptima es del 9% ya que con esta adición se logró una mejor diferencia de medias respecto al suelo natural, incrementando considerablemente la capacidad de soporte del suelo.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

OE1: Determinar la influencia de la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de índice de plasticidad en la subrasante para la vía.

Según, Jalal et al. (2022) en su investigación los resultados revelaron que la plasticidad se redujo en casi un 80% con la adición del 16% de polvo de vidrio de cal soldada. Asimismo, Al-Taie et al. (2023) en sus resultados se determinó que el óptimo contenido de vidrio reciclado fue de 25% que redujo en un 80% el potencial de expansión de la subrasante expansiva, también, Pajuelo y Rivera (2022) al adicionar 20% de polvo de vidrio reciclado en el suelo la plasticidad logró disminuir de 11.33% a 4.53% del suelo. Rodríguez (2021) en su investigación con adiciones de 4%, 7% y 10% de vidrio triturado el índice de plasticidad del suelo natural fue del 16%, con las adiciones fueron 13%, 12% y 11%. Espinoza & Santimperi (2021) en sus resultados de índice de plasticidad de la muestra natural fue de 13.33% con las adiciones de 4%, 6%, 8% de vidrio reciclado fueron 12.40%, 11.40% y 10.07%. Goñas & Saldaña (2020) en su investigación los resultados obtenidos para las adiciones de 15%, 20% y 25% de cenizas de carbón en el índice de plasticidad para el suelo natural de la fue de 24%, con las adiciones fueron 21%, 19% y 16%, finalmente Luan & Vargas (2024) en sus resultados al adicionar 0%, 2%, 3% y 4% de cloruro de calcio para el índice de plasticidad fueron 3.44%, 2.90%, 4.58% y 8.69%.

En nuestra investigación al analizar la plasticidad del suelo en tres calicatas el índice promedio del suelo natural fue de 37.20%, al incorporar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la plasticidad fue de 36.27%, 34.63%, 33.31% y 32.95%, teniendo una reducción considerable respecto al suelo natural, similar a los resultados



adquiridos por los autores mencionados anteriormente que muestran una reducción de plasticidad con la incorporación de vidrio y demás estabilizantes en un suelo expansivo.

OE2: Determinar la influencia de la dosificación del polvo de vidrio reciclado en las propiedades de densidad seca máxima y capacidad portante en la subrasante de la vía.

Jalal et al. (2022) en su investigación mediante la utilización de polvo de vidrio, los resultados revelaron que la máxima densidad incrementó de 18,25 a 19,16 kN/m³. Bilgen (2020) en su investigación al adicionar vidrio como aditivo en suelos arcillosos, tuvo como resultado un CBR de 7% en su estado natural, la cual incrementó a 35% con la dosificación de 25% de vidrio. Asimismo, Diaz y Leon (2021) en sus resultados con la incorporación de vidrio en polvo se obtuvo que el CBR al 95% de 50.8% con la incorporación del 10%. También, Haro (2021) sus resultados de suelo natural el CBR al 100% fue de 30.00%, con la adición al 6% fue 33.80% incrementando su capacidad de soporte. Noel (2022) al implementar vidrio en polvo para la estabilización de suelos el ensayo de CBR en el suelo natural fue de 59.7%, con la adición de vidrio reciclado fue de 63.3%. Rodríguez (2021) en su investigación con adiciones de 4%, 7% y 10% de vidrio triturado la densidad máxima seca del suelo natural fue de 1.977 g/cm³, con las adiciones fueron 1.926 gr/cm³, 1.920 gr/cm³ y 1.929 gr/cm³, el CBR al 95% del suelo natural fue del 2.35%, con las adiciones fueron 6.10%, 11.50% y 8.20%. Espinoza & Santimperi (2021) en sus resultados con las adiciones de 4%, 6%, 8% de vidrio reciclado para la máxima densidad seca fueron 1.909 gr/cm³, 1.914 gr/cm³ y 1.897 gr/cm³, en cuanto al CBR al 95%, se alcanzaron valores de 8.4%, 9.1% y 8.9%. Ñamot (2022) en esta investigación empleando porcentajes del polvo de mármol de 5%, 10%, 15%, 20% los resultados de MDS fue de 1.87 gr/cm³ para la muestra natural y 1.95 gr/cm³, 2.03 gr/cm³, 2.11 gr/cm³, 1.94 gr/cm³ con las adiciones, para el ensayo de CBR al 95% fue de 7.82% para la muestra natural y 8.52%, 9.63%, 11.36%, 9.13% con las adiciones. Garcia &



