

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Efectos de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del
afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023**

Asesor

Mg. Gálvez Quintana Marco Antonio

Autor:

Chipana Tello Ali Edward

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACION N°034-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| ➤ MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL | PRESIDENTE |
| ➤ Ph.D. Abbon Alex VÁZQUEZ RAMÍREZ | DICTAMINANTE |
| ➤ Dr. Wilfredo SOTO PALOMINO | REPLICANTE |


y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,
Bachiller: **CHIPANA TELLO, Ali Edward** con código de
matrícula N°201210438-J.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución del Vicerrectorado Académico N°002-2024-UTEA-VRAC, de fecha 23 de enero del año 2024, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

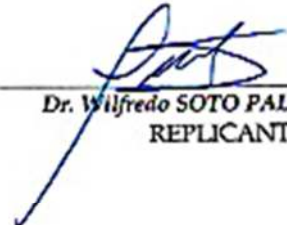
SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "*Efectos de la adición de miel de caña sobre el Callifornia Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023*", habiendo aprobado con la nota de once (11).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 297.

Abancay, 28 de octubre 2024.


MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL
PRESIDENTE


Ph.D. Abbon Alex VÁZQUEZ RAMÍREZ
DICTAMINANTE


Dr. Wilfredo SOTO PALOMINO
REPLICANTE

Efectos de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	16%	1%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	3%
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Chipana Tello Ali Edward
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70776896
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0005-1863-6781
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Mg. Gálvez Quintana Marco Antonio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 44923575
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-8709-4008
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Auto Financiado
Porcentaje de similitud	: 16%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios y las personas que han sido mi fortaleza a lo largo de mi trayecto académico. A mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio constante dan todo por apoyarme. A mis dos hermanos, Edson Paul Chipana Tello y William Chipana Tello, quienes han compartido conmigo cada alegría, desafío y cuya amistad inquebrantable ha enriquecido mi vida. A mi enamorada Liz Katherine Camargo Sierra, por el apoyo para lograr un paso más en mi desarrollo como profesional, este logro es un testimonio de nuestra unión y amor mutuo.

Agradecimiento

A Dios, por la bendición en mi desarrollo personal, así como estar bien de salud, la oportunidad de aprender, disfrutar y compartir con mis seres queridos.

A Doris Reveca Tello Ceron y Alipio Encarnación Chipana Yupanqui, mis queridos padres, por su incondicional apoyo en todo momento de mi vida en cuando realicé mis estudios superiores.

Al ingeniero Marco Antonio Gálvez Quintana, asesor de mi tesis, por su sabiduría y enseñanza en la presente investigación.

Resumen

Este informe de tesis ve los efectos de la adición de miel de caña en el afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac. Se evaluaron proporciones de miel de caña (1.5%, 3%, 4.5% y 6%) y se encontró que el índice de soporte CBR aumentó significativamente, alcanzando un máximo del 92.61% con una adición del 4.5%. A pesar de los cambios observados en el California Bearing Ratio, la miel de caña no alteró significativamente las propiedades físicas del suelo. La densidad máxima seca disminuyó con la adición de miel de caña, indicando una reducción en la densidad del suelo compactado. Las pruebas de las características físicas de la miel de caña mostraron una densidad de 1.37 gr/cm³ a 65 °C ± 5, un contenido líquido del 28.22% y una composición sólida del 71.78%, lo que sugiere que elevar su temperatura facilitó su tratamiento del suelo. Estos resultados destacan la efectividad de la adición de miel de caña en proporciones específicas para mejorar la capacidad de soporte del afirmado, con el 4.5% como la proporción más efectiva, mientras que no tuvo un efecto notable en las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave: Miel de caña, Afirmado, California Bearing Ratio.

Abstract

This study investigates the effects of the addition of sugarcane honey in the pavement of the Murillo Quarry, Abancay, Apurimac. The proportions of sugarcane honey (1.5%, 3%, 4.5% and 6%) were evaluated and it was found that the CBR support index increased significantly, reaching a maximum of 92.61% with an addition of 4.5%. However. Despite the observed changes in California Bearing Ratio, sugarcane honey did not significantly alter the physical properties of the soil. The maximum dry density decreased with the addition of cane honey, indicating a reduction in the density of the compacted soil. Tests of the physical characteristics of the sugarcane honey showed a density of 1.37 g/cm³ at 65 °C ± 5, a liquid content of 28.22% and a solid composition of 71.78%, suggesting that raising its temperature facilitated its treatment of the soil. These results highlight the effectiveness of the addition of sugarcane honey in specific proportions to improve the bearing capacity of the soil, with 4.5% being the most effective proportion, while it had no noticeable effect on the physical properties of the soil.

Keywords: Cane honey, Affirmed, California Bearing Ratio.

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	ii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos	xiii
I. Introducción	14
II. Planteamiento del problema	15
2.1. Descripción y formulación del problema	15
2.2. Objetivos.....	19
2.3. Justificación e importancia.....	19
2.4. Hipótesis.....	22
2.5. Operacionalización de variables.....	23
III. Marco teórico	24
3.1. Antecedentes del problema.....	24
3.2. Bases teóricas	30
3.2.1. Variable independiente: miel de caña.....	30
3.2.2. Variable dependiente: California Bearing Ratio del material de afirmado.....	31
3.3. Definición de términos	41

IV. Metodología de investigación	43
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	43
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	46
4.3. Población y muestra	46
4.4. Instrumentos.....	48
4.5. Procedimientos.....	49
4.6. Análisis de datos	49
4.7. Consideraciones éticas.....	50
V. Resultados y discusión	51
5.1. Resultados.....	51
5.1.1. Respuesta al objetivo general	51
5.1.2. Respuesta al objetivo específico 1	55
5.1.3. Respuesta al objetivo específico 2	62
5.2. Discusión de resultados.....	68
5.3. Prueba de hipótesis.....	69
5.3.1. Hipótesis general.....	69
5.3.2. Hipótesis específica 01.....	71
5.3.3. Hipótesis específica 02.....	72
VI. Conclusiones	75
VII. Recomendaciones.....	77
VIII. Referencias	79
IX. Anexos.....	82

Índice de tablas

Tabla 1	Composición aproximada de la melaza o miel de caña de azúcar	31
Tabla 2	Pesos mínimos de muestra para ensayo de granulometría	33
Tabla 3	Selección de método Proctor.....	38
Tabla 5	CBR de la muestra patrón	52
Tabla 6	Resultados de CBR de la muestra con adición de miel de caña.	53
Tabla 7	Límites de consistencia de la muestra patrón	57
Tabla 8	Resumen de las propiedades físicas de la muestra patrón	58
Tabla 9	Límites de Atterberg del material de cantera con adición de miel de caña.....	61
Tabla 10	Abrasión de los Ángeles en la muestra patrón.....	63
Tabla 11	Resultados del ensayo de Proctor modificado	64
Tabla 12	Densidad de la miel de caña.....	67
Tabla 13	Humedad Natural de la miel de caña	67
Tabla 14	Datos estadísticos decriptivos.....	70
Tabla 15	Resultados de la hipótesis general (variable:CBR del material de afirmado) ...	70
Tabla 16	Datos estadísticos decriptivos.....	71
Tabla 15	Resultados de la hipótesis específica 01 (variable:límite líquido del material de afirmado)	72
Tabla 16	Datos estadísticos decriptivos.....	73
Tabla 15	Resultados de la hipótesis específica 2 (variable: Densidad Máxima Seca del material de afirmado).....	74

Índice de figuras

Figura 1	Flujo del proceso de fabricación de la miel o melaza de caña.....	30
Figura 2	Diseño de la investigación.....	46
Figura 3	Ubicación georreferenciada de la zona de extracción de muestra.....	47
Figura 4	Representación gráfica del CBR de la muestra patrón.....	52
Figura 5	<i>Representación gráfica del CBR al 100 % de la muestra adición de miel de caña.....</i>	<i>54</i>
Figura 6	<i>Representación gráfica del CBR al 95 % de la muestra adición de miel de caña</i>	<i>54</i>
Figura 7	Análisis comparativo del CBR con adición de miel de caña	55
Figura 8	Curva granulométrica de la muestra patrón.....	57
Figura 9	Carta de plasticidad de la muestra patrón	58
Figura 10	Composición granulométrica del material de afirmado con adición de miel de caña.....	60
Figura 11	Límites de Atterberg del material de cantera con adición de miel caña	61
Figura 12	Gráfico de la curva de compactación de la muestra patrón	63
Figura 13	Análisis comparativo de la densidad máxima del suelo con adición de miel de caña.....	65
Figura 14	Análisis comparativo de la humedad óptima del suelo con adición de miel de caña.....	66
Figura 15	Media y mediana de los resultados del CBR del suelo con adición de miel de caña.....	70
Figura 16	Media y mediana de los resultados del límite líquido del suelo con adición de miel de caña	71
Figura 17	Media y mediana de los resultados de la densidad máxima seca del suelo con adición de miel de caña	73

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	83
Anexo 2 Matriz de operacionalización de variables.....	84
Anexo 3 Instrumentos de Recolección de datos.....	85
Anexo 4 Resultados de Laboratorio.....	90
Anexo 5 Panel fotográfico.....	144

I.Introducción

Las deficiencias en la capacidad de soporte del afirmado de base de las carreteras es el deterioro de las redes de carreteras y sistemas de transporte a nivel global. Esta cuestión se ha vuelto crítica en muchos países en desarrollo debido a varios factores y sus consecuencias impactan directamente en su economía, como también en la seguridad vial y por tanto en las condiciones de vida de comunidad (MTC,2000).

Según diversos expertos en el campo de la ingeniería vial, el deterioro del afirmado en carreteras como consecuencia a la escasa resistencia estructural es una preocupación global de gran magnitud. El CBR, es un elemento crucial empleado para determinar la resistencia de una subrasante o suelo subyacente para soportar la carga de tráfico. En el documento Section 6c-1- Pavements Systems de la Corporation Iowa SUDAS (2013) , se detalla que lo suelos pobres pueden dificultar seriamente la construcción de subrasantes adecuadas, así como afectar el rendimiento a largo plazo de un pavimento durante su vida útil.

En el ámbito económico, las carreteras cumplen un papel crucial en el desarrollo de un país, debido a que permite el traslado de bienes y personas, lo que a su vez potencia el comercio y la industria. Una carretera con reducida capacidad de Soporte de CBR limita la accesibilidad y el flujo del traslado de bienes y personas, lo que implica un golpe decisivo para el avance del país fue un evento fundamental que marcó un punto de inflexión significativo en su progreso y desarrollo. (MTC,2000).

Asimismo, la limitada capacidad de soporte de CBR del afirmado de una carretera deriva a un mantenimiento más frecuente de esta, incrementando el esfuerzo y el tiempo para el correcto funcionamiento, entonces, esto se traduce a mayor inversión monetaria. Esto puede tener un impacto significativo en el presupuesto de infraestructura de un país (elEconomista.es, 2023).

II.Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En nuestro País, gran cantidad de afirmados en carreteras de bajo y alto tránsito que interconectan las diferentes ciudades importantes y que permiten el comercio y el desarrollo económico de nuestro país, no alcanzan los criterios mínimos establecidos por el (MTC). Además, “se calcula que aproximadamente el 80% de las vías en Perú se encuentran en condiciones deficientes, afectadas por factores como las precipitaciones y el deterioro causado por cambios de temperatura” (Aldazabal Sánchez, 2019). Existen muchos métodos que pueden afrontar este problema desde una perspectiva técnica y económica. Sin embargo, aún existen desafíos significativos para mejorar la infraestructura vial del país.

Para atender esta problemática implica no solo una evaluación adecuada en la etapa de diseño de carreteras, se considera la capacidad de carga de los suelos, sino también una inversión sostenida en mantenimiento y rehabilitación. Además, se requiere la aplicación de tecnologías innovadoras y prácticas de construcción avanzadas para fortalecer la resistencia de las carreteras a largo plazo, minimizando así el impacto del CBR deficiente en la infraestructura vial.

En Apurímac, los caminos de tierra compactada experimentan un deterioro acelerado debido a una variedad de factores, entre ellos, la falta de material fino. Los materiales finos actúan como un ligante que ayuda a aglutinar el material, mejorando así la capacidad de soporte. Sin embargo, un alto contenido de material fino hace que la carretera sea susceptible a la erosión, mientras que un contenido de finos demasiado bajo puede resultar en un camino que carece de cohesión (Ferrer Granda, 1967).

El método de mejorar la resistencia del terreno mediante la adición de sustancias estabilizadoras tiene una larga historia; hace aproximadamente 5000 años, ya se utilizaba cal o puzolanas para este propósito. Sin embargo, el verdadero avance en esta técnica y

su consiguiente desarrollo solo adquirieron relevancia significativa después de la Segunda Guerra Mundial, este impulso se debió a la necesidad urgente de construir infraestructuras viales y aeroportuarias en regiones donde escaseaban los agregados de calidad adecuada (Echeverría G. et al., 2012)

Los caminos de tierra no estabilizados pueden ser problemáticos en cuando se encuentran secos. Los suelos y vías sin procesar son propensos a degradarse rápidamente, lo que aumenta la probabilidad de producción de polvo debido a la erosión superficial. Este problema es típico en terrenos cohesivos, tales como los compuestos por arcilla o limo, aunque también puede ocurrir en suelos de partículas más grandes, como los formados por grava o arena. Estos últimos tienden a ser menos estables, y su deterioro gradual puede eventualmente comprometer su capacidad para ser transitado (Instituto del Cemento y sus Aplicaciones, 2008).

El clima en nuestra región de Apurímac, influenciado por las lluvias, tiene un impacto significativo en los caminos de tierra sin tratar, los cuales se degradan con mayor facilidad. Durante las épocas de calor, se intensifica la formación de polvo debido al desgaste superficial provocado por los vehículos al transitar. Es por ello que viene implementando mejoras, empleando aditivos y geotextiles, entre otras soluciones, para potenciar se debe mejorar la capacidad del suelo para maximizar la resistencia de las vías (MTC,2005).

En Abancay el desarrollo de las pavimentaciones en algunas zonas elaboradas con agregados convencionales que no cumplen con las propiedades mecánicas requeridas necesita de cierto tratamiento para mejorar sus propiedades de resistencia ya sea por un tratamiento químico o físico (MTC,2000).

Problema general

¿Cuál es el efecto de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023?

Problemas específicos

- ❖ ¿Cuáles son los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023?
- ❖ ¿Cuáles son los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades mecánicas del Afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023?

Social

Desde la perspectiva del sector de la construcción, abarca a todos los profesionales involucrados en las obras viales y construcción de Abancay. Estos profesionales podrían beneficiarse de esta información en sus proyectos.

Conceptual

Debido al vacío de conocimiento del comportamiento de la influencia de la miel de caña en la propiedad CBR afirmado, se desarrollará la presente investigación, buscando estabilizar el material en la estructura de una o varias capas del afirmado.

Viabilidad de la investigación

Desde la perspectiva económica, la ejecución del estudio fue factible, puesto que se tuvo los recursos financieros necesarios. Desde una perspectiva social, no se enfrentaron impedimentos por parte de los propietarios de la cantera Murillo, lo que facilitó la obtención del material de afirmado. Técnicamente, el proyecto fue viable dado que existen laboratorios equipados para llevar a cabo los ensayos requeridos.

La factibilidad del estudio está respaldada por la accesibilidad conveniente a la zona de investigación, facilitada por la cercanía a la ciudad. Un camino en óptimo estado permite el fácil traslado de la maquinaria necesaria para efectuar las pruebas geotécnicas. En cuanto al aspecto personal, se dispone de la experiencia, los instrumentos y el plazo adecuado para ejecutar el estudio de manera eficiente.