Morales (2021) en su investigación los resultados demuestran que la densidad seca máxima del suelo natural fue de $1537,2 \text{ kg/cm}^3$, adicionando 5,5 % de cal, 4,5 % de cal + 1,0 % de CHP, 3,0 % de cal + 2,5 % de CHP, 1,5 % de cal + 4,0 % de CHP o 5,5 % de CHP fueron $1471,5 \text{ gr/cm}^3$, $1509,3 \text{ gr/cm}^3$, $1434,6 \text{ gr/cm}^3$, $1494,0 \text{ gr/cm}^3$ y $1503,0 \text{ gr/cm}^3$, para el CBR del suelo natural fue de 0,83% con las adiciones fueron 6,20%, 10,30%, 7,20%, 3,70% y 0,38%. Goñas & Saldaña (2020) en su investigación los resultados obtenidos para las adiciones de 15%, 20% y 25% de cenizas de carbón la densidad seca máxima fue de 1.449 gr/cm^3 para el suelo natural, con las adiciones fueron 1.457 gr/cm^3 , 1.494 gr/cm^3 , 1.551 gr/cm^3 , para el ensayo de CBR fueron 2.1% 2.3%, 2.9%, 3.5%. finalmente, Chávez (2024) en su investigación al adicionar 0%, 15%, 20% y 25% de ceniza de carbón los resultados para el ensayo de MDS tenemos 1.878 g/cm^3 , 1.694 g/cm^3 , 1.630 g/cm^3 , 1.581 g/cm^3 para la prueba de CBR al 95% fueron 12.9%, 36.1%, 31.3%, 24.4%.

En nuestros resultados el suelo natural tuvo una máxima densidad seca promedio de 1.74 gr/cm^3 , al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la MDS fue de 1.76 gr/cm^3 , 1.76 gr/cm^3 , 1.77 gr/cm^3 y 1.77 gr/cm^3 respectivamente y para la capacidad de soporte CBR al 95% del suelo natural fue de 4.01% con las adiciones fueron 6.97%, 8.6%, 10.81% y 8.98% similar a los autores mencionados anteriormente que presentan un incremento considerable en la densidad y la capacidad de soporte a medida se adicionan porcentajes ascendentes de vidrio en diversas condiciones y de otros estabilizantes.

OE3: Establecer el porcentaje de dosificación óptima de polvo de vidrio reciclado que debe adicionarse a la subrasante para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la vía.



Según, Haro (2021) con la adición del 6% de vidrio reciclado mejora las cualidades mecánicas del suelo siendo el más recomendado, asimismo Rodríguez (2021) en sus resultados la dosificación óptima fue del 10% de vidrio triturado. Espinoza & Santimperi (2021) tuvo una dosificación óptima de 8% de vidrio reciclado. Ñamot (2022) tuvo una dosificación óptima de 15% de polvo de mármol. Garcia & Morales (2021) presentó una óptima dosificación de 4.5 % de cal y 1 % de CHP que mostró el rendimiento más favorable. Goñas & Saldaña (2020) presento una óptima dosificación del 25% de ceniza de carbón. Chávez (2024) presentó una dosificación óptima de 15% de ceniza de carbón. Mamani et al., (2023) en su investigación con la adición de 9% de ceniza de quinua y 5% de cal al suelo genera mejoras en sus propiedades, gracias al incremento en la máxima densidad seca y de la capacidad de soporte CBR.