La zona dispone de laboratorios de geotecnia bien equipados y con expertos, asegurando ensayos precisos. La infraestructura tecnológica incluye computadoras y software especializado para procesar y analizar los datos de campo. Complementando esto, hay acceso a recursos como libros técnicos, libretas y material de oficina. Esta combinación de instalaciones, tecnología y recursos auxiliares proporciona una base sólida que respalda la viabilidad y el éxito del proyecto en cuestión.

Limitaciones de la investigación

En el ámbito económico, realizar este estudio a nivel de campo habría implicado una inversión económica significativa como investigador. Por esta razón, se optó por desarrollar los procedimientos a nivel de laboratorio, utilizando ensayos respaldados por entidades dedicadas a la ingeniería tanto a nivel nacional como internacional. Esta decisión permitió obtener resultados relevantes y sólidos, sin comprometer la calidad de la investigación debido a limitaciones económicas.

Una limitación en este estudio fue la falta de equipos calibrados en la UTEA, lo que ha limitado la realización de ensayos adicionales, incluyendo la distribución granulométrica, la medición del contenido de agua original, la maleabilidad, la masa por unidad de volumen, la disposición de las capas del suelo y el grado de condensación. En resumen, se ha llevado a cabo únicamente a nivel de ensayos.

En el contexto local, no se hallaron antecedentes sobre el uso de la miel de caña en aplicaciones ingenieriles, especialmente en el ámbito de la construcción, es limitada. La

falta de antecedentes en esta área dificultó la contextualización y comparación de los resultados que se obtuvieron en estudios similares. La escasez de investigaciones locales sobre este tema resalta la importancia de realizar más investigaciones para estimar mejor el potencial y las limitaciones de la miel de caña como material estabilizador en la construcción de infraestructuras.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar los efectos de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

➤ Analizar los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

➤ Analizar los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades mecánicas del Afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

2.3. Justificación e importancia

Debido a la problemática antes descrita respecto al deterioro de las carreteras por sus propiedades limitadas, incumplen los índices mínimos especificadas en la NTP o el manual de carreteras, implican en la transpirabilidad normal del transporte nacional, afectando a la economía del país y al desarrollo vial.

Por esa razón, se realiza muchos estudios con el propósito de lograr un perfeccionamiento de las propiedades del terreno con fines de afirmado para pavimentos,

no obstante, los resultados de los nuevos métodos que se investigan ya es un aporte para la comunidad científica y la comunidad ingenieril. Estos documentos plasmados sirven de base y de apoyo para realizar más investigación sobre nuevos componentes que mejoran la infraestructura vial.

En ese contexto, Este trabajo examina las consecuencias que produce un componente en las propiedades físico – mecánicas del afirmado, sobre todo cuantificar los efectos que produce en el CBR de este. Este material es la miel de caña o también denominado melaza de caña.

2.3.1. Social

Desde la perspectiva del sector de la construcción, abarca a todos los profesionales involucrados en las obras viales y construcción de Abancay. Estos profesionales podrían beneficiarse de esta información en sus proyectos.

2.3.2. Conceptual

Debido al vacío de conocimiento del comportamiento de la influencia de la miel de caña en la propiedad CBR afirmado, se desarrollará la presente investigación, buscando estabilizar el material en la estructura de una o varias capas del afirmado.

2.3.3. Viabilidad de la investigación

Desde la perspectiva económica, la ejecución del estudio fue factible, puesto que se tuvo los recursos financieros necesarios. Desde una perspectiva social, no se enfrentaron impedimentos por parte de los propietarios de la cantera Murillo, lo que facilitó la obtención del material de afirmado. Técnicamente, el proyecto fue viable dado que existen laboratorios equipados para llevar a cabo los ensayos requeridos.

La factibilidad del estudio está respaldada por la accesibilidad conveniente a la zona de investigación, facilitada por la cercanía a la ciudad. Un camino en óptimo estado permite el fácil traslado de la maquinaria necesaria para efectuar las pruebas geotécnicas. En cuanto al aspecto personal, se dispone de la experiencia, los instrumentos y el plazo adecuado para ejecutar el estudio de manera eficiente.

La zona dispone de laboratorios de geotecnia bien equipados y con expertos, asegurando ensayos precisos. La infraestructura tecnológica incluye computadoras y software especializado para procesar y analizar los datos de campo. Complementando esto, hay acceso a recursos como libros técnicos, libretas y material de oficina. Esta combinación de instalaciones, tecnología y recursos auxiliares proporciona una base sólida que respalda la viabilidad y el éxito del proyecto en cuestión.

2.3.4. Limitaciones de la investigación

En el ámbito económico, realizar este estudio a nivel de campo habría implicado una inversión económica significativa como investigador. Por esta razón, se optó por desarrollar los procedimientos a nivel de laboratorio, utilizando ensayos respaldados por entidades dedicadas a la ingeniería tanto a nivel nacional como internacional. Esta decisión permitió obtener resultados relevantes y sólidos, sin comprometer la calidad de la investigación debido a limitaciones económicas.

Una limitación en este estudio fue la falta de equipos calibrados en la UTEA, lo que ha limitado la realización de ensayos adicionales, incluyendo la distribución granulométrica, la medición del contenido de agua original, la maleabilidad, la masa por unidad de volumen, la disposición de las capas del suelo y el grado de condensación. En resumen, se ha llevado a cabo únicamente a nivel de ensayos.

En el contexto local, no se hallaron antecedentes sobre el uso de la miel de caña en aplicaciones ingenieriles, especialmente en el ámbito de la construcción, es limitada. La

falta de antecedentes en esta área dificultó la contextualización y comparación de los resultados que se obtuvieron en estudios similares. La escasez de investigaciones locales sobre este tema resalta la importancia de realizar más investigaciones para estimar mejor el potencial y las limitaciones de la miel de caña como material estabilizador en la construcción de infraestructuras.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

➤ La adición de miel de caña influye en el California Bearing Ratio del afirmado de la cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

➤ La adición de miel de caña influye en las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

➤ La adición de miel de caña influye en las propiedades mecánicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

2.5. Operacionalización de variables.

Título: “Efectos de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023”

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
VI: Adición de Miel de Caña	“La miel de caña, o melaza, es un subproducto dulce y denso de la refinación de la caña de azúcar, valorado por su alto contenido de carbohidratos y su ausencia de grasa y celulosa.” (Tuesta, 2020).	Este estudio analizó cómo la viscosidad de la miel de caña afecta las propiedades del suelo a través de experimentos de laboratorio.	Dosificación	0%, 1.5%, 3.0%, 4.5% y 6.0.%	Razón	Ficha de recolección de datos
VD: CBR del material de afirmado	Este estudio determina la capacidad de soporte CBR del suelo mediante procedimientos de la norma ASTM D 1883. Se realiza un ensayo de compactación para establecer la humedad óptima y la densidad máxima, variando el contenido de agua en la muestra. Se compactan tres moldes en cinco capas con diferentes números de golpes y se determinan sus densidades.	Se determina utilizando ecuaciones en base a las propiedades de resistencia al corte y las propiedades geotécnicas del suelo natural y mejorado.	Propiedades Físicas	Contenido de humedad natural Granulometría Límites de Atterberg Clasificación de suelos SUCS y ASHTO Gravedad específica	Razón Razón Razón Nominal Razón	Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos
			Propiedades Mecánicas	Densidad Máxima Seca Óptimo contenido de humedad Abrasion de los ángeles	Razón Razón Razón	Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos Ficha de recolección de datos

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes del problema

3.1.1. A nivel internacional

Hidalgo & D. I. (2016) realizaron un estudio en la “Universidad Técnica de Ámbato, Ecuador” con el propósito de analizar el efecto estabilizador de las enzimas orgánicas y la mezcla suelo-cemento en los terrenos arcillosos que sirven de base para carreteras. El estudio se centró en dos lugares de excavación en una carretera arcillosa de Puyo. Los investigadores emplearon un procedimiento principalmente cuantitativo, de enfoque descriptivo-explicativo y un diseño experimental. Los resultados mostraron que agregar cemento al suelo arcilloso afectaba su contenido de humedad, aumentando su capacidad para retener agua. Concluyeron que los niveles óptimos de humedad, medidos con el método Proctor modificado, se incrementaban en proporción directa a la cantidad de aglomerante incorporado en la combinación de tierra y cemento.

Harsha (2018) examinó la estabilización del suelo de algodón negro utilizando melaza y fibras de areca. El estudio, publicado en el "International Journal of Applied Engineering Research" en India, tuvo como propósito principal minimizar los costos de desarrollo. Se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental descriptivo-explicativo como método de investigación. Se analizaron dos calicatas de suelo de algodón negro, empleando cantidades iguales para cada muestra. Los hallazgos indicaron que la proporción óptima de melaza para obtener resultados favorables es del 8%. Se observó que al aumentar el porcentaje de melaza en el suelo tratado, la humedad óptima disminuía mientras que la densidad máxima se incrementaba. El estudio también se analizaron las características del terreno procesado a través de ensayos de compresión simple “compresión no confinada” y CBR con diferentes porcentajes de melaza. Se concluyó que

los ensayos de compresión simple alcanzaban su máximo nivel con un 8% de melaza después de un período de curado de 14 días.

Mamuye et al (2018) llevaron a cabo una investigación con el fin de analizar cómo la melaza, la cal y su combinación mejoran los áridos sin procesar en la elaboración de capas inferiores y bases. La investigación, publicada en Global Scientific Journals, se centró en muestras de la cantera Jimma Jiren. El estudio, de naturaleza experimental, reveló que la grava natural era apta para sub-bases, pero no como estabilizador de bases. Se encontró que añadir un 2% de cal mejoraba la grava para sub-bases. Combinar 50% de cal (al 8%) con melaza (4%, 6% u 8%) producía una resistencia adecuada para bases. La melaza sola no era efectiva, pero funcionaba bien como aditivo para la cal. Los resultados mostraron que mezclar 6% de cal con grava aumentaba el CBR en 205.65%. Reemplazar 50% de esta cal con 6% o 8% de melaza mejoraba el CBR en 146.87% y 196.16% correspondientemente. En conclusion con 8% de cal, el CBR aumentaba 228.30%, y al reemplazar 50% con melaza al 4%, 6% u 8%, el CBR mejoraba en 190.84%, 210.72% y 227.34% correspondientemente.

Tesema (2016) investigó en su estudio de maestría en la Universidad de Addis Abeba, Etiopía, el empleo de subproducto de la industria azucarera para mejorar las propiedades del terreno expansivos. El objetivo fue evaluar el potencial de la melaza como estabilizador y determinar su proporción óptima y económica. El estudio, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo-explicativo, utilizó un diseño empírico y teórico, analizando dos calicatas representativas. Los resultados mostraron que la melaza cambió el suelo de ligeramente alcalino a ligeramente ácido, y redujo la capacidad de intercambio catiónico, afectando el límite líquido del suelo. Se estimó que el contenido óptimo de estabilizador era 8% del peso seco del suelo, basado en pruebas de resistencia USC y CBR. Con 12% de melaza, se observaron mínimos potenciales y presiones de hinchamiento. Los resultados de resistencia variaron debido al proceso de curado y compactación de las muestras.

Barasa & P.K. (2016) realizaron un estudio para grado maestro en la Universidad Jomo Kenyatta de Agricultura y Tecnología en Kenia, enfocándose en estabilizar suelo arcilloso expansivo con una combinación de ceniza de bagazo de caña y cal. La finalidad consistió en examinar los efectos de reemplazar parcialmente la cal con ceniza de bagazo en la estabilización del suelo para material de capa inferior de carretera. El estudio, de carácter numérico y con un alcance que abarca tanto la descripción como la explicación, utilizó un diseño empírico y teórico, analizando tres calicatas. Los resultados mostraron que la ceniza sola era insuficiente para estabilizar el suelo expansivo. Sin embargo, la combinación óptima de 4 partes de cal por 1 de ceniza logró un CBR de 36, un índice de plasticidad de 20 y una contracción lineal de 9.0, con hinchazón insignificante. El estudio concluyó que esta combinación es útil en suelos expansivos con bajo CBR y alta plasticidad, aunque se recomienda minimizar el uso de cal para reducir emisiones de CO₂.

3.1.2. A nivel nacional

Tuesta & C.A. (2020) se propusieron analizar los efectos del uso de romerillo y la incorporación de residuos de la industria azucarera en la composición de la superficie de tránsito para el tramo vial que conecta Baños Sulfurosos con Shucshuyacu, ubicado en la jurisdicción de Jepelacio, en Moyobamba. Este estudio se realizó como parte de su tesis de pregrado en la UCV, Lima, Perú. La metodología adoptada fue de naturaleza cuantitativa, con un enfoque descriptivo-explicativo, diseño experimental. La muestra consistió en 100 metros de la vía, seleccionando una calicata como representación. Los hallazgos indicaron que el suelo natural, clasificado como suelo arenoso limoso según el sistema SUCS, con clasificaciones SM, SC y SM-SC, exhibió un CBR del material de romerillo del 95% y 100% de su DMS, con valores de 15.40% y 19.53%, respectivamente. Al agregar melaza de caña en proporciones de 0%, 1%, 3% y 4.5%, se obtuvieron valores de CBR de 17.50% y 23.72%, 23.30% y 27.90%, y 18.30% y 24.49%, respectivamente. Como conclusión, se confirmó que el material de romerillo, combinado con la incorporación de residuos de la industria azucarera, tiene un impacto significativo en el aumento del CBR

en comparación con un diseño convencional. La proporción óptima identificada fue del 3% de melaza, optimizando la cohesión y durabilidad de la superficie de tránsito.

Cahuana & F.S. (2016) se propusieron establecer la cantidad adecuada de cloruro de calcio y melaza de caña como agentes estabilizadores de terrenos de las rutas locales no asfaltadas en la zona de Barranca. Para lograr este objetivo, llevaron a cabo su investigación en las canteras Agrokasa y San Pedrito 1, seleccionando una muestra de 5 km y extrayendo 0.5 m³ de material granular. La metodología que emplearon fue de tipo cuantitativo, con un enfoque explicativo y un diseño experimental. En su proceso de investigación, realizaron ensayos con CaCl₂ en concentraciones del 1, 4 y 6% en peso del material compactado, y con melaza de caña en concentraciones del 2, 4 y 6% en peso del material compactado. Los resultados de estos ensayos fueron presentados a través de tablas comparativas, lo que les permitió identificar las proporciones óptimas para cada producto junto al material compactado. Estas proporciones se basaron en los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, siguiendo las normativas del MTC. Como conclusión de su estudio, determinaron que la dosificación ideal para emplear el material compactado proveniente de la cantera Drokasa S.A., utilizando CaCl₂ Quim KD40, es del 1% de CaCl₂ en relación al peso del material seco compactado.

Terrones & A. T. (2018) se propusieron evaluar cómo la adición de cenizas de bagazo de caña, en proporciones del 5, 10 y 15% en peso seco, afectaba la solidez de los terrenos con alto contenido de arcilla en la zona de Barraza, ubicada en Trujillo. Para su investigación, seleccionaron una muestra de 6 para ensayos de CBR y 36 para ensayos de compresión simple, igualando la cantidad de muestra a la población. Emplearon una metodología cuantitativa con alcance explicativo y diseño experimental. Sus hallazgos revelaron que la adición de residuos incinerados de caña de azúcar incrementó el rendimiento estructural del terreno en todos los niveles evaluados, siendo más notorio con el 15% de cenizas, donde se notaron avances más significativos en la resistencia del suelo para soportar cargas. El incremento en la calidad del suelo se evidenció en tres ubicaciones

específicas de la vía. Por ejemplo, en el kilómetro 0+011, el CBR aumentó de 1.888% a 22.5%, en el kilómetro 1+524 pasó de 1.843% a 22.4%, y en el kilómetro 3+329 se incrementó de 1.739% a 21.9%. Los investigadores concluyeron que la inclusión de cenizas de bagazo de caña logró aumentar el CBR del suelo en más de 10 veces en estas ubicaciones, demostrando su eficacia como agente estabilizador.