En nuestros resultados con la incorporación del 12% de polvo de vidrio reciclado la plasticidad del suelo de subrasante disminuye y con la incorporación del 9% de polvo de vidrio reciclado la MDS y la capacidad de soporte incremento en gran medida respecto al suelo natural, los porcentajes se encuentran dentro del rango de los autores mencionado las cuales presentan dosificaciones óptimas dentro de 6% y 25%.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Se verifico que existe una influencia de forma positiva al adicionar polvo de vidrio reciclado mejorando en cierta medida las propiedades en el suelo de subrasante de la vía Huancané-Ojería,

SEGUNDA: Al adicionar polvo de vidrio reciclado en el suelo de subrasante se logró realizar pruebas de laboratorio para determinar los límites de consistencia, concluyendo que el suelo natural tuvo una plasticidad de 37.20% al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la plasticidad tuvo una variación de 2.51%, 6.92%, 10.45% y 11.43% respecto al suelo natural, teniendo una reducción constante de plasticidad a medida se adicionaron porcentajes ascendentes de vidrio, observando una influencia significativa del vidrio en la plasticidad de la subrasante.

TERCERA: Con la incorporación del polvo de vidrio reciclado en el suelo de subrasante se logró realizar pruebas de laboratorio para determinar la máxima densidad seca y la capacidad de soporte al 95%, concluyendo que el suelo natural tuvo una densidad de 1.74gr/cm³, al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado la densidad estuvo incrementando en proporciones mínimas teniendo una variación de 1.15%, 1.15%, 1.92% y 1.92% respecto al suelo natural, teniendo una influencia mínima del vidrio en la densidad del suelo de subrasante. El CBR al 95% para el suelo natural fue de 4.01% estando por debajo del mínimo requerido por la norma para conformar una subrasante, al adicionar 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio en el material se tuvo un incremento constante de CBR llegando a variar en un 73.90%, 114.55%, 169.58% y 123.94%, sin embargo el



incremento constante fue hasta la dosificación del 9%, con la adición del 12% la resistencia del suelo disminuyó sin estar por debajo del suelo natural, por lo que observamos una influencia significativa del vidrio en el suelo.

CUARTA: Una vez se realizaron diversas pruebas de laboratorio tenemos las características tanto físicas como mecánicas de un suelo de subrasante, las cuales presentan comportamientos favorables en todas las adiciones, sin embargo, se concluye que para el índice de plasticidad la adición del 12% fue la que más influencia tuvo al reducir la plasticidad mucho más que el resto de adiciones, considerándose la dosificación óptima, en cuanto al CBR el porcentaje de 9% fue la que más aumentó la capacidad de soporte del material de suelo, considerándose la dosificación óptima que mejoró la capacidad del suelo en resistir las cargas externas mejor que las demás adiciones.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda realizar un análisis físico y químico completo de cada tipo de vidrio recolectado, ya que la composición varía y esta podría afectar de forma positiva o negativa en las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante.
- SEGUNDA:** Una vez adquirido los datos de las características de cada tipo de vidrio, se recomienda seleccionar un solo tipo de vidrio con las características más adecuadas que favorezcan el comportamiento propio de un suelo en su estado natural.
- TERCERA:** La subrasante es una capa importante para la construcción de pavimentos ya sean rígidos o flexibles, por lo que es recomendable realizar los estudios correspondientes y adecuados con la finalidad de mejorar esas deficiencias que presentan la mayoría de subrasantes.
- CUARTA:** Se recomienda adicionar porcentajes de vidrio reciclado por encima del 12%, ya que la plasticidad del material redujo hasta un 11.43%. y para la capacidad de soporte es recomendable adicionar un 9% de polvo de vidrio reciclado para incrementar dicha característica.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Taie, A., Yaghoubi, E., Wasantha, P., Van, R., Guerrieri, M., & Fragomeni, S. (2023). Swelling and collapse behavior of unsaturated expansive subgrades stabilized with recycled glass. *Transportation Geotechnics*, 41, 1-17.
doi:10.1016/j.trgeo.2023.101039
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigacion 6ta Edicion*. Caracas.
- Aroquipa, C. (2022). *Manejo y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios generados en la Ciudad de Huancané, Provincia de Huancané - Puno*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno - Perú. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Baldovino, J., Izzo, R., Rose, J., & Domingos, M. (2021). Strength, durability, and microstructure of geopolymers based on recycled-glass powder waste and dolomitic lime for soil stabilization. *Construction and Building Materials*, 271.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121874
- Bilgen, G. (2020). Utilization of Powdered Glass as an Additive in Clayey Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(3), 3163-3173.
doi:10.1007/s10706-020-01215-7
- Bui, D., Onyelowe, K., Onyia, M., Nguyen, M., Dao, L., Ikpa, C., . . . Saing, Z. (2020). Strength and consistency behaviour of replacement of cement with silicate based geopolymer cement modified soft soil treated with crushed waste glasses for pavement underlain. *Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 186 - 197.
- Carrasco, S. (2007). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Carvajal, G. (2012). Medición de fenómenos de enfermería: el reto de validez y confiabilidad en la investigación cuantitativa. *Aquichan*, 5-7.
- Castillo, M., Rocha, A., Morales, J., Gutierrez, E., Chi, A., & Vázquez, E. (2020). Ecovitral: reciclado de vidrio. *Industria Ambiente*, 36 - 39.