Becerra & Y.N. (2019) buscaron determinar el impacto de aplicar miel de caña en el material de afirmado de la cantera El Gavilán en Cajamarca. Diseñaron una base experimental utilizando una muestra de 32 ensayos de CBR, igualando la cantidad de muestra a la población. Su metodología fue cuantitativa, con alcance explicativo y diseño experimental. Los hallazgos mostraron que el CBR del material de afirmado sin miel de caña era del 71% para 0.1" y del 100% para 0.2". La adición de un 2% de miel de caña aumentó el CBR: para 0.1" subió hasta un 4.22%, y para 0.2" hasta un 44%. Observaron variaciones en el CBR con diferentes porcentajes de miel: para 0.1", con 2% de miel el CBR fue 74%, con 5% bajó a 18%, y con 10% descendió a 4.4%. Para 0.2", con 2% de miel alcanzó 144%, con 5% fue 72%, y con 10% llegó a 82%. Concluyeron que la inclusión de miel de caña afecta significativamente el índice CBR del material de afirmado, con resultados cambiantes según el porcentaje utilizado.

Córdoba & J.W. (2018) se enfocaron en establecer los impactos de la vinaza de caña de azúcar en la mejora de suelos cohesivos en Huancayo. Estudiaron el Jr. San Martín, que abarca 10 cuadras en la provincia de Huancayo, región Junín, centrándose en las cuadras 2 y 3. Aplicaron una metodología cuantitativa con enfoque descriptivo y explicativo, y diseño experimental. Sus hallazgos indicaron que el uso de vinaza de caña de azúcar para mejorar terrenos cohesivos resulta más económico que los aditivos convencionales como la cal. Además, comprobaron la eficacia de la vinaza para estabilizar suelos cohesivos. Como conclusión, establecieron que la vinaza es un material adecuado para su uso como sub-rasante según el manual de carreteras, presentándola como una alternativa tanto económica como efectiva para la estabilización de suelos.

3.1.3. A nivel regional y local

Condori & Huamani (2018) llevaron a cabo un estudio para evaluar si el uso del aditivo Z, compuesto por un polímero artificial, aumentaba el CBR del material empleado como base en una vía regional de Apurímac, Perú. El estudio se centró en un tramo de 14.050 km entre el puente Ullpuhuaycco y Karkatera. Utilizaron material de la cantera Condebamba, cuyo volumen total utilizable era de 12,152 m³, seleccionando una muestra de 84 kg para los ensayos de laboratorio. Siguiendo el enfoque cuantitativo con un diseño experimental-explicativo. Los resultados revelaron un incremento promedio del 15% en el CBR al aplicar diferentes dosis del polímero. Los investigadores concluyeron que la adición del polímero mejoraba la compactación del terreno, minimizando el índice de vacíos entre los elementos y, por ende, aumentando la estabilidad del material.

Farfán & J. (2021) ejecutó un estudio para analizar los cambios en la consolidación de suelos de baja capacidad portante, empleando aditivos de origen natural en la carretera de circunvalación de Abancay, en Apurímac. La investigación se enfocó en un tramo de 490 metros de la vía, específicamente desde el kilómetro 03+00 hasta el 03+490. Empleó un método hipotético-deductivo con un diseño experimental-explicativo. Los resultados mostraron que la mejor estabilización se logró con un tratamiento que consistía en una mezcla de 6% de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y 6% de sal (NaCl). Este tratamiento alcanzó un CBR al 100% de 19.13% y al 95% de 14.39%, lo que clasificó la subrasante como buena según los parámetros de CBR. Sin embargo, en cuanto al índice de consistencia, todos los tratamientos probados resultaron estadísticamente equivalentes. El estudio concluyó que la adición de componentes naturales a los suelos blandos puede proporcionar resultados óptimos en términos de estabilización.

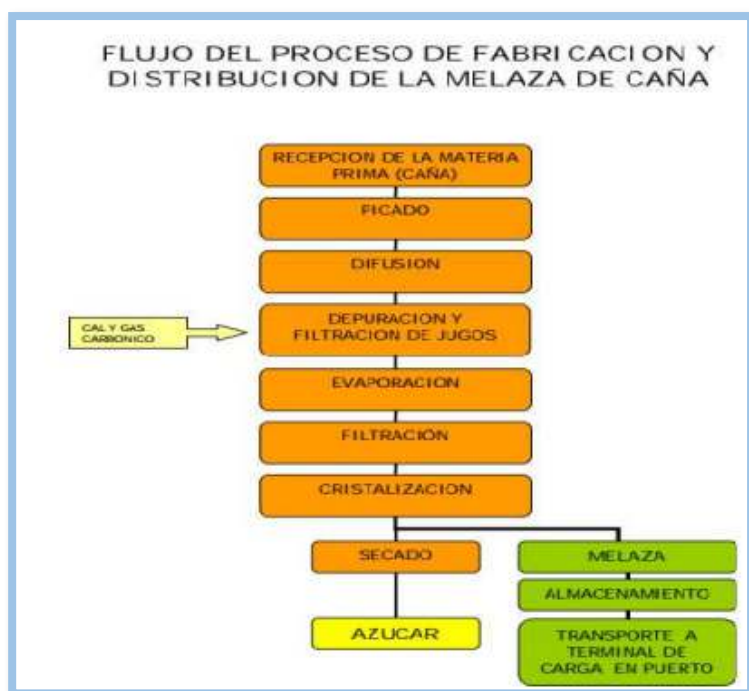
3.2. Bases teóricas

3.2.1. Variable independiente: miel de caña

Definición de la miel de caña. también conocida como melaza, es el subproducto espeso y viscoso que resulta del proceso final de cristalización del azúcar. Este residuo se genera durante la etapa de evaporación y cristalización en la producción azucarera, como señalan Fajardo y Sarmiento (2007, p. 23).

Figura 1

Flujo del proceso de fabricación de la miel o melaza de caña



Nota: La figura representa el proceso de fabricación y distribución de la melaza de caña o también llamado miel de caña. Tomado Tuesta C.A (2020)

Composición, propiedades mecánicas y físicas de la miel de caña. La miel de caña o melaza tiene una composición diversa que cambia según factores como la variedad de caña, condiciones de cultivo, clima y métodos de producción. Su composición se ve afectada por el proceso de fabricación, incluyendo la ebullición del azúcar y la eficiencia de

los evaporadores utilizados (Tuesta, 2020). En la Tabla 1 se describe la composición de la miel de caña.

Tabla 1

Composición aproximada de la melaza o miel de caña de azúcar

Componentes	Constituyentes	Contenido P/P
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60-63% p/p
	Azúcares reductores	3-5% p/p
	Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4-8% p/p
	Agua	16%
	Grasas	0.40%
	cenizas	9%
	Calcio	0.74%
	Contenido de minerales	Magnesio
	Fosforo	0.08%
	Potasio	3.67%
	Glisina	0.10%
Contenido de aminoácidos	Leusina	0.01%
	Lisina	0.01%
	Treosina	0.06%
	Valina	0.02%
Contenido de vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48.86 ppm
	Ácido pantoténico	42.9 ppm
	Piridoxina	44 ppm
	Riboflavina	4.4 ppm
	Tiamina	0.88 ppm

Nota: Adaptado Tuesta, C.A (2020).

3.2.2. Variable dependiente: California Bearing Ratio del material de afirmado.

El CBR es una propiedad mecánica fundamental del suelo en el contexto de la pavimentación. Sin embargo, otras propiedades igualmente relevantes, como el contenido de humedad, la granulometría, los límites de consistencia y la abrasión de los ángeles, también influyen en el tipo y las características del suelo. A continuación, se detallan los conceptos asociados a estas propiedades.

Contenido de humedad. Es una medida que describe la relación entre aire, agua y sólidos en un volumen específico de material. Se utiliza ampliamente para completar diagramas de fase y se puede determinar en casi cualquier muestra (según MTC E 108). En este estudio, se calculará el contenido de humedad del suelo según las normas establecidas.

Análisis granulométrico. Este ensayo determina la clasificación dimensional de los componentes en materiales granulares, ya sea para su uso potencial o actual. Los resultados se usan para verificar el cumplimiento de especificaciones técnicas y controlar la producción. El proceso implica pasar un espécimen seco de masa reconocido por una serie de tamices de tamaño decreciente para determinar la distribución de partículas (según MTC E 204, 2000).

El procedimiento para este ensayo, según las normas MTC E 204 y ASTM C136, es el siguiente:

- ✓ Preparación: Se seca la muestra a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se utiliza el cuarteo para mezclar completamente el agregado, manteniendo una humedad que evite segregación y pérdida de finos.
- ✓ Agregado fino: Se requiere un mínimo de 300 gramos de muestra seca.
- ✓ Agregado grueso: El peso del espécimen seco varía según lo especificado en la Tabla 2.

- ✓ Para combinaciones de materiales pétreos de distintos tamaños, se separa la muestra usando el tamiz N°4 y se prepara cada parte según las indicaciones correspondientes.

Tabla 2

Pesos mínimos de muestra para ensayo de granulometría

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas (pulgadas)	Peso mínimo de la muestra de ensayo (kg)
3/8	1
1/2	2
3/4	5
1	10
1 1/2	15
2	20
2 1/2	35
3	60
3 1/2	100
4	150
4 1/2	200
5	300
6	500

Nota: Adaptado del MTC (2014).

Para este proceso, se utilizan los siguientes instrumentos:

- ✓ Una balanza que pueda medir con precisión al menos el 0.1% del peso del espécimen.
- ✓ Una serie de cribas seleccionadas según las propiedades del material que se va a analizar.
- ✓ Un horno que pueda mantener una temperatura estable de 110°C, con un margen de error de $\pm 5^\circ\text{C}$.

El método para analizar la granulometría del suelo, conforme a los estándares nacionales e internacionales, es el siguiente:

- ✓ Desecar la muestra a 110°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) hasta que su peso se mantenga constante.
- ✓ Organizar las cribas escogidas de mayor a menor apertura de malla.
- ✓ Tamizar el espécimen, ya sea manualmente o con un dispositivo mecánico, durante el tiempo necesario.
- ✓ Regular el volumen de muestra en cada criba para garantizar que los granos tengan oportunidades suficientes de pasar por los orificios durante el tamizado.
- ✓ Prolongar el tamizado lo suficiente para garantizar que no más del 1% de la masa retenida en cualquier tamiz lo atraviese en un minuto de tamizado manual.
- ✓ Finalmente, pesar cada fracción de material con la balanza. La masa íntegra posterior al cribado ha de coincidir con la masa original del espécimen. Si la diferencia supera el 0.3% del peso seco original, el resultado no se considerará válido para su aceptación.

En la presente investigación se desarrolló y se midió los ensayos en:

a. Abrasión los Ángeles.

Este procedimiento evalúa la resistencia de los áridos a la degradación, utilizando muestras con granulometrías estandarizadas. El proceso simula desgaste por abrasión, colisión y fragmentación en un cilindro giratorio de acero. Dentro de este, se colocan esferas de acero cuyo número varía según la composición granulométrica del material analizado. Al rotar el cilindro, una pestaña metálica eleva la mezcla de áridos y esferas, dejándola caer en el lado opuesto. Esta acción genera un efecto de impacto y trituración que se repite continuamente durante el giro del tambor. Tras completar un número específico de rotaciones, se extrae el material del cilindro y se tamiza. La degradación se cuantifica como un porcentaje de pérdida de masa, comparando el peso inicial con el remanente tras el ensayo (MTC E207, 2016).

De acuerdo con las normas MTC E 207, ASTM C131 y NTP 400.019, el ensayo se realiza de la siguiente manera:

Acondicionamiento del espécimen:

- ✓ Deshidratar el material a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ antes del ensayo.

Equipamiento necesario:

- ✓ Máquina de Los Ángeles
- ✓ Juego de tamices
- ✓ Balanza con precisión del 0.1% de la carga de ensayo
- ✓ Esferas de acero como carga abrasiva

Proceso de ensayo:

- ✓ Colocar el espécimen y los elementos erosivos en la máquina.
- ✓ Accionar el dispositivo a una velocidad entre 30 y 33 rpm por un total de 500 giros.
- ✓ Retirar el contenido y tamizarlo utilizando una malla N°12.
- ✓ Enjuagar la fracción retenida en la malla N°12, excepto si el agregado carece de revestimientos o polvo.
- ✓ Desecar la porción lavada en una estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa estable.
- ✓ Pesar el material seco con una precisión de 1 gramo.
- ✓ Si el agregado está limpio y sin polvo, se puede omitir el lavado, pero siempre es necesario el secado previo al ensayo.

b. Límite líquido.

El límite plástico es el contenido de humedad en el que el suelo comienza a mostrar propiedades plásticas. Para este ensayo, se utiliza material que ha sido secado y pasado por malla N°40. Se prepara una muestra mezclando una porción de este suelo con agua durante aproximadamente 10 minutos usando una espátula. Parte de esta mezcla se usa luego en la copa de Casagrande para determinar el Límite Líquido (según ASTM D 4318, 2005).

De acuerdo con las normas MTC E111, ASTM D4318 y NTP E 339.130, el procedimiento del ensayo es el siguiente:

- ✓ Combine tierra y agua en un recipiente de porcelana hasta obtener una masa uniforme.
- ✓ Coloque una porción de esta mezcla en el dispositivo Casagrande, asegurando un grosor de 1 cm.
- ✓ Crear una hendidura central con la herramienta apropiada.
- ✓ Active el mecanismo a una frecuencia de dos impactos por segundo hasta que los bordes de la ranura se junten 1,27 cm en la base. Anotar la cantidad de golpes necesarios.
- ✓ Extraer una muestra del área unida para analizar su nivel de humedad.
- ✓ Ejecutar nuevamente el procedimiento, modificando la humedad según el resultado anterior (el rango aceptable es de 6 a 35 golpes).
- ✓ Limpiar el instrumento de corte entre pruebas.
- ✓ Efectuar como mínimo tres ensayos completos.
- ✓ Elaborar un gráfico de fluidez en formato semilogarítmico: eje X para el número de golpes (escala logarítmica) y eje Y para el porcentaje de humedad (escala natural).
- ✓ El límite líquido se definirá como el contenido de humedad que corresponde a 25 golpes en la curva resultante.

Los materiales necesarios incluyen la muestra de suelo preparada y los instrumentos mencionados en el procedimiento.

c. Límite plástico.

Es el contenido de humedad en el que el suelo, tras pasar por el tamiz N°40, adquiere una consistencia entre plástica y semisólida. Se prepara la muestra mezclándola con agua hasta lograr la consistencia adecuada. Luego, se forma un cilindro rodando una porción de la muestra sobre una superficie plana con los dedos. El procedimiento se ejecuta como mínimo en dos ocasiones adicionales para calcular un valor medio de humedad (ASTM D 4318, 2005).

d. Índice de plasticidad.

Se determina restando el LP del LL. Este índice indica el rango de plasticidad del suelo (ASTM D 4318, 2005).

e. Compactación Proctor modificado.

Esta prueba establece el nivel ideal de humedad para lograr la mayor densidad seca posible en el terreno. Se emplea material tamizado con malla N°4, elaborando especímenes con distintos grados de humectación. La tierra se consolida en un recipiente específico, distribuyéndola en cinco estratos y aplicando 56 impactos a cada uno. Se mide el peso del conjunto compactado y se calcula su contenido hídrico. Para concluir, se genera un gráfico de compactación que permite identificar la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptimo correspondiente (ASTM D 1557, 2005).