- Chávez, L. (2024). *Aplicación de cenizas de carbón para mejorar la estabilización de la subrasante del km 30+000 - km 31+000 de la vía luya ocumal, amazonas, 2022*. Chachapoyas: UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3748>
- Chen, R., Cai, G., Zhou, R., Xu, J., & Duan, W. (2022). Evaluating the effect of active ions on the early performance of soft clay solidified by modified biomass waste-rice husk ash. *Acta Geotech*, 1-18.
- Christopher, C., & Chimobi, D. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of rock mechanics and geotechnical engineering*, 423 - 440.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Quinta ed.). Mexico: Limusa.
- Cuadros, C. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo - Perú.
- Culquichicon, J., & Vasquez, B. (2023). *Influencia de vidrio molido para la estabilización del camino Simbal – caserío Simbal Mucha del km 0+000 al 9+000, La Libertad, 2022*. Universidad Privada del Norte, Trujillo - Perú. La Libertad - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
- DGIP. (2015). Dirección General de Inversión Pública. *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación*. Perú.
- Díaz, E., & Leon, E. (2021). *Estabilización con polvo de vidrio en la subrasante para el pavimento flexible en la carretera Chacas - Acochaca, Asunción, 2021*. Universidad César Vallejo, Huaraz - Perú. Huaraz - Perú: Universidad César Vallejo.
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). *Geomecánica*. Universidad Nacional de Colombia.



- Epure, C., Munteanu, C., Istrate, B., Harja, M., & Buium, F. (2023). Applications of Recycled and Crushed Glass (RCG) as a Substitute for Natural Materials in Various Fields—A Review. *Materials*, 1-30.
- Espinoza , L., & Santimperi, G. (2021). *Uso del vidrio reciclado en la mejora de la estabilización de suelos de la Carretera Tramo Collud – Ventarrón, Pomalca – Lambayeque - 2021*. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83975>
- Fernández, J. (2003). *El vidrio*. Madrid, España: Sociedad Española de Ceramica y Vidrio.
- Fernández, J. (2003). *El vidrio*. Madrid - España: Artegraf, S.A.
- Fernández, J. (2019). *Vidrio: ¿Qué es? Tipos, Propiedades, Características y Usos*. Obtenido de EcologiaHoy: <https://www.ecologiahoy.com/vidrio>
- Figueroa, J. (2005). *Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002*. Universidad De El Salvador, San Salvador - El Salvador.
- Garcia, B., & Morales, D. (2021). *Análisis de la estabilidad de un suelo arcilloso, con cáscaras de huevo pulverizadas añadidas*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/953
- Goñas, O., & Saldaña, J. (2020). Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada . *UNTR*, 30-36.
doi:<https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>
- Guajardo, S. (2019). *Estudio de valorización del vidrio en los residuos domésticos de la comuna de Melipilla*. Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile - Chile. Santiago - Chile: Universidad Andres Bello.
- Harinder, D., Chandu, B., & Aditya, M. (2022). Evaluation of different types of soil subgrade using glass powder for Low-Volume Roads (LVRs). *Materialstoday: proceedings*.



- Haro, L. (2021). *Efecto de la adición de vidrio reciclado en la estabilización de suelo arenoso en el A.H. Villa Hermosa, Nuevo Chimbote*. Universidad César Vallejo , Lima - Perú. Lima - Perú: Universidad César Vallejo.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México : Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
- Jalal, F., Zahid, A., Iqbal, M., Naseem, A., & Nabil, M. (2022). Sustainable use of soda lime glass powder (SLGP) in expansive soil stabilization. *Case Studies in Construction Materials*, 17. doi:10.1016/j.cscm.2022.e01559
- Jara, J. (2024). *Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera (aserrín), en su comportamiento mecánico - deformacional para el mejoramiento de la subrasante, de las vías de la urbanización las gardenias de la ciudad de juliaca*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Joshep, J., Jinu, R., Juny, M., & Mariya, T. (2017). Effect of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(5), 228-231. doi:10.17577/IJERTV6IS050024
- Lujan , B., & Vargas , A. (2024). *Influencia del cloruro de calcio en la estabilización de la subrasante, de la carretera tramo Otuzco-Pachin Alto, provincia de Otuzco – La Libertad*. Trujillo: Universidad privada Antenor Orrego. Obtenido de <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>
- Mamani, G., Cruz, S., Ccori, N., Yllescas, R., & Rea, W. (2023). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 1-7. doi:http://dx.doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569



- Mansilla, M. (2019). *Plan de negocio para el aprovechamiento y comercialización de residuos sólidos en el mercado de abastos San Camilo, ciudad de Arequipa, 2019*. Universidad de Piura, Lima - Perú. Lima - Perú: Universidad de Piura.
- Martin, A., & Molina, E. (2017). Valor del conocimiento pedagógico para la docencia en Educación Secundaria: diseño y validación de un cuestionario. (2). Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/estped/v43n2/art11.pdf>
- Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T., Kurmus, H., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S. (2017). Aplicaciones prácticas de reciclaje de vidrio triturado en materiales de construcción: una revisión. *Construcción construir*, 443 - 467.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios y diseño* (Tercera ed.). Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). *Estabilización de suelos*. Bogotá - Colombia: Ediciones de la U.
- Morales, L. (2017). *El vidrio en la edificación. propiedades, aplicaciones y estudios de fracturas en casos reales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotécnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. Lima - Perú: Ministerio de transportes y comunicaciones.
- Noel, E. (2022). *Estabilización de suelo utilizando polvo de vidrio reciclado en jirón Miguel Grau Seminario, urbanización La Florida, Barranca*. Universidad Nacional de Barranca, Barranca - Perú. Barranca - Perú: Universidad Nacional de Barranca.
- Ñamot , P. (2022). *Efecto del polvo de mármol residual en la estabilización de suelos arcillosos en caminos no pavimentados, Trujillo*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Ñaupas, H., Palacios, J., Valdivia, M., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Ediciones de la U. Obtenido de https://www.academia.edu/59660793/METODOLOG%C3%8DA_DE_LA_INVESTIGACI%C3%93N_5TA_EDICI%C3%93N