Según las normas MTC E 115 y ASTM D1557 (2005), se requieren:

Materiales:

- ✓ Muestra de tierra alterada y sin humedad
- ✓ Papel para filtración

Equipos:

- ✓ Conjunto Proctor modificado (contenedor cilíndrico, base plana, extensión anular)
- ✓ Compactador Proctor modificado
- ✓ Báscula con precisión de 0,01 g
- ✓ Horno con regulación térmica
- ✓ Cilindro graduado de 1000 ml
- ✓ Contenedor con capacidad de 6 kg.
- ✓ Herramienta para mezclar
- ✓ Destinatarios debidamente etiquetados

Procedimiento:

- ✓ Preparar cinco muestras con diferentes contenidos de humedad.
- ✓ Ensamblar el equipo Proctor modificado.
- ✓ Consolidar cada espécimen en cinco estratos (aplicando 25 o 56 impactos por nivel, dependiendo del procedimiento elegido).
- ✓ Calcular la densidad con humedad y el porcentaje de agua presente en cada muestra analizada.
- ✓ Calcular las densidades secas, Graficar la curva de compactación.
- ✓ Identifique el punto máximo de densidad seca y el nivel ideal de humedad.

Tabla 3

Selección de método Proctor.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	PROCTOR MODIFICADO		
			A	B	C
1	MÉTODO		A	B	C
2	CONDICIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO		% Ret. Acum. N°4 ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≤ 20% % Ret. Acum. N°4 ≥ 20%	% Ret. Acum. 3/4" ≤ 30% % Ret. Acum. 3/8" ≥ 20%
3	Tipo de material utilizado		Pasante malla N°4	Pasante malla 3/8"	Pasante malla 3/4"
4	N° DE CAPAS	N	5	5	5
5	N° DE GOLPES	N	25	25	56
6	DIÁMETRO DE MOLDE	Cm	10.16+- 0.04	10.16+- 0.04	15.24+- 0.07
7	ALTURA DEL MOLDE	cm	11.64+-0.05	11.64+-0.05	11.64+-0.05
8	VOLUMEN DEL MOLDE	Cm3	944+-0.15	944+-0.15	2124+- 0.25

9	PESO DEL MARTILLO	Kg	4.54+-0.01	4.54+-0.01	4.54+-0.01
10	ALTURA CAÍDA DEL MARTILLO	cm	45.72+-0.16	45.72+-0.16	45.72+-0.16
11	DIÁMETRO DEL MARTILLO	cm	5.08+-0.025	5.08+-0.025	5.08+-0.025
12	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	Kg/cm	27.485	27.485	27.485

Nota: Tomado de la norma internacional ASTM D1557, 2005.

f. California Bearing Ratio – CBR.

Mide la capacidad resistente del suelo a la penetración de fuerzas (MTC E 132, 2013). Este procedimiento sigue las normas MTC E 132, ASTM D1883 y ASTM D4429.

Materiales y equipos necesarios:

- ✓ Espécimen de suelo seca y papel filtro
- ✓ Máquina CBR completa (moldes, discos espaciadores, placas de expansión, sobrecargas)
- ✓ Pisón
- ✓ Balanza de precisión 0.01g
- ✓ Diales de expansión (0.01 mm)
- ✓ Estufa, probeta de 1000 ml, recipiente de 6kg, espátula y taras identificadas

El ensayo consta de tres fases:

Compactación CBR:

- ✓ Preparar la muestra con la humedad óptima del ensayo Proctor Modificado
- ✓ Compactar en tres moldes con 13, 27 y 56 golpes por capa, respectivamente
- ✓ Determinar densidad húmeda, contenido de humedad y densidad seca

Ensayo de hinchamiento:

- ✓ Invertir los especímenes y colocar accesorios.
- ✓ Sumergir en agua por 96 horas, registrando expansión pasado un día.

Ensayo de carga-penetración:

- ✓ Drenar las muestras por 15 minutos
- ✓ Aplicar sobrecarga y realizar ensayo de penetración con pistón a 0.05 pulg/min
- ✓ Documentar los valores de fuerza aplicada y profundidad alcanzada
- ✓ Volver a calcular la densidad en estado húmedo y el porcentaje de agua presente

Análisis de resultados:

- ✓ Dibujar curvas esfuerzo-deformación para cada muestra
- ✓ Determinar esfuerzos correspondientes a penetraciones específicas
- ✓ Calcular índices CBR dividiendo esfuerzos de la muestra entre esfuerzos patrón
- ✓ Dibujar curvas densidad seca vs. CBR
- ✓ Determinar el CBR de diseño como el valor más bajo al 95% de la densidad seca máxima

Este procedimiento se utilizó en la investigación para alcanzar el valor CBR del terreno estudiado.

3.2.3. Procedimiento de los ensayos que se realizarán para la obtención de CBR.

Tras la recolección del material de afirmado de la cantera y la miel de caña, se procederá a realizar la siguiente serie de ensayos:

- ✓ Evaluación del contenido de humedad del afirmado.
- ✓ Ejecución del análisis granulométrico.
- ✓ Medición de la resistencia a la abrasión "Ensayo Los Ángeles".

- ✓ Determinación de los límites de Atterberg).
- ✓ Realización del ensayo Proctor modificado en dos fases: a) Con el material de afirmado sin adición de miel de caña. b) Con el material de afirmado incorporando miel de caña en proporciones de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% del peso seco de la muestra.

3.3. Definición de términos

Abrasión: Deterioro físico de agregados y rocas debido a la acción de frotamiento e impacto (MTC glosario de términos, 2013).

Agregado: Sustancia particulada constituida mayormente por una combinación de sedimentos arenosos, guijarros, residuos de fundición o fragmentos de piedra procesada, utilizado en diversos tamaños para mezclas de construcción (MTC, 2013).

Cantera: Área en estado original de la cual se obtienen recursos idóneos para la edificación, optimización y conservación de vías de tránsito terrestre (MTC, 2013).

Compactación: Técnica manual o mecánica para reducir espacios vacíos en suelos y mezclas de construcción (MTC, 2013).

Curva de compactación: Representación visual que ilustra el vínculo entre la masa por unidad de volumen sin humedad y el porcentaje de líquido presente en el terreno, sometido a una determinada fuerza de consolidación (MTC, 2013).

Ensayo de contenido de humedad: Prueba para estimar la proporción de agua en una muestra de material (MTC E 108).

Ensayo de análisis granulométrico: Ensayo para evaluar la composición granulométrica de los áridos utilizando cribas (MTC E 204).

Ensayo de abrasión Los Ángeles: Prueba para evaluar la resistencia de los agregados al desgaste mediante rotación en un tambor con esferas de acero (MTC E207).

Ensayo de Límite Líquido: Ensayo para establecer el nivel de agua en el cual un terreno transita de consistencia plástica a estado fluido (ASTM D 4318).

Ensayo de Límite Plástico: Ensayo para establecer el porcentaje de agua en el cual un terreno cambia de condición semisólida a maleable (ASTM D 4318).

Índice de Plasticidad: Diferencia entre el LL y el LP, indicando el rango de plasticidad del suelo (ASTM D 4318).

Ensayo de compactación Proctor Modificado: Ensayo para establecer la compensación entre el nivel de agua y la máxima compactación de un terreno seco (ASTM D 1557).

Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo para evaluar la capacidad de un terreno para soportar fuerzas de cizallamiento (MTC, 2013).

Miel de caña: Subproducto líquido y viscoso resultante de la producción de azúcar de caña (Fajardo & Sarmiento).

Procedimiento de cálculo de CBR: Método para evaluar las propiedades mecánicas del suelo, incluyendo pruebas con diferentes porcentajes de miel de caña añadida (Fajardo & Sarmiento).

IV. Metodología de investigación

4.1. Tipo y nivel de investigación

Método de la investigación

Nel Quezada (2010) define el método como el camino para obtener las metas preestablecidas. El autor enfatiza la distinción entre método y metodología, indicando que el método consiste en los pasos a seguir para lograr objetivos, mientras que la metodología abarca el análisis de dichos pasos.

Nel Quezada (2010) también describe la evolución de la investigación, que ha dado lugar a diversos métodos, destacando el inductivo y el deductivo. El autor explica que el inductivo va de lo particular a lo global, mientras que el deductivo procede de lo global a lo específico. Este estudio emplea el método deductivo, basándose en premisas fundamentadas en investigaciones previas, literatura especializada y normas de construcción geotécnica para pavimentos. Estas premisas se aplicaron experimentalmente para mejorar el CBR del material de afirmado de la cantera Murillo mediante aditivos, buscando resultados específicos para este material de pavimentación.

Según Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018), el estudio adopta un enfoque cuantitativo basado en el razonamiento deductivo. Los autores explican que este enfoque parte de la teoría para formular hipótesis que luego se ponen a prueba, avanzando de lo general a lo particular. La secuencia se inicia con un concepto apoyado por interrogantes y metas, fundamentado en principios teóricos de geotecnia y fundaciones. Los cuestionamientos dan origen a suposiciones que se verifican a través de un enfoque metodológico particular. Los hallazgos se analizan estadísticamente, enfocándose en variables relacionadas con la adición de miel de caña. Finalmente, se extraen conclusiones en relación con las hipótesis planteadas.

4.1.1. Tipo de investigación

Esta tesis se clasifica en dos tipos principales según el propósito del investigador: la básica, que se enfoca en expandir el conocimiento teórico, y la aplicada, que utiliza el saber existente para abordar problemas concretos. Este estudio aplica la investigación aplicada, la cual, como señalan Zamora y Calixto (2021), se orienta a resolver problemas específicos de la sociedad mediante la aplicación práctica del conocimiento acumulado. En este caso particular, la investigación se apoya en el corpus de conocimientos previamente establecido por otros investigadores y en las normativas tanto nacionales como internacionales que definen los requisitos mínimos y los métodos para evaluar las características de un suelo concebido para su uso como capa de rodadura.

4.1.2. Nivel o alcance de la investigación.

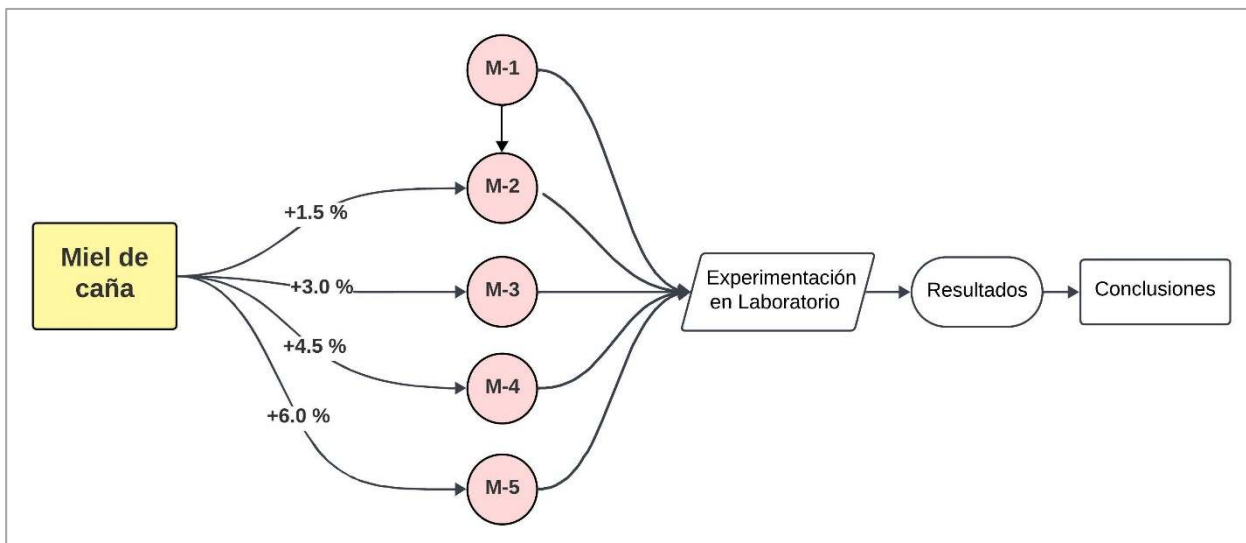
En esta tesis, el alcance se define como correlacional. Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018) destacan que el beneficio más significativo de las investigaciones de evaluación radica en su aptitud para predecir el desempeño de un factor a partir de la conducta de otros factores vinculados. En esta investigación específica, se examina la relación entre la variable independiente (la adición de miel de caña, en distintos porcentajes) y la variable dependiente (el California Bearing Ratio del material de afirmado). Se observa una relación positiva o directamente proporcional entre estas variables, lo que permite evaluar cómo la variable independiente influye sobre la dependiente. Kerlinger (1986) aporta una perspectiva adicional sobre la investigación correlacional, señalando que este tipo de estudio se centra en examinar las relaciones e interacciones entre dos o más variables, sin necesariamente profundizar en las relaciones de causa y efecto. El enfoque principal está en comprender cómo las variables se relacionan entre sí, más que en determinar causalidad directa.

Diseño de la investigación

Una vez identificado el problema de investigación, establecido el alcance inicial y formuladas las hipótesis (si aplica), el investigador debe desarrollar una estrategia concreta para abordar las interrogantes de estudio y obtener las metas propuestas. Esto implica elegir o crear uno o más diseños de investigación adaptados al contexto específico del estudio.

El diseño se sustenta al esquema o enfoque para recopilar la información requerida. En el enfoque cuantitativo, como es el caso de esta tesis, el diseño se utiliza para verificar la validez de las hipótesis en un contexto particular o para proporcionar evidencia relacionada con las directrices de la investigación. Yin (2009) describe el diseño de investigación como un plan lógico que conecta los datos a recopilar y las conclusiones a extraer con las preguntas iniciales del estudio.

Esta tesis adopta un diseño experimental, que consiste en una muestra de control sin aditivos y cuatro muestras con diferentes porcentajes de miel de caña. Estas muestras se someterán a pruebas de laboratorio para evaluar las características físicas y mecánicas del CBR. Los hallazgos alcanzados permitirán extraer conclusiones sobre las hipótesis planteadas en relación con el efecto de la miel de caña en las propiedades del material de afirmado.

Figura 2*Diseño de la investigación*

Nota: La muestra 1 (M-1) corresponde a la muestra patrón, la cual representa el suelo en su estado natural.

4.2. **Ámbito temporal y espacial**

4.2.1. **Espacial**

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de Abancay, empleando material de relleno extraído de la cantera Murillo, ubicado en el km4 de la vía interoceánica meridional.

4.2.2. **Temporal**

La investigación corresponde al año 2023, en un tiempo de 6 meses.

4.3. **Población y muestra**

4.3.1. **Población**

La población de un estudio, según Arias (2006), es el grupo de elementos con propiedades comunes sobre los que se aplicarán las conclusiones de la investigación. La población está determinada por el material de afirmado de la cantera Murillo en Abancay y la miel de caña de la misma ciudad. La miel se utilizará en proporciones de 1.5%, 3.0%, 4.5% y 6.0% para modificar el material de afirmado.

Figura 3

Ubicación georreferenciada de la zona de extracción de muestra



Nota: Imagen de Google maps.

4.3.2. Muestra

Es esencialmente un subconjunto de la población, distribuida por elementos que comparten las características definitorias de dicha población, como señala Arias (2006). En este estudio se emplea un muestreo no probabilístico, que según Cuesta (2009), implica que la selección de estos no depende de la probabilidad, sino de aspectos relacionados

con las características de la investigación o el criterio del estudiador. Esta elección se justifica por su valor para analizar relaciones de causa y efecto.

Para obtener resultados más precisos sobre cómo la miel de caña afecta las propiedades del suelo en el CBR del material de la cantera, se incluirá a toda la población en el estudio. Este enfoque resulta en una muestra dirigida, típica de investigaciones similares. Al abarcar la totalidad de la población, el tamaño del espécimen coincide con el de la población, lo que permite una evaluación exhaustiva y un análisis completo de los datos obtenidos.

Tabla 6

Cantidad de ensayos mecánicos del suelo.

Ensayos mecánicos del suelo	Días del ensayo	0%	1.5%	3.0%	4.5%	6.0%	Sumatoria
Californian Bearing Ratio - CBR	7	4	4	4	4	4	20
Sumatoria total							20

Nota: La tabla expone la cantidad total de ensayos necesarios para el estudio.

4.3.3. Muestreo

Es la elección de un subgrupo poblacional para inferir características de la población completa (Sampieri, 2010).

No se realizó el muestreo ya que la muestra se señala igual a la población.

4.4. Instrumentos

4.4.1. Técnica de recolección de datos.

Este estudio empleó principalmente la observación científica como método de recolección de datos. Sivestre Miraya & Huamán Nahula (2019) explican que este método implica el registro directo de información por parte del investigador, tal como ocurre en el objeto de estudio. Se utilizaron tres variantes de observación: de campo (para examinar el suelo y su estratificación), de laboratorio (para analizar las características físicas y mecánicas del material de afirmado), y experimental (para evaluar cómo la miel de caña afecta el CBR del afirmado). Además, la investigación se apoyó en la revisión documental para comprender mejor los conceptos de ingeniería geotécnica, sus procedimientos y antecedentes relevantes.

4.5. Procedimientos

Para este estudio se utilizaron fichas de observación y control como instrumentos principales. Pardo y Ruiz (2005) describen estas fichas como herramientas sencillas pero muy efectivas para registrar datos obtenidos mediante la observación directa. En esta investigación, estas fichas se emplearon para documentar los resultados de las pruebas de laboratorio y de campo realizadas al material de cantera, tanto en su estado natural como con la adición de miel de caña.

4.6. Análisis de datos

La prueba t de Student se utilizó como herramienta estadística principal. Esta prueba permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias de dos grupos distintos. Se emplea para evaluar hipótesis sobre diferencias entre grupos, donde la hipótesis de investigación sugiere la existencia de diferencias significativas, mientras que la hipótesis nula plantea lo contrario. Esta prueba se puede aplicar a diversos tipos de grupos y variables dependientes. En casos de múltiples variables, se realizan pruebas t separadas para cada una.

Para llevar a cabo este análisis estadístico, se utilizó el software JAMOVI, una herramienta especializada que permitió abordar las hipótesis de la investigación de manera precisa y eficiente.

4.7. Consideraciones éticas.

Responsabilidad: Se siguió estrictamente el cronograma planificado y se respetaron las normas y procedimientos de cada ensayo para garantizar la fiabilidad de los datos.

Honestidad: El estudio se diseñó específicamente para abordar la problemática del área en cuestión, asegurando su originalidad. Todos los datos se recolectaron y manejaron con integridad, evitando cualquier forma de plagio.

V.Resultados y discusión

5.1. Resultados

En cuanto a este capítulo, se presentan de manera organizada, siguiendo la secuencia establecida por los objetivos específicos delineados previamente. Se destacan los valores clave que son fundamentales en el análisis del suelo. Asimismo, los resultados se exponen de acuerdo con el objetivo general, en consonancia con los lineamientos establecidos en el marco teórico y metodología.

5.1.1. Respuesta al objetivo general

“Determinar los efectos de la adición de miel de caña sobre el California Bearing Ratio del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023”.

Después de analizar las propiedades físicas del afirmado, como su humedad natural, granulometría y límites de consistencia, se continuó con el ensayo de compactación para alcanzar el grado máximo de compactación y la humedad óptima. Posteriormente, se realizó el CBR para estimar la capacidad de soporte del material de afirmado patrón. A continuación, se detalla los hallazgos del CBR al suelo con adición y sin adición de miel de caña.

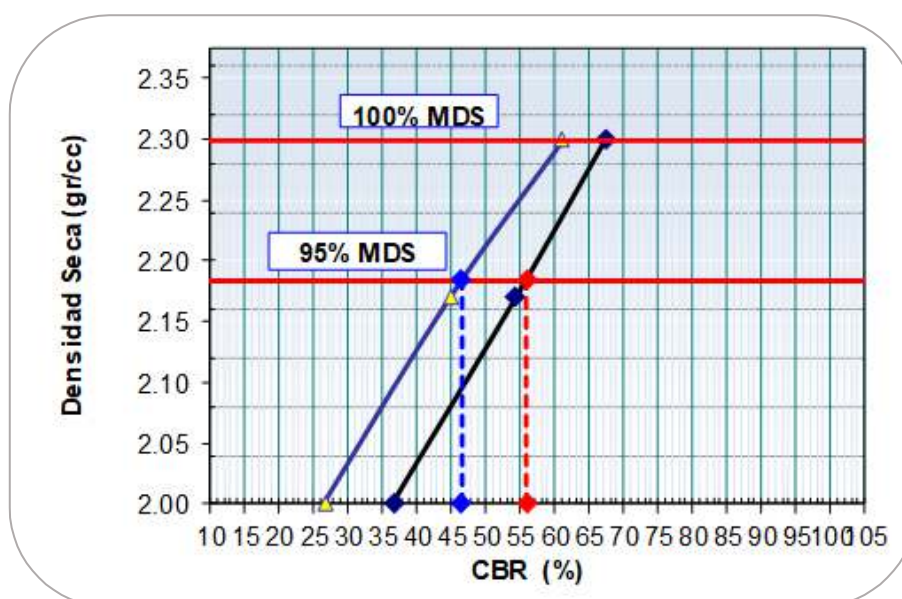
California Bearing Ratio - CBR de la muestra patrón. Se realizó la determinación del CBR de la muestra patrón tanto al 100% como al 95%, siguiendo el procedimiento estipulado por la normativa correspondiente.

Tabla 4*CBR de la muestra patrón*

Datos del Proctor			
Máxima Densidad Seca:		2.29	gr/cc
Óptimo Contenido de Humedad:		7.20	%
Porcentaje del CBR			
CBR AL 100%	%	0.1": 61.18	0.2": 67.29
CBR AL 95%	%	0.1": 46.50	0.2": 56.00

Nota: En el presente cuadro se presentan los hallazgos del espécime patrón. Se observa un CBR del 56% con un intervalo de confianza del 95%, mientras que para el 100% se obtiene un valor de 67.29%.

La siguiente figura presenta gráficamente el valor del CBR al 95% y 100% en relación con la densidad seca.

Figura 4*Representación gráfica del CBR de la muestra patrón*

Nota: En la ilustración se aprecia la línea de color azul que representa el valor del CBR al 95%, mientras que la línea roja representa el valor del CBR al 100%.

California Bearing Ratio - CBR de la muestra patrón y con adición de miel de caña. Luego de realizar los procedimientos establecidos, se determinaron los hallazgos correspondientes a la muestra patrón, tanto con adición de miel de caña en diferentes proporciones como sin ella. Estos datos revelaron un notable aumento en la propiedad analizada, lo cual se evidencia de manera detallada en el cuadro adjunto.

Tabla 5

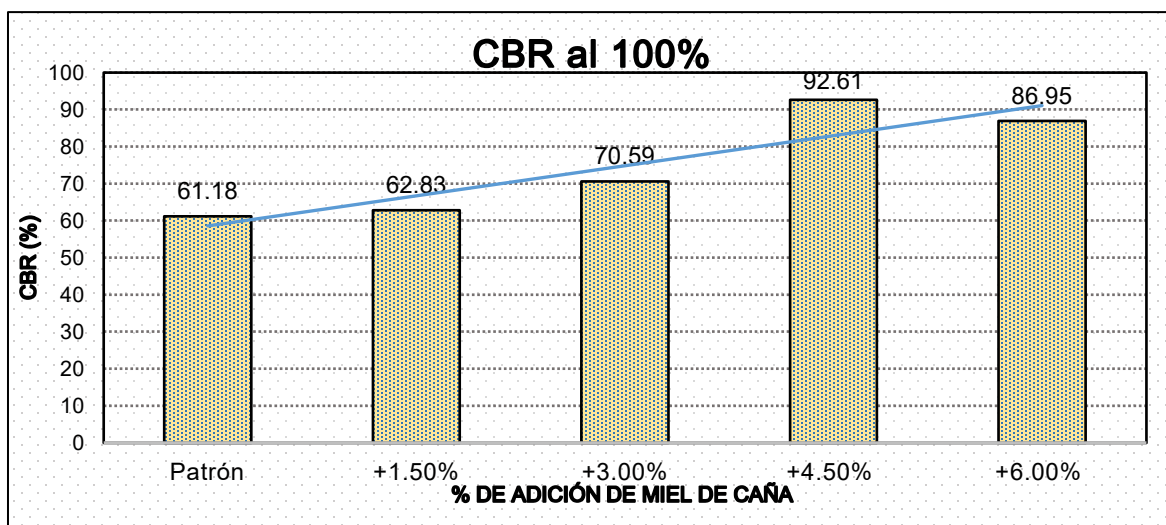
Resultados de CBR de la muestra con adición de miel de caña.

Muestra	Porcentaje del CBR				
	CBR al 100%		CBR al 95%		Expansión (%)
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	
Patrón	61.18	67.29	46.50	56	No expansivo
+ 1.50% de miel de caña	62.83	75.83	45.40	51.70	No expansivo
+ 3.00% de miel de caña	70.59	91.51	54.00	68.80	No expansivo
+ 4.50 % de miel de caña	92.61	112.03	69.00	80.00	No expansivo
+ 6.00 % de miel de caña	86.95	106.18	68.50	79.50	No expansivo

Nota: La presente tabla expone los valores de CBR de la muestra con distintos porcentajes de adición, cabe destacar que el porcentaje de expansión de las muestras es nulo.

Figura 5

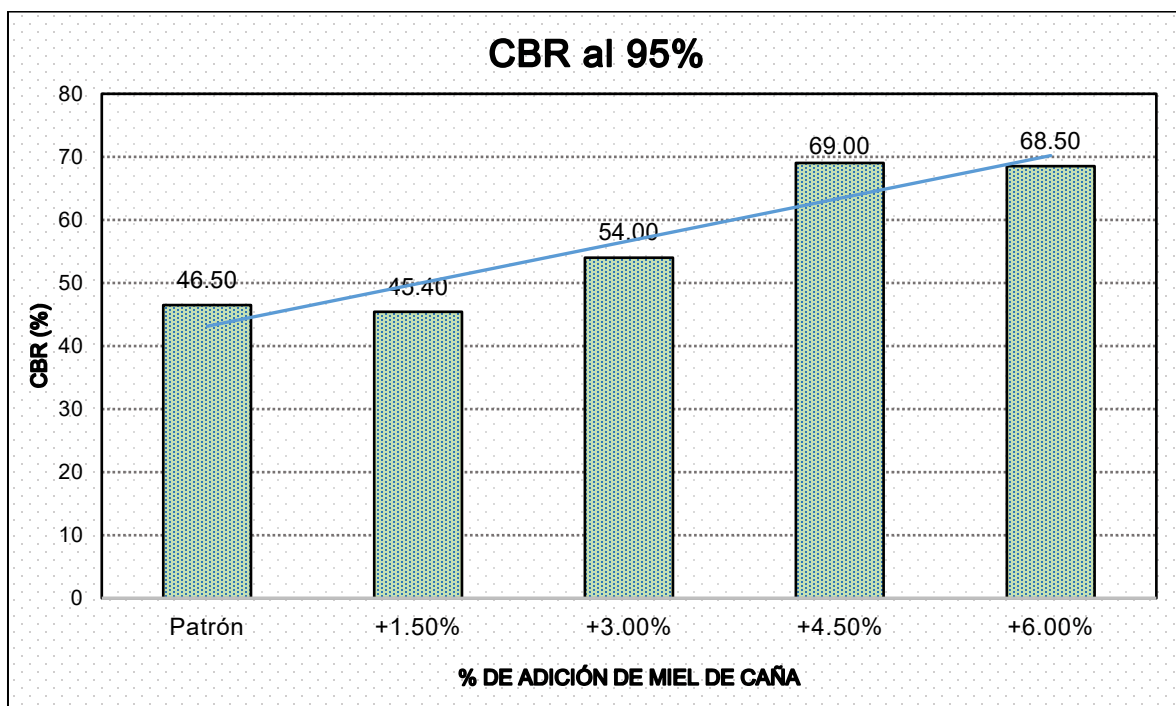
Representación gráfica del CBR al 100 % de la muestra adición de miel de caña



Nota: El gráfico muestra barras que representan el CBR al 100% de la muestra con adición de miel de caña (MC) en diversas proporciones. Es evidente que con una adición del 4.50%, se observa un notable aumento con respecto al valor inicial.

Figura 6

Representación gráfica del CBR al 95 % de la muestra adición de miel de caña

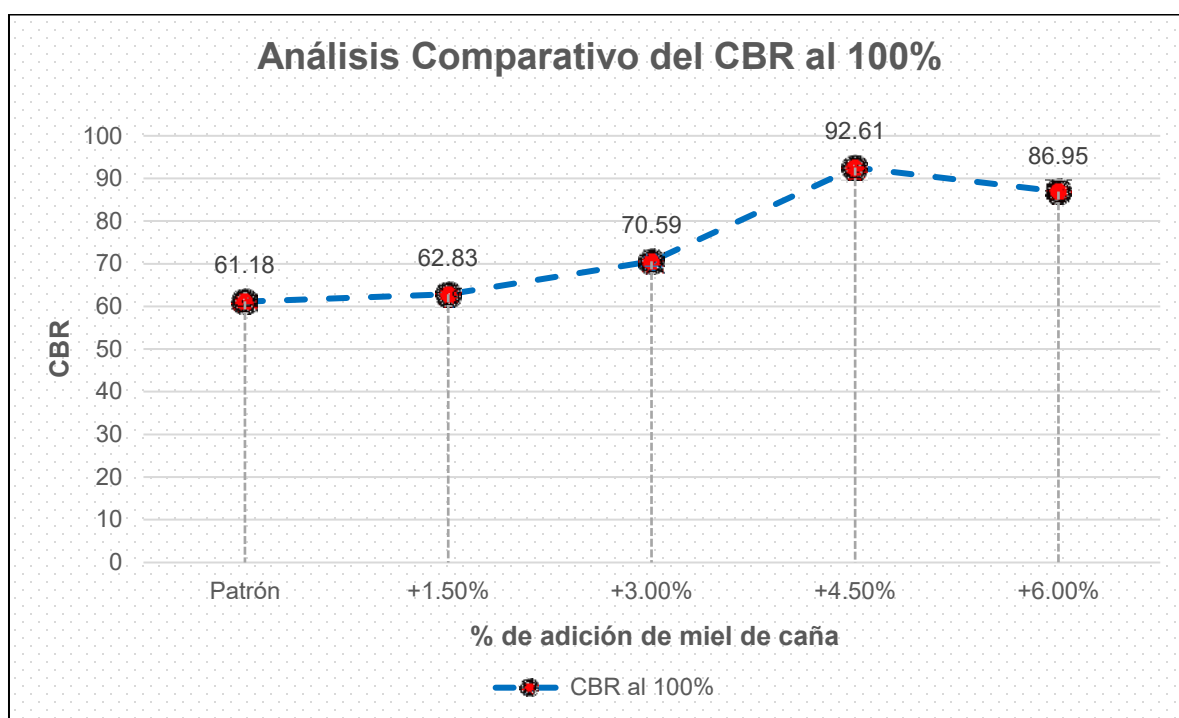


Nota: El gráfico muestra barras que representan el CBR al 95% del espécimen incluyendo (MC) en diversas cantidades. Asimismo, se destaca que con una adición del 4.50%, se observa un notable aumento con respecto al valor inicial.

Finalmente se expone un cuadro comparativo entre los valores para de CBR obtenidos añadiendo miel de caña en diversas proporciones. Cabe mencionar que la proporción óptima de adición fue del 4.50%.

Figura 7

Análisis comparativo del CBR con adición de miel de caña



Nota: Se nota un aumento en el valor del CBR a diferentes proporciones de miel de caña; sin embargo, al adicionar un 6.00%, el valor disminuye en comparación con la adición del 4.50%.

5.1.2. Respuesta al objetivo específico 1

“Analizar los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.”

En esta sección, se detallan los resultados relacionados con las características físicas del afirmado, tanto con cómo sin la inclusión de miel de caña. Se incluyen el análisis granulométrico, límites Atterberg y la gravedad específica. Se exploran específicamente los efectos de la miel de caña en la granulometría y límites de consistencia. Para obtener una comprensión más detallada, se invita a revisar las secciones siguientes.

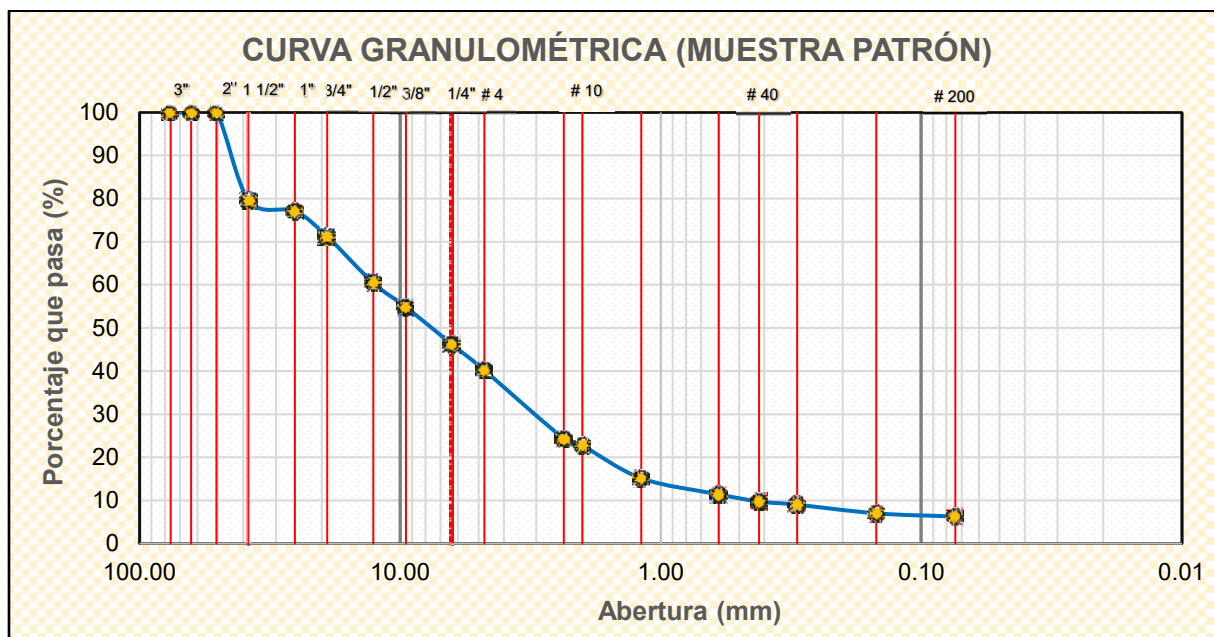
Propiedades Físicas de la muestra Patrón. Se detallan las propiedades físicas de la muestra patrón, aspecto fundamental en cualquier EMS. Se incluyen los análisis granulométricos, límites Atterberg, y gravedad específica para entender la composición y comportamiento del terreno en cuestión.

Análisis granulométrico de la muestra patrón. Entorno a este análisis, se realizó mediante el método del tamizado, obteniéndose valores indispensables para estimar el tipo de suelo y su composición tal como se muestra.

De la misma forma a continuación se detalla la curva granulométrica compuesta por porcentaje que pasa cada partícula de espécimen patrón.

Figura 8

Curva granulométrica de la muestra patrón



Nota: Se destaca que el (CU) es de 28.11 y el (CC) es de 1.7, lo cual indica una composición bien gradada.

Límites de Atterberg de la muestra patrón. Se procesó las muestras respectivas para determinarlos, que consisten en el límite líquido, límite e índice plásticos del espécimen de suelo patrón. En la figura adjunta se muestra

Tabla 6

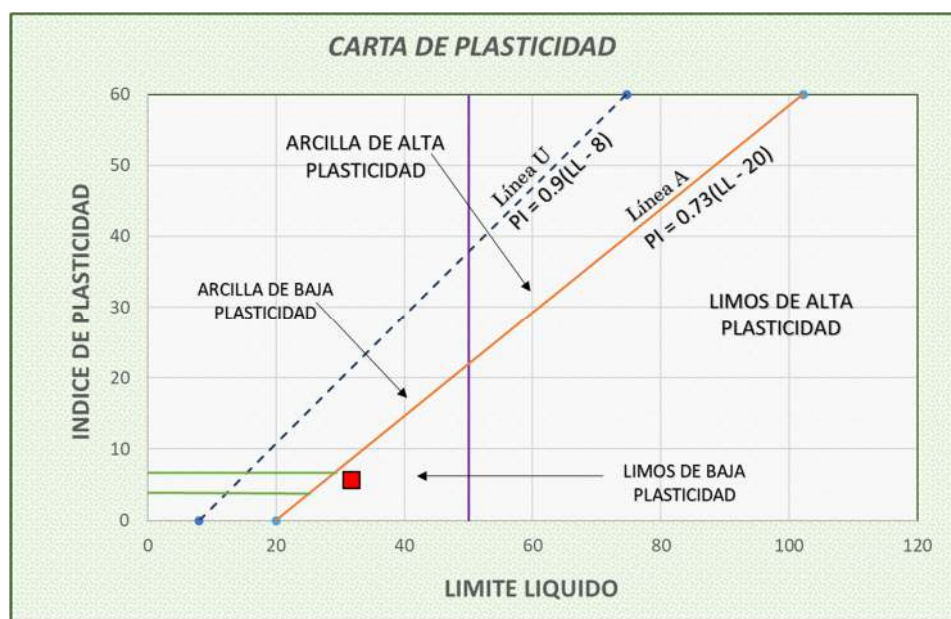
Límites de consistencia de la muestra patrón

Descripción	Muestra Patrón
Límite líquido (%)	31.70
Límite plástico (%)	25.94
Índice de plasticidad (%)	5.75

Nota: Descripción de límites de la muestra patrón

Figura 9

Carta de plasticidad de la muestra patrón



Nota: Se señala que en la figura se aprecia la intersección entre el LL y IP, lo que sugiere la presencia de limo de baja plasticidad. En otras palabras, el la fracción fina de la muestra patrón está compuesta por limos de baja plasticidad.

Para concluir esta sección, se presenta la siguiente tabla que resume todos los datos relevantes sobre el material de afirmado. En ella se destacan las propiedades físicas pertinentes del suelo, incluyendo su clasificación.

Tabla 7

Resumen de las propiedades físicas de la muestra patrón

Descripción de la muestra		
Análisis Granulométrico por tamizado (%)	=	Grava=59.80 Arena=33.9 Fino=6.3
Coef. Uniformidad (CU)	=	28.1
Coef. Curvatura (CC)	=	1.7
Contenido de humedad natural (%)	=	1.66
Límite líquido (%)	=	31.70
Límite plástico (%)	=	25.94

Índice plástico (%)	=	5.75
Clasificación SUCS	=	GW-GM
Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Gravedad Específica (gr/cc)	=	2.75

Nota: Cuadro de resumen de las características físicas relevantes del espécimen patrón del material de afirmado.

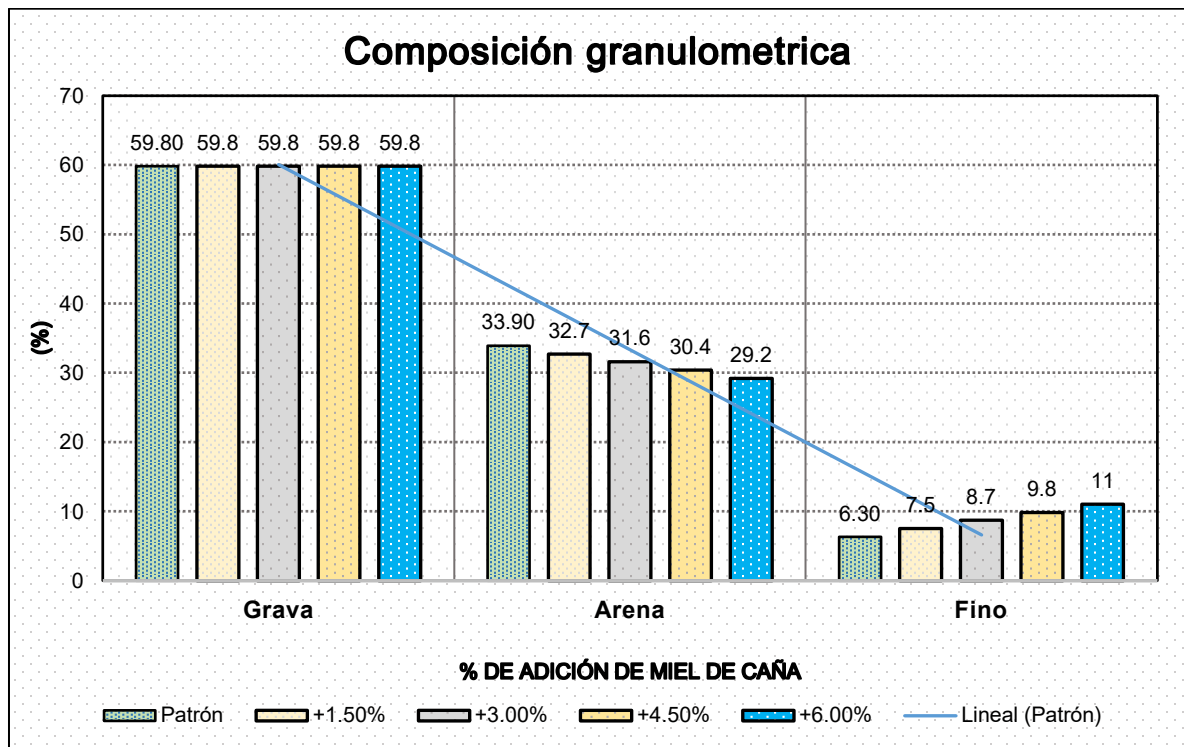
Propiedades físicas de la muestra patrón y con adición de miel de caña.

En relación con las propiedades físicas, se determinó los efectos de la “miel de caña (MC)” en el afirmado, utilizando diferentes proporciones de adición: 1.5%, 3.0%, 4.5% y 6.0%. Esta investigación incluyó una serie de ensayos, como granulometría y los límites de Atterberg, con el fin de estimar cómo la presencia de la miel de caña influía en estas características fundamentales del suelo.

Análisis granulométrico con adición de miel de caña. La composición granulométrica (grava, arena y finos) del material en estudio ha experimentado variaciones con la adición de MC principalmente en la arena y la fracción fina del material. Los hallazgos se detallan en la parte inferior.

Figura 10

Composición granulométrica del material de afirmado con adición de miel de caña



Nota: Se puede distinguir la variación de la arena en la composición, como también el incremento de fino en relación a la adición de miel caña.

Límites de Atterberg del material de cantera con adición de miel de caña. Se plasman los hallazgos resultantes de las diferentes pruebas para determinar estos límites con distintas proporciones de miel de caña, donde se observaron variaciones en los valores. Además, la tabla y la figura describen de manera más detallada estos valores.

Tabla 8

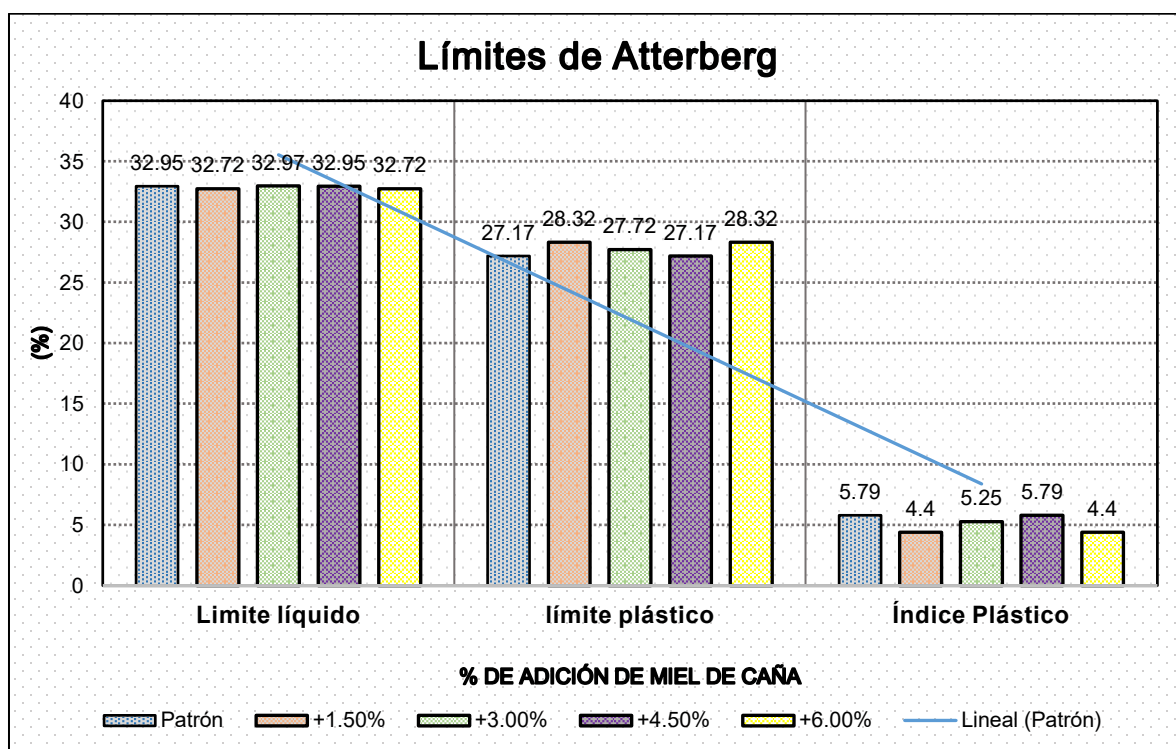
Límites de Atterberg del material de cantera con adición de miel de caña

Descripción	Porcentajes de adición de miel de caña				
	Patrón	1.5%	3.0%	4.5%	6.0%
Límite líquido (%)	32.95	32.72	32.97	32.95	32.72
Límite plástico (%)	27.17	28.32	27.72	27.17	28.32
Índice de plasticidad (%)	5.79	4.40	5.25	5.79	4.40

Nota: Los valores expuestos son muy variables respecto al valor inicial, sin embargo esto no quiere decir que haya una diferencia significativa entre estos.

Figura 11

Límites de Atterberg del material de cantera con adición de miel de caña



Nota: los efectos de la adición de "MC" en los límites de Atterberg no han mostrado fluctuaciones significativas en relación con el espécimen patrón.

5.1.3. Respuesta al objetivo específico 2

“Analizar los efectos de la adición de miel de caña sobre las propiedades mecánicas del Afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.”

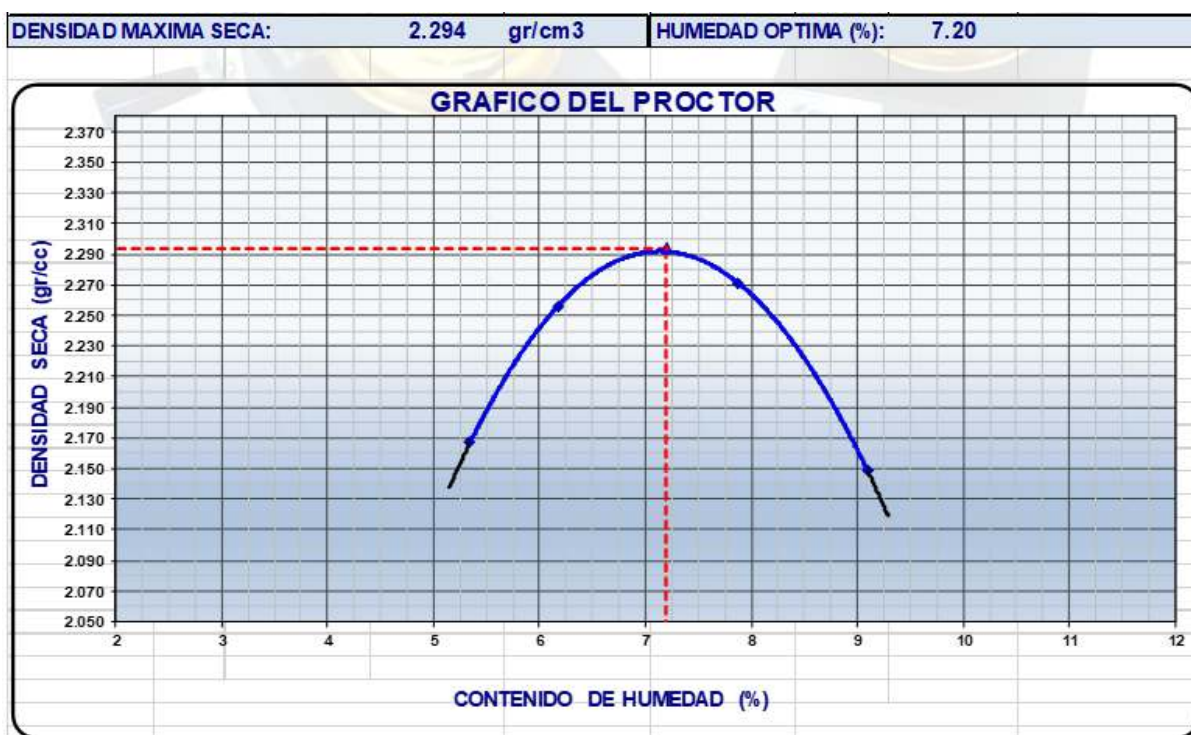
En relación con las propiedades mecánicas, en esta sección se detallan los hallazgos de los ensayos de compactación y abrasión del material de cantera, tanto con cómo sin la adición de “MC”. En primer lugar, se exponen las propiedades del material como muestra patrón, seguido de los hallazgos obtenidos al incorporar la “MC” al mismo.

Propiedades Mecánicas de la muestra patrón. En esta sección, se destacan tanto la MDS como el OCH del material de afirmado, dos valores fundamentales para determinar el CBR de un material.

Proctor Modificado de la muestra patrón. Para determinar los valores de MDS como el OCH, se siguió la norma AASHTO –T-180-D. Los hallazgos se detallan en el cuadro e ilustración siguientes.

Figura 12

Gráfico de la curva de compactación de la muestra patrón



Nota: La curva de compactación nos denota el valor MDS de 2.294 gr/cm³ para un OCH del 7.20%.

Resistencia a la abrasión de los Ángeles. Para la realización de este ensayo se ha utilizado la gradación "B" debido a su composición granulométrica, en el siguiente cuadro se muestra los hallazgos.

Tabla 9

Abrasión de los Ángeles en la muestra patrón

Muestra	1
Gradación	"B"
N° de esferas	12
N° de Revoluciones	500
Tamiz (N°)	Peso retenido (grs.)
1"	0.0

3/4"	0.0
1/2"	2,500.0
3/8"	2,501.0
Peso Total	5,001.0
Material Retenido Tamiz N° 12	4,006
Material Pasante N° 12	995
Porcentaje de Desgaste	19.90

Nota: El % de Desgaste del afirmado es del 19.90 %.

Propiedades Mecánicas de la muestra patrón y con adición de miel de caña. En el estudio actual, se analizaron los efectos de la inclusión de miel de caña en el espécimen de suelo mediante la evaluación de los valores de compactación. Los resultados revelaron una dispersión considerable en dichos valores, indicando una variabilidad significativa.

Proctor Modificado de la muestra patrón y con adición de miel de caña.

En la presente tabla y figura se distinguen los resultados del suelo ensayado, tal como (MDS) y (OCH) del suelo con distintas dosis de miel de caña.

Tabla 10

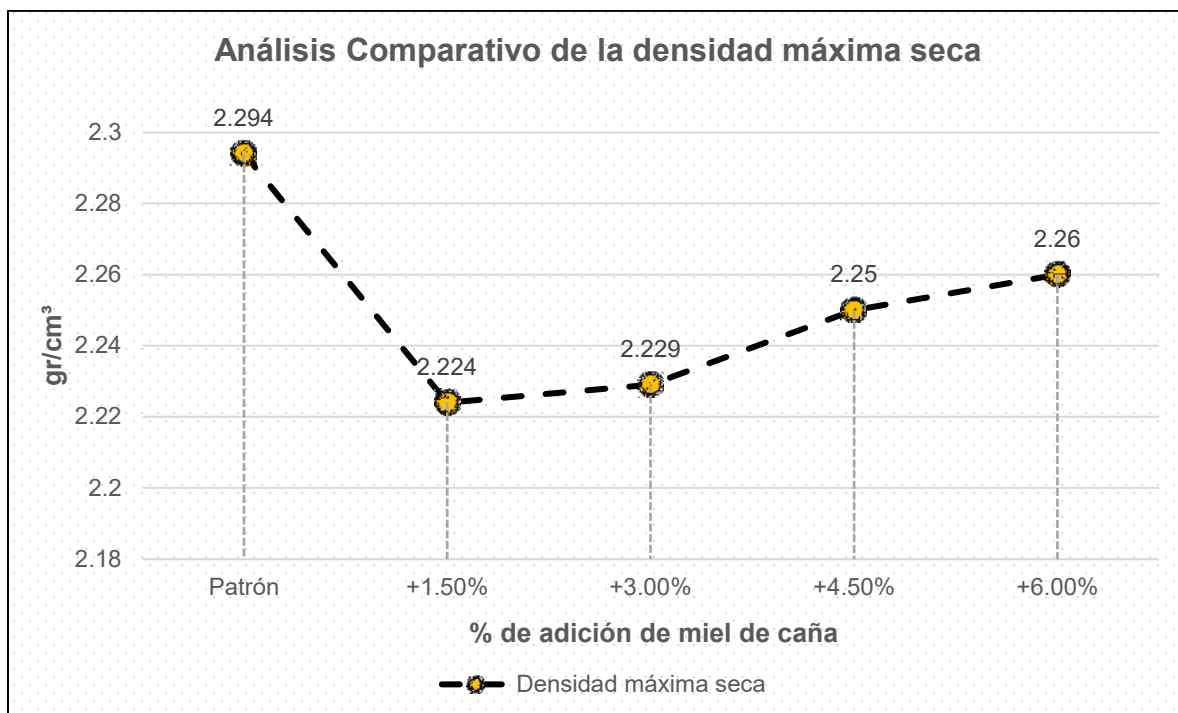
Resultados del ensayo de Proctor modificado

Muestra	Densidad máxima seca	Humedad Óptima
Patrón	2.294 gr/cm ³	7.20%
+1.5% de miel de caña	2.224 gr/cm ³	4.60%
+3.0% de miel de caña	2.229 gr/cm ³	7.30 %
+4.5% de miel de caña	2.250 gr/cm ³	7.00 %
+6.0% de miel de caña	2.260 gr/cm ³	6.80 %

Nota: Del cuadro, se destaca que los valores de (MDS) y (OCH) han fluctuado en comparación con el valor patrón; sin embargo, estas variaciones no han sido muy dispersas.

Figura 13

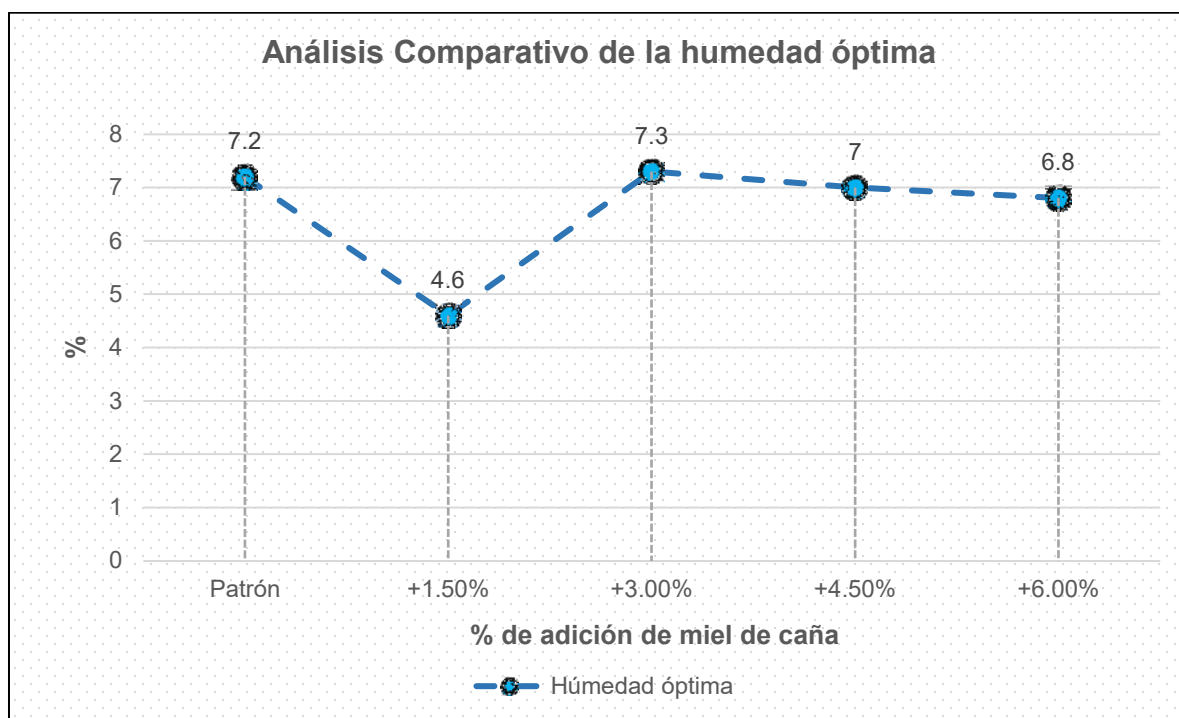
Análisis comparativo de la densidad máxima del suelo con adición de miel de caña



Nota: Se detalla que, en general, la (MDS) ha disminuido en relación al valor patrón con la adición "MC".

Figura 14

Análisis comparativo de la humedad óptima del suelo con adición de miel de caña



Nota: El % de la humedad óptima para obtener el grado máximo de compactación también ha variado con las distintas dosis de miel caña.

Características físicas de la miel de caña. Líquido viscoso, con una composición que tiende a ser espesa y oscura. Para el presente estudio, se determinó la densidad, el contenido de humedad y el contenido de partículas de la miel de caña.

Para ello, se tomaron muestras y se determinó la densidad mediante el método estándar de desplazamiento. Es importante destacar que el líquido ensayado estuvo a una temperatura elevada. Se detalla seguidamente los hallazgos obtenidos.

Tabla 11*Densidad de la miel de caña*

Probeta N°	1	2
Peso de la Probeta (gr)	198.47	198.7
Peso de la Probeta + Miel de Caña (gr)	510.14	510.14
Peso neto de la Miel de Caña (gr)	311.67	311.67
Volumen ocupado por la Miel de caña (gr)	228.00	228.00
Densidad= W miel de caña/Volumen (gr)	1.37	1.37
Observaciones	Precisión Promedio	
Temperatura	65 °C ± 5	
Densidad Promedio de la Miel de caña (gr/cm³)	1.37	

Nota: Para determinar la densidad, se elevó la temperatura del líquido a 65°C ± 5, y se obtuvo una densidad mayor que la del agua en su estado líquido.

Humedad natural de la miel de caña. Mediante este estudio, se determinó el contenido de líquido de la miel de caña con el fin de conocer también el porcentaje de la fase sólida. Se detalla seguidamente los hallazgos del porcentaje de la fase líquida y la fase sólida de la "MC".

Tabla 12*Humedad Natural de la miel de caña*

Contenido de Humedad	28.22 %
Fase sólida de la miel de caña	71.78%
Fase líquida de la miel de caña	28.22%

Nota: Resultado sobre el contenido de humedad de la muestra.

5.2. Discusión de resultados

El estudio buscó mejorar el material de afirmado de la cantera Murillo, mediante la adición de “miel de caña (MC)” en distintos porcentajes, para ello se estimó las características geotécnicas del suelo en cuestión, determinándose como grava bien gradada con limo y arena.

En relación a los resultados, se observó un crecimiento significativo en el valor del CBR del suelo, que pasó de 61.18% a un máximo de 92.61% añadiendo 4.50% de (MC). Este aumento representa un incremento del 51.4%, un resultado muy positivo que garantiza la durabilidad del afirmado o de la infraestructura vial. Es importante destacar que la proporción óptima encontrada fue del 4.50% de miel de caña. Por otro lado, no se constató una variación significativa en los aspectos físicos del suelo estudiado; sin embargo, en relación a sus características mecánicas, se encontraron diferencias significativas.

Para la correcta incorporación de la miel de caña, se aumentó su temperatura y se diluyó en agua antes de ser esparcida sobre las muestras de suelo. Es crucial destacar este procedimiento, ya que garantiza un incremento en el CBR del suelo

Los hallazgos alcanzados coinciden con las investigaciones de Tuesta (2020), quien añadió (MC) en porcentajes del 1%, 3% y 4.5% al suelo en estudio. Tuesta encontró que el 3% de melaza de caña era el porcentaje ideal para incrementar la capacidad de carga, logrando un aumento del CBR del suelo del 19.53% al 27.90%, lo que representa un incremento del 42.86%. En nuestro estudio, el incremento del CBR fue del 51.4%, lo que se asemeja de manera notable a los hallazgos de Tuesta. Esta consistencia en los resultados respalda la efectividad de la (MC) como mejorador de suelos en términos de capacidad de soporte.

Por otro lado, el investigador Becerra (2019), en su tesis, propuso la adición de (MC) para mejorar el CBR, identificando la proporción óptima como el 2%, lo que resultó en un incremento de hasta un 44% respecto al valor inicial. Estos hallazgos también coinciden con los resultados del presente estudio. Becerra evaluó proporciones del 2%, 5% y 10%, encontrando que las dos últimas proporciones fueron menos favorables. Por lo tanto, sugiere que agregar más del 5% de miel de caña no produce resultados positivos, y que el rango más conveniente para mejorar el CBR se encuentra entre el 2% y el 4.5%. Estas conclusiones respaldan la efectividad de la miel de caña en proporciones específicas para mejorar el soporte de un suelo.

El incremento observado en el CBR demuestra la efectividad de la miel de caña para generar una fuerte adherencia entre las partículas del suelo, lo que resulta en una cohesión ideal. Esta mejora en la capacidad de soporte del suelo tiene consecuencias significativas para su resistencia y longevidad, aspectos cruciales en la ingeniería de pavimentos. Al potenciar la capacidad de carga del terreno, se posibilita la reducción del grosor de las capas de rodadura, base y sub-base, lo que conlleva una disminución en los costos de construcción y mantenimiento vial.

5.3. Prueba de hipótesis

Se procedió a realizar la prueba de hipótesis luego de obtener los resultados de los ensayos ejecutados, para ello, se empleó la prueba T de Student en una muestra, el cual determina si un grupo varía significativamente respecto a un valor, en este caso los resultados del valor patrón. Mencionado esto, a continuación, se describen las pruebas de hipótesis, empezando por la general y terminando en la hipótesis específica.

5.3.1. Hipótesis general

En el siguiente cuadro se describen datos estadísticos descriptivos que se analizaron para el procedimiento estadístico.

Tabla 13

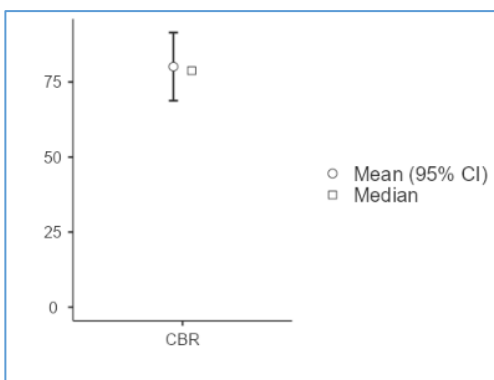
Datos estadísticos decriptivos

Grupo	Media	Mediana	Desviación Estándar	Error Estándar
CBR	80.1	78.8	11.6	5.80

Nota: Elaboración propia

Figura 15

Media y mediana de los resultados del CBR del suelo con adición de miel de caña



Nota: A continuación, se presenta en el cuadro el proceso estadístico utilizado para determinar si los efectos de la “MC” en el CBR del material de afirmado.

Tabla 14

Resultados de la hipótesis general (variable: CBR del material de afirmado)

Planteamiento de la hipótesis				
<i>H₀: [$\mu_{patrón} = \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña no influye en el CBR del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.</i>				
<i>H_a: [$\mu_{patrón} \neq \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña influye en el CBR del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.</i>				
Prueba de Normalidad (Shapiro-Wik)				
W	P	p>0.05		
0.965	0.410	los datos presentan una distribución normal		
Prueba T para muestras independientes				
<i>Estadístico</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>p</i>	<i>Diferencia de medias</i>	<i>Intervalo de confianza al 95%</i>

					<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
<i>CBR</i>	3.27	3.00	0.047	18.9	0.0184	3.18
			<i>Decisión</i>			

Dado que $p < 0.05$ se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición de miel influye en el CBR del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.

Nota: Resultado del programa SPSS

5.3.2. Hipótesis específica 01

En el siguiente cuadro se describen datos estadísticos descriptivos que se analizaron para el procedimiento estadístico para la hipótesis específica 01. Para ello se analizó Índice Plástico como variable. Para esta variable, se tomó la data de los hallazgos y se procesó mediante la prueba T de Student en una muestra obteniéndose los resultados de los siguientes cuadros.

Tabla 15

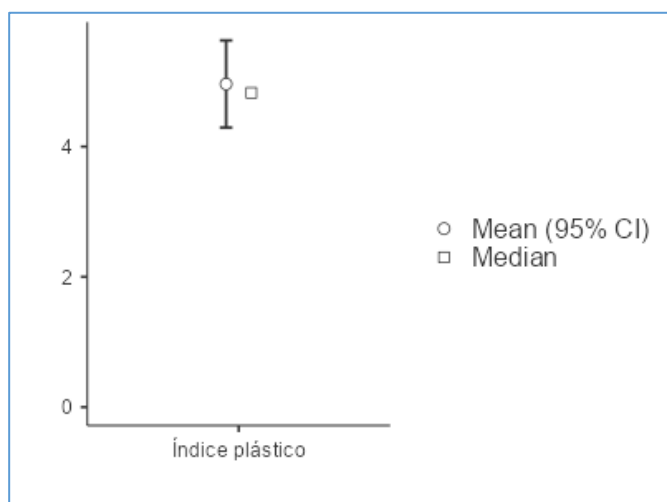
Datos estadísticos decriptivos

Grupo	Media	Mediana	Desviación Estándar	Error Estándar
Índice plástico	4.96	4.83	0.683	0.342

Nota: Elaboración propia

Figura 16

Media y mediana de los resultados del límite líquido del suelo con adición de miel de caña



Nota: Elaboración propia

Seguidamente, se detalla en el siguiente cuadro el proceso estadístico utilizado para determinar si los efectos de la “MC” en el límite líquido del material de afirmado generaron una diferencia significativa respecto al valor patrón.

Tabla 16

Resultados de la hipótesis específica 01 (variable: límite líquido del material de afirmado)

Planteamiento de la hipótesis						
<i>H₀</i> : [$\mu_{patrón} = \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña no influye en las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.						
<i>H_a</i> : [$\mu_{patrón} \neq \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña influye en las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.						
Prueba de Normalidad (Shapiro-Wik)						
	W		P		p>0.05 los datos presentan una distribución normal	
	0.859		0.257			
Prueba T para muestras independientes						
	Estadístico	Grados de libertad	p	Diferencia de medias	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Índice Plástico	-2.43	3.00	0.093	-0.830	-2.52	0.175
Decisión						
Dado que p>0.05 se rechaza la H _a y se acepta la H ₀ = La adición de miel de caña no influye en las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.						

Nota: Resultado del programa SPSS

5.3.3. Hipótesis específica 02

En el siguiente cuadro se describen datos estadísticos descriptivos que se analizaron para el procedimiento estadístico para la hipótesis específica 02. Para ello se

analizó la densidad máxima seca del suelo con distintas proporciones de “MC”. Para esta variable, se tomó los datos de los resultados y se procesó mediante la prueba T de Student en una muestra obteniéndose los valores de los siguientes cuadros.

Tabla 17

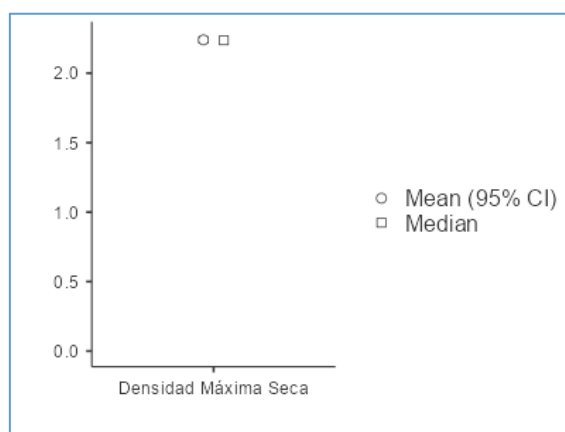
Datos estadísticos decriptivos

Grupo	Media	Mediana	Desviación Estándar	Error Estándar
Densidad máxima seca	2.24	2.24	0.0184	0.00918

Nota: Elaboración propia

Figura 17

Media y mediana de los resultados de la densidad máxima seca del suelo con adición de miel de caña



Nota: Elaboración propia

Seguidamente, se detalla en el cuadro el proceso estadístico utilizado para determinar si los efectos de la miel de caña en MDS del material de afirmado generaron una diferencia significativa respecto al valor patrón.

Tabla 18

Resultados de la hipótesis específica 2 (variable: Densidad Máxima Seca del material de afirmado)

Planteamiento de la hipótesis						
<i>H₀: [$\mu_{patrón} = \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña no influye en las propiedades mecánicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.</i>						
<i>H_a: [$\mu_{patrón} \neq \mu_{miel}$]: La adición de miel de caña influye en el propiedades mecánicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.</i>						
Prueba de Normalidad (Shapiro-Wik)						
	W		P			
	0.836		0.183		p>0.05 los datos presentan una distribución normal	
Prueba T para muestras independientes						
	Estadístico	Grados de libertad	p	Diferencia de medias	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Densidad máxima seca	-5.94	3.00	0.010	-2.97	-5.41	-0.529
Decisión						
Dado que $p < 0.05$ se rechaza la H_0 y se acepta la H_a = La adición de miel de caña influye en el propiedades mecánicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac, 2023.						
<i>Nota: Resultado del programa SPSS</i>						

VI. Conclusiones

- 1. Del objetivo general.** Se determinó los efectos de la adición de miel de caña (MC) sobre el CBR del afirmado de la cantera Murillo, Abancay, Apurímac, con resultados positivos. Se evaluaron diferentes proporciones de miel de caña: 1.5%, 3%, 4.5% y 6%. Los resultados mostraron que el CBR, inicialmente en 61.18%, aumentó a 62.83%, 70.59%, 92.61% y 86.95%, respectivamente, con cada nivel de adición. El valor óptimo se encontró en el 4.5% de miel de caña, que produjo un incremento del 51.4% en la resistencia de soporte. Sin embargo, con la adición del 6%, se obtuvo un valor alto, pero menor que el anterior. Estos hallazgos disponen de la inclusión de (MC) en proporciones específicas puede incrementar en gran importancia la capacidad resistente del afirmado, con el 4.5% destacándose como la proporción más efectiva en este estudio
- 2. Del objetivo específico 1.** Se analizó los efectos de la adición de (MC) sobre las propiedades físicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac. Inicialmente, se determinaron los aspectos físicos del suelo en su forma natural, clasificándolo como (GW-GM) según el sistema SUCS, y como A-1-a (0) según el sistema AASHTO, con un límite líquido del 31.70% y un límite plástico del 25.94%. Para evaluar los efectos de la miel de caña en las propiedades físicas, se analizó el índice plástico, obteniendo valores de 4.4, 5.5, 5.9 y 4.4 en comparación con el valor patrón de 5.79. La prueba de hipótesis reveló que estos valores no presentan una diferencia significativa respecto al valor patrón, lo que indica que la adición de miel de caña no tuvo un efecto notable en las propiedades físicas del suelo. Estos resultados sugieren que, a pesar de los cambios observados en el CBR, (MC) no alteró significativamente las propiedades físicas del suelo.
- 3. Del objetivo específico 2.** Se analizó los efectos de la adición de (MC) sobre las propiedades mecánicas del afirmado de la Cantera Murillo, Abancay, Apurímac. La evaluación de la MDS reveló que el suelo sin adición de (MC) tenía una densidad máxima de 2.294 gr/cm³. Con la adición de 1.50%, 3.00%, 4.50% y 6.00% de miel de caña, esta

densidad disminuyó a 2.224 gr/cm³, 2.229 gr/cm³, 2.250 gr/cm³ y 2.260 gr/cm³, correspondientemente. El análisis mediante prueba de hipótesis demostró que la adición de (MC) generó efectos de reducción en este valor, indicando que las partículas que conforman la miel de caña tienen una densidad baja, lo que en general redujo la densidad del suelo compactado. Además, se observaron variaciones en la humedad óptima, con valores dispersos respecto al valor inicial.

VII.Recomendaciones

1. Se recomienda considerar la incorporación de un 4.5% de (MC) para potenciar la resistencia de soporte del afirmado en la cantera Murillo en Abancay, Apurímac. Aunque se observó un valor elevado con el 6%, el 4.5% se ha identificado como el óptimo, generando un aumento notable del 51.4% en la capacidad de soporte. Es esencial mantener esta proporción precisa para maximizar los resultados y evitar el derroche de recursos. Sin embargo, para suelos de distinta composición, se aconseja realizar estudios específicos con el fin de determinar la adición óptima de (MC).
2. Se sugiere explorar sinergias con otros materiales: Investigar la viabilidad de combinar la miel de caña con una variedad de materiales o aditivos complementarios para maximizar su potencial en la mejora de las características físicas del suelo. Esto podría incluir análisis de la interacción entre la miel de caña y materiales como polímeros, fibras naturales o sintéticas, así como otros subproductos agrícolas. La sinergia entre estos elementos podría ofrecer nuevas soluciones para mejorar tanto la estabilidad como la sostenibilidad del afirmado de la Cantera Murillo.
3. Se recomienda realizar una reevaluación detallada del diseño experimental en futuras investigaciones. Esto implica analizar minuciosamente el método de aplicación de la miel de caña, así como las condiciones de prueba, para identificar posibles influencias en los resultados. Es crucial considerar aspectos como la uniformidad de la aplicación, el tiempo de curado, la compactación del suelo y la variabilidad climática durante el estudio. A partir de esta revisión, se pueden identificar áreas de mejora y ajustar el enfoque experimental para garantizar la precisión y fiabilidad de los hallazgos encontrados.
4. A pesar de que la miel de caña no produjo los resultados esperados en términos de modificación de las propiedades físicas del suelo, su capacidad para mejorar significativamente el CBR sugiere un potencial prometedor desde una perspectiva de

sostenibilidad. Se recomienda llevar a cabo un análisis exhaustivo de su viabilidad ambiental y económica. Esto implica evaluar el impacto ambiental de su producción y aplicación, así como analizar los costos asociados con su implementación en comparación con otros métodos de mejoramiento de suelos. Este enfoque holístico podría revelar nuevas oportunidades de investigación o aplicación, tanto en términos de optimización de procesos como de desarrollo de políticas ambientales y económicas más sostenibles en el contexto de la ingeniería civil y la construcción.

VIII.Referencias

- Aldazabal Sánchez, A. (2019). *CCL: El 80% de las carreteras del Perú está en mal estado* | *ECONOMIA* | *CORREO*. Correo. <https://diariocorreo.pe/economia/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado-876224/>
- Harsha (2018) "Stabilization of Black Cotton soil with Molasses and Arecanut fibers". *Correo*. https://www.ripublication.com/ijaerspl2018/ijaerv13n7spl_45.pdf
- Arias, F. G. (2006). *El proyecto de investigación* (Quinta). Editorial Episteme.
- Tesema (2016) "Estabilización de suelos expansivos con melaza de caña de azúcar".
- Barasa, P. K. (2016). *STABILIZATION OF EXPANSIVE CLAY SOIL USING BAGASSE ASH AND LIME* [Tesis de Maestría]. University of Agriculture and Technology.
- Becerra Vasquez, Y. N. (2019). *Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera el Gavilán, Cajamarca 2017* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/14748>
- Cahuana Cabanillas, F. S. (2016). *Dosificación optima del Cloruro de Calcio y la Melaza de Caña para la estabilización de suelos en caminos vecinales no pavimentadas del distrito de Barranca 2016* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2915/T033_45773040_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Condori Ñahuinlla, V., & Huamaní Gamarra, Z. (2018). *Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento del valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental ap-103, tramo puente Ullpuhuaycco – Karkatera (14.050 kms) Abancay-Apurímac 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/133>
- Cordova Rubin, J. W. (2018). *Utilización de la Vinaza de Caña Azúcar para Estabilizar Suelos Cohesivos, Huancayo* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1035>

- Corporation Iowa SUDAS (Ed.). (2013). *Section 6C-1—Pavement Systems*.
- Echeverría G., H., Solminihac T., G., & Thenoux Z., G. (2012). *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- elEconomista.es. (2023). *La consecuencia de no cobrar por las autovías: El déficit subirá en 550 millones cada año*. elEconomista.es.
<https://www.eleconomista.es/infraestructuras-servicios/noticias/12457510/09/23/la-consecuencia-de-no-cobrar-por-las-autovias-el-deficit-subira-en-550-millones-cada-ano.html>
- Fajardo Castillo, E. E., & Sarmiento Forero, S. C. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de saccharomyces cerevisiae* [Tesis de Pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Farfan Manotupa, J. (2021). *Estabilización de subrasantes blandos con aditivos naturales en la vía de Evitamiento Abancay, Apurímac, 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57248>
- Ferrer Granda, J. M. (1967). *Caminos Rurales*. Ministerio de Agricultura.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera edición). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Hidalgo Benavides, D. I. (2016). *Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24610>
- Instituto del Cemento y sus Aplicaciones. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Vaquero Servicios de Publicaciones, S.L.
- Kerlinger, F. N. (1986). *Investigación del comportamiento* (Cuarta). McGraw-Hill.

- Kiran, Harsha S, KVSB Raju, & Naveen Kumar M. (2018). Experimental Study on Stabilization of Black Cotton Soil with Molasses and Arecanut Fibers. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(7), 219-223.
- Mamuye, Y., Tucay Quezon, E., & Anteneh, G. (2018). *Combined Effects of Molasses-Lime Treatment on Poor Quality Natural Gravel Materials Used for Sub-Base and Base Course Construction*. <https://doi.org/10.20372/NADRE/4245>
- Nel Quezada, L. (2010). *Metodología de la investigación* (Primera edición). Empresa editora Macro E.I.R.L.
- Silvestre Miraya, I., & Huamán Nahula, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria* (Primera edición). Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Terronez Cruz, A. T. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo – 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/14971>
- Tuesta Tuesta, C. A. (2020). *Diseño de la capa de rodadura con material romerillo y la adición de melaza de caña para su uso en la vía baños sulfurosos—Shucshuyacu, distrito de Jepelacio, Moyobamba – 2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Zamora, I., & Liset, C. (2021). *Metodología de la investigación en la tesis* (Segunda edición). SMITH ZAMORA E.I.R.L.