- Pajuelo, C., & Rivera, J. (2022). *Evaluación de las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso agregando polvo de vidrio reciclado, San Marcos, Ancash 2022*. Universidad Cesar Vallejo, Huaraz - Perú. Ancash - Perú: Universidad César Vallejo.
- Pino, R. (2007). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Ponce, D. (2018). *Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande - Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú.
- Premathilaka, K., Liyanapathirana, D., Leo, C., & Hu, P. (2024). Application of recycled waste glass to replace traditional quarried aggregates: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 1-18.
- Quispe, W. (2020). *Estabilización de subrasante de vias en suelos expansivos con cloruro de sodio - Avenida Jacinto Ibarra, distrito de Chilca - Huancayo 2020*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8216>
- Rivero, M., Meneses, P., García, J., Anibal, R., & Zevallos, E. (2021). *Metodología de la investigación*. Huánuco - Perú: Universitaria.
- Rodríguez, F. (2021). *“Incorporación de vidrio triturado para mejorar las propiedades físico - mecánicas de suelos arcillosos en la avenida Industrial, Puno – 2021*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74607>
- Sabbrojjaman, M., Liu, Y., & Tafsirojjaman, T. (2024). A comparative review on the utilisation of recycled waste glass, ceramic and rubber as fine aggregate on high performance concrete: Mechanical and durability properties. *Developments in the Built Environment*, 1-18.
- Sasai, K., Chouinard, L., Power, G., Conciatori, D., & Zufferey, N. (2024). Accounting for traffic disturbance in road infrastructure management: Optimal maintenance and rehabilitation planning for the society. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104040>



- Soberon, B. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos en la urb. Ciudad del Chofer, Chiclayo 2019*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo - Perú. Chiclayo - Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Suárez , L., Franco, D., López , E., & Durán , S. (2018). EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EL TIEMPO DE FUSIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL VIDRIO OBTENIDO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO DE BOTELLA. *Revista Colombiana de Materiales*, 70-82. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.rcm.336464>
- Tajaddini, A., Saberian, M., Kamalzadeh, V., Li, J., & Maqsood, T. (2023). Improvement of mechanical strength of low-plasticity clay soil using geopolymer-based materials synthesized from glass powder and copper slag. *Case Studies in Construction Materials*, 18, 1-15. doi:10.1016/j.cscm.2022.e01820
- Tanyildizi, M., Emre Uz, V., & Gokalp, I. (2023). Utilization of waste materials in the stabilization of expansive pavement subgrade: An extensive review. *Construction and Building Materials*, 1-34.
- Thompson, L., & Troeh, F. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona - España: Reverté.
- Torres, S., & Landa, J. (2020). *Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal en el tramo de la carretera Tingo María - Monzón en la provincia de Leoncio Prado*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima - Perú. Lima - Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- UCSC. (2016). *Mecánica de suelos*. Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Umut, S. (2023). Assessment of sustainable expanded glass granules for enhancing shallow soil stabilization and dynamic behaviour of clay through resonant



column tests. *Engineering Science and Technology*, 42, 1-11.

doi:10.1016/j.jestch.2023.101415

Vilca, D. (2020). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA NATURAL EN LOS JIRONES UNIÓN Y PRIMERO DE MAYO DEL DISTRITO DE VIQUES*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2406>



ANEXOS

ANEXO 01: Operacionalización de variable

ANEXO 02: Matriz de consistencia

ANEXO 03: Certificados de validación de instrumentos

ANEXO 04: Certificado de ensayos químicos

ANEXO 05: Ficha de recolección de datos de campo

ANEXO 06: Certificados y ensayos de laboratorio

ANEXO 07: Panel fotográfico



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JHON DAVIS MENDOZA TICONA
identificado con DNI 47409214 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL POLVO DE VIDRIO RECICLADO
EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE
DE LA VÍA HUANCANÉ - OJERIA, HUANCANÉ, PUNO 2023 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de SEPTIEMBRE del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JHON DAVIS MENDOZA TICONA,
identificado con DNI 47409214 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA HUANCANE' - OJERIA, HUANCANE, PUNO 2023 ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella