

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio  
geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la  
construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil**

**Autores:**

**Bach. Janeth Rosa AQUINO CONDORI**

**Bach. Devora Mayra TICSE VARA**

**Asesor:**

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA**

**Cerro de Pasco - Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio  
geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la  
construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado**

---

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL

**PRESIDENTE**

---

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA

**MIEMBRO**

---

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO

**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 010-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio  
geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la  
construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023**

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. TICSE VARA, Devora Mayra.**

**Bach. AQUINO CONDORI, Janeth Rosa.**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. CONDOR GARCIA, Hildebrando Anival**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Civil**

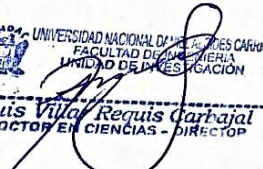
Índice de Similitud

**19%**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 15 de enero del 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villa Requis Garbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

La presente Tesis está dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera. A mis queridos Padres e hija, por la inspiración, por la confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos y toda mi familia, por sus palabras y compañía, a mis amigos, maestros, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Devora

La presente tesis la dedico principalmente a Dios, por ser la inspiración y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados. A mis padres por que ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos para hacer de mi una mejor persona. A mis hermanas por su cariño, consejos y apoyo incondicional durante este proceso. A José, mi pareja de siempre por sus palabras y confianza, por brindarme el tiempo necesario para poderme realizarme profesionalmente A mis hijos Kenai y Eythan por ser la fortaleza y ganas de ser mejor cada día, a mis amigos que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Janeth

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios: Por darme la fuerza y la capacidad de realizar una de tantas actividades que dan satisfacción.

A mis padres: Por el apoyo incondicional, cariño, esfuerzo inigualable y su gran ejemplo de lucha, trabajo y dedicación en la vida, quienes me impulsaron a culminar una de las fases más importantes en nuestra superación personal.

A mi hija Donna: Por ser parte de este proceso y ser la inspiración de superación y crecimiento, por demostrarme cada día cariño y amor.

A mis hermanos y familia: Por su cariño, enseñanzas apoyo y comprensión en todas las etapas compartidas.

A mis amigos y docentes: Por toda la fuerza que en mi generaron, por todas las enseñanzas y consejos.

Devora Mayra Ticse vara

A Dios: Por haberme puesto tantas pruebas para indicarme que esta era mi vocación.

A mis padres: Por haberme empujado con sus consejos y regaños por acompañarme en los desvelos de la carrera, por estar siempre acompañándome y apoyándome.

A mi pareja José: Por ser un buen compañero y a darme soporte cuando más lo necesitaba.

A mis Hijos Kenai y Eythan: Por estar acompañándome en el proceso del esfuerzo de superación y por ser el amor más puro que se puede tener.

A mis hermanas: Por siempre estar al pendiente de que cumpla mi sueño de ser ingeniera.

A mis amigos y docentes: Gracias por la paciencia y cariño en la carrera.

Janeth Rosa Aquino Condori

## RESUMEN

El proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023" aborda un desafío crítico en la construcción de carreteras relacionado con las filtraciones subterráneas. Este estudio se enfoca en identificar las causas de estas filtraciones y diseñar estructuras drenantes eficientes como solución.

La introducción establece la importancia de la construcción de carreteras para el desarrollo de la infraestructura vial y destaca la amenaza que representan las filtraciones subterráneas para la estabilidad y durabilidad de las carreteras. Los objetivos del proyecto se centran en identificar características geológicas y geotécnicas que contribuyen a las filtraciones, identificar fuentes de agua subterránea que las alimentan, seleccionar técnicas de análisis adecuadas y diseñar estructuras drenantes eficaces.

Los resultados y la discusión incluyen la recopilación de datos geológicos y geotécnicos, la investigación de fuentes de agua subterránea, la aplicación de metodologías geo-hídricas y el diseño de estructuras drenantes. Se analizan las características geológicas, se identifican fuentes de agua subterránea y se seleccionan técnicas apropiadas. También se discuten los resultados y se prueba la validez de las hipótesis.

En las conclusiones, se resumen los hallazgos y se ofrecen recomendaciones para gestionar filtraciones subterráneas en proyectos viales.

El proyecto contribuye al conocimiento en construcción de carreteras al proporcionar soluciones efectivas para el control de filtraciones subterráneas, mejorando así la durabilidad y seguridad de las infraestructuras viales.

**Palabra Clave:** Filtraciones subterráneas, Construcción de carreteras, Estructuras drenantes

## **ABSTRACT**

The research project "Identification and design of drainage structures through geo-water study for the management of underground leaks in the construction of the Ninacaca - Huachon 2023 highway" addresses a critical challenge in road construction related to underground leaks. This study focuses on identifying the causes of these leaks and designing efficient drainage structures as a solution.

The introduction establishes the importance of road construction for the development of road infrastructure and highlights the threat that underground seepage poses to the stability and durability of roads. The project objectives focus on identifying geological and geotechnical features that contribute to seepage, identifying groundwater sources that feed them, selecting appropriate analysis techniques, and designing effective drainage structures.

The results and discussion include the collection of geological and geotechnical data, the investigation of groundwater sources, the application of geo-hydric methodologies and the design of drainage structures. Geologic features are analyzed, groundwater sources are identified, and appropriate techniques are selected. The results are also discussed and the validity of the hypotheses is tested.

The conclusions summarize the findings and offer recommendations for managing underground leaks in highway projects.

The project contributes to knowledge in road construction by providing effective solutions for controlling underground leaks, thus improving the durability and safety of road infrastructure.

Keyword: Underground leaks, Road construction, Drainage structures

## INTRODUCCIÓN

La construcción de la carretera Ninacaca - Huachón en el año 2023 enfrenta un desafío significativo: las filtraciones subterráneas. Estas infiltraciones de agua en el subsuelo representan una amenaza real para la estabilidad y durabilidad de la carretera, así como para la seguridad de quienes la utilizan. Dada la importancia estratégica de esta vía para la conectividad y el desarrollo regional, es imperativo abordar este problema de manera integral.

Las filtraciones subterráneas pueden socavar el terreno, erosionar el suelo circundante y debilitar la base de la carretera, lo que puede dar lugar a socavones y daños estructurales. Estos efectos no solo comprometen la integridad de la carretera, sino que también generan costos adicionales de mantenimiento y reparación a largo plazo. Por lo tanto, es esencial realizar un estudio geo-hídrico exhaustivo que permita identificar y comprender las causas fundamentales de estas filtraciones en el área de construcción.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal abordar esta problemática mediante la identificación y el diseño de estructuras drenantes eficaces. La realización de un estudio geo-hídrico profundo y la implementación de estrategias de diseño adecuadas ayudarán a gestionar de manera efectiva las filtraciones subterráneas, minimizando su impacto tanto en la carretera como en el entorno circundante.

En resumen, este proyecto busca garantizar que la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón sea segura y sostenible, preservando su durabilidad y su importancia para la región. La comprensión de las causas de las filtraciones subterráneas y la aplicación de soluciones efectivas son pasos fundamentales para lograr este objetivo.



## INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	
ÍNDICE DE TABLAS	

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas Específicos .....	3
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	7
2.1.1. Antecedentes y pre proyecto de investigación 1 .....	7
2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2.....	8
2.2. BASES TEÓRICOS – CIENTÍFICO .....	9

2.2.1. Hidrología y drenaje en la construcción de carreteras: fundamentos y aplicaciones .....	9
2.2.2. Caracterización geológica y geotécnica de suelos en proyectos de infraestructura vial .....	11
2.2.3. Principios de hidrogeología y su aplicación en la gestión de aguas subterráneas durante la construcción de carreteras.....	13
2.2.4. Métodos y técnicas para la identificación y análisis de filtraciones subterráneas en proyectos de construcción de carreteras .....	14
2.2.5. Diseño y dimensionamiento de estructuras drenantes para el control de filtraciones subterráneas en obras viales .....	16
2.2.6. Evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas en proyectos de carreteras.....	17
2.2.7. Manejo y mitigación de impactos ambientales asociados a filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras.....	19
2.2.8. Tecnologías emergentes en la gestión de filtraciones subterráneas: aplicaciones y beneficios potenciales en proyectos viales .....	20
2.2.9. Análisis de costos y beneficios de soluciones drenantes para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras.....	22
2.2.10. Normativas y mejores prácticas en la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos de infraestructura vial. ....	24
2.2.11. Fundamentos de Filtraciones Subterráneas .....	25
2.2.12. Hidrogeología Aplicada a la Construcción Vial .....	30
2.2.13. Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas .....	35
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	44
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	46
2.4.1. Hipótesis general.....	46
2.4.2. Hipótesis Específica .....	46
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	47

2.5.1. Variable independiente.....	47
2.5.2. Variable dependiente.....	47
2.5.3. Variable Interviniente.....	47
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES .....	48

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	51
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	52
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	53
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	54
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	54
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	55
3.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	56
3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA.....	56

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	58
4.1.1 Recopilación de Datos Geológicos y Geotécnicos.....	59
4.1.2 Investigación de Fuentes de Agua Subterránea .....	60
4.1.3 Metodologías Geo-Hídricas Aplicadas.....	62
4.1.4 Diseño y Evaluación de Estructuras Drenantes.....	64
4.1.5 Registro y Análisis de Datos de Campo.....	66
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	68
4.2.1. Características Geológicas y Geotécnicas del Área de Construcción....	69
4.2.2. Identificación de Fuentes de Agua Subterránea .....	78
4.2.3. Selección de Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas .....	81
4.2.4. Diseño y Propuesta de Estructuras Drenantes .....	83

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	88
4.3.1. Hipótesis 1 .....	88
4.3.2. Hipótesis 2 .....	90
4.3.3. Hipótesis 3 .....	91
4.3.4. Hipótesis 4 .....	93
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+150 – 23+280 (Fuente: CVNH) .....	71
Ilustración 2 – Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+150 – 23+280 (Fuente: CVNH) .....	73
Ilustración 3: Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+380 – 23+464 (Fuente: CVNH) .....	75
Ilustración 4 Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+380 – 23+464 (Fuente: CVNH) .....	75
Ilustración 5: Preparación de Cama de piedras de 6 a 8" para drenaje (Fuente: Propio) ..	85
Ilustración 6: Presencia de agua en la excavación de la zanja (Fuente: Propio) .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio).....	48
Tabla 2: Características Geológicas y Geotécnicas en la construcción de la carretera Ninacaca – Huachon (Fuente: Propio) .....	69
Tabla 3. Datos de Evaluación Geo hídrica Sectores específicos (Fuente: Propio) .....	74
Tabla 4: Evidencia de Saturación (Fuente: Propio).....	77
Tabla 5: Evidencia de Saturación (Fuente: Propio).....	77
Tabla 6: Resultados de Identificación de Fuentes de Agua Subterránea en el Sector Km 23+150 al Km 23+370 (Lado Izquierdo) (Fuente: Propio).....	78
Tabla 7: Resultados de Identificación de Fuentes de Agua Subterránea en el Sector Km. 23+380 al 23+464.80 (Lado Izquierdo) (Fuente: Propio) .....	78
Tabla 8: Selección de técnicas y metodologías (Fuente: Propio) .....	81
Tabla 9: Prueba de hipótesis 1 (Fuente: Propio).....	89
Tabla 10: Prueba de Hipótesis 2 - Identificación de Fuentes de Agua Subterránea (Fuente: Propio).....	90
Tabla 11: Prueba de Hipótesis 3 - Eficacia de Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas (Fuente: Propio) .....	92
Tabla 12: Prueba de Hipótesis 4 - Eficacia de Estructuras Drenantes .....	94

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La identificación y determinación del problema en el proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" es el siguiente: El problema que se pretende abordar es la presencia de filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón en el año 2023. Estas filtraciones representan una preocupación significativa, ya que pueden debilitar la estabilidad y la durabilidad de la carretera, causar socavones y erosionar el suelo circundante. La carretera Ninacaca - Huachón es de vital importancia para la conectividad y el desarrollo de la región, por lo que es fundamental asegurar que se construya de manera adecuada y se mantenga en buenas condiciones a largo plazo. Las filtraciones subterráneas pueden comprometer la integridad estructural de la carretera, afectando su vida útil y generando costos adicionales de mantenimiento y reparación. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio geo-hídrico para identificar y comprender las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción de la carretera. Este estudio permitirá determinar las mejores estrategias de diseño y las estructuras drenantes

adecuadas que deben implementarse para gestionar eficientemente las filtraciones y minimizar su impacto en la carretera y en el entorno circundante.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La delimitación de la investigación en el proyecto "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" se refiere a establecer los límites y alcance de la investigación. A continuación, se presentan las delimitaciones para este proyecto:

- Área geográfica: La investigación se enfocará específicamente en el tramo de la carretera Ninacaca - Huachón, sin extenderse a otras áreas geográficas. Esto implica que los resultados y las soluciones propuestas estarán centrados en las condiciones particulares de esta región.
- Tiempo: La investigación se llevará a cabo durante el año 2023, lo que implica que se considerarán las condiciones y los desafíos específicos que surgen durante ese período. No se tendrán en cuenta eventos o cambios significativos que ocurran después de este año.
- Filtraciones subterráneas: La investigación se centrará en el estudio y la gestión de filtraciones subterráneas específicamente relacionadas con la construcción de la carretera. No abordará otros tipos de problemas relacionados con la carretera o el entorno natural y social circundante, a menos que estén directamente relacionados con las filtraciones subterráneas.
- Estudio geo-hídrico y diseño de estructuras drenantes: La investigación se enfocará en la aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas para identificar las causas de las filtraciones subterráneas y diseñar estructuras drenantes adecuadas. No incluirá aspectos relacionados con la construcción general de la carretera o con otros aspectos técnicos no



relacionados específicamente con la gestión de las filtraciones subterráneas.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo Identificamos y diseñamos estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón que pueden contribuir a las filtraciones subterráneas?
- ¿Cuáles son las fuentes de agua subterránea que pueden estar alimentando las filtraciones en el área de construcción?
- ¿Cuáles son las técnicas y metodologías geo-hídricas más adecuadas para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción?
- ¿Cuáles son las estructuras drenantes más efectivas que se pueden diseñar e implementar para gestionar las filtraciones subterráneas y minimizar su impacto en la carretera?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Identificar y diseñar estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón para identificar los factores que contribuyen a las filtraciones subterráneas.
- Identificar las fuentes de agua subterránea que alimentan las filtraciones en el área de construcción y evaluar su comportamiento hidrogeológico.
- Evaluar y seleccionar las técnicas y metodologías geo-hídricas más adecuadas para investigar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.
- Diseñar y proponer estructuras drenantes eficientes y adecuadas para gestionar las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

La justificación de la investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" se basa en la importancia y la necesidad de abordar el problema de las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera. las justificaciones clave para esta investigación son:

- **Preservación de la infraestructura vial:** La carretera Ninacaca - Huachón es una vía de vital importancia para la conectividad y el desarrollo de la región. Es fundamental garantizar que la carretera se construya de manera adecuada y se mantenga en buenas condiciones a largo plazo. La gestión eficiente de las filtraciones subterráneas a través de la identificación y el diseño de estructuras drenantes contribuirá a la preservación y durabilidad de la infraestructura vial.

- Impacto económico: Las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera pueden generar costos adicionales significativos debido a reparaciones y mantenimiento frecuentes. Al abordar eficazmente este problema, se pueden reducir los gastos asociados y optimizar el uso de recursos económicos en el proyecto de construcción.
- Impacto ambiental: Las filtraciones subterráneas pueden tener efectos negativos en el entorno natural circundante, como la erosión del suelo y la alteración de los recursos hídricos subterráneos. La implementación de estructuras drenantes adecuadas permitirá minimizar el impacto ambiental y preservar la calidad del agua subterránea en el área de construcción.
- Generación de conocimiento: Este proyecto de investigación contribuirá a la generación de conocimiento en el campo de la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras. Los resultados obtenidos y las soluciones propuestas podrán ser aplicados en proyectos futuros similares, tanto en la región como en otras áreas geográficas.
- Mejora en la planificación y diseño de infraestructuras viales: Los hallazgos de esta investigación proporcionarán información valiosa para la planificación y el diseño de futuros proyectos de construcción de carreteras en áreas con condiciones geológicas y geotécnicas similares. Esto permitirá mejorar la eficiencia y la efectividad de las estrategias de gestión de filtraciones subterráneas desde las etapas iniciales de planificación.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Algunas posibles limitaciones de la investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" son:

- Disponibilidad de datos: La investigación puede enfrentar limitaciones en términos de disponibilidad y acceso a datos geológicos, hidrogeológicos y

geotécnicos específicos del área de estudio. La falta de información detallada podría dificultar el análisis y la comprensión completa de las causas de las filtraciones subterráneas.

- Limitaciones de tiempo y recursos: La realización de un estudio geo-hídrico exhaustivo y el diseño de estructuras drenantes requieren tiempo y recursos adecuados. Limitaciones en el tiempo disponible para llevar a cabo la investigación y en los recursos financieros y técnicos disponibles podrían afectar la amplitud y profundidad del estudio.
- Condiciones cambiantes: Durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón, las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas pueden cambiar debido a la excavación, las condiciones climáticas y otros factores. Estas condiciones cambiantes pueden afectar los resultados del estudio y la implementación de las estructuras drenantes.
- Limitaciones de alcance geográfico: La investigación se centra en el área específica de la carretera Ninacaca - Huachón y puede no ser directamente aplicable a otras áreas geográficas con condiciones diferentes. Las soluciones propuestas pueden requerir adaptaciones para su implementación en otras ubicaciones.
- Complejidad del fenómeno: Las filtraciones subterráneas son fenómenos complejos y multifactoriales. A pesar de los esfuerzos de investigación, es posible que no se identifiquen todas las variables relevantes que contribuyen a las filtraciones subterráneas, lo que podría limitar la capacidad de diseñar estructuras drenantes completamente efectivas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes y pre proyecto de investigación 1**

"Procedimiento para el control de filtraciones en excavaciones subterráneas. Caso de estudio túnel Serones–Salida Guaro". Esta investigación se centró en el problema de las filtraciones de agua en excavaciones subterráneas, especialmente en los túneles del trasvase este-oeste en Cuba. La investigación abordó el problema de la selección de técnicas para el control del agua en la excavación, ya que no siempre se toman en cuenta variables que impactan el fenómeno de la infiltración. El estudio propone un procedimiento para elegir la técnica más adecuada a las condiciones particulares de cada obra, basando la elección en la relación directa que existe entre la permeabilidad y la calidad de los macizos rocosos fuertes, agrietados y poco porosos. Este procedimiento se aplicó al túnel Serones-Salida Guaro del trasvase, encontrando una correspondencia entre la calidad del macizo, la magnitud de las filtraciones, y las técnicas de control de estas últimas que mejor se adecuan a las condiciones concretas de cada sector del túnel

### **2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2**

El proyecto de investigación titulado "Geomática para la Gestión del Agua Urbana: Propuesta de un Marco Teórico y Conceptual para Implementar la Gestión Integrada y Sostenible del Recurso Hídrico Urbano en México" presenta una exploración profunda de las problemáticas relacionadas con la gestión del agua urbana en México y busca examinar el papel que la Geomática desempeña en la resolución de dichas problemáticas. El investigador, Néstor de la Paz Ruíz, emprende un viaje en busca de respuestas que aborden los desafíos en la gestión del agua urbana en el contexto mexicano, y cómo la Geomática puede ofrecer soluciones efectivas.

El documento resalta la presencia del término "Gestión Integrada del Recurso Hídrico" en la Ley de Aguas Nacionales, que establece las bases ideológicas y normativas para mejorar la gestión del agua en el país. No obstante, se destaca la falta de una guía clara para su implementación y la complejidad que surge en los aspectos prácticos. Este proyecto de investigación surge como respuesta a estas problemáticas y se vincula con la línea de investigación de Geomática y sociedad de CentroGeo, que cuenta con experiencia en soluciones transdisciplinarias.

La propuesta de investigación se centra en obtener un conocimiento profundo y un modelo conceptual para la gestión de aguas urbanas, utilizando la Geomática y el análisis espacial como pilares fundamentales. La Geomática y la geocibernética se presentan como el marco teórico adecuado para comprender integralmente los factores involucrados en la gestión del recurso hídrico urbano.

El trabajo explora la relación entre la Geomática y la Gestión Integrada y Sostenible del Agua Urbana (GIRHU), enfocándose en el desarrollo teórico como un medio para su implementación. El "método reyes" se adapta y se aplica en el contexto de la GIRHU, mientras que la Geocibernética se introduce para

promover la creación de marcos transdisciplinarios que enriquezcan la propuesta teórica.

El proyecto reconoce la complejidad y novedad de la implementación de la gestión integrada y sostenible del agua, así como la necesidad de profundizar en la investigación. Se destaca la relevancia de abordar esta problemática desde la perspectiva de la Geomática y la Geocibernética, ya que permiten vincular la ciencia y la sociedad para lograr la sostenibilidad e integración en la GIRHU.

El investigador identifica la aplicación de la propuesta en casos prácticos, como los proyectos relacionados con humedales construidos y el tratamiento de aguas residuales. Estos casos demuestran cómo el marco teórico, conceptual y metodológico, junto con la utilización de la tecnología geoespacial, pueden respaldar la gestión integral y sostenible del agua.

El proyecto concluye subrayando la ambiciosa tarea que se avecina para demostrar la efectividad de la propuesta en Geomática y cómo se espera obtener resultados más sólidos a medida que los proyectos evolucionen y se apliquen en la práctica. El trabajo de investigación contribuye a un campo complejo y en constante debate, ofreciendo un enfoque interdisciplinario y una propuesta teórica que busca influir positivamente en la gestión del recurso hídrico urbano en México.

## **2.2. Bases teóricas – científico**

### **2.2.1. Hidrología y drenaje en la construcción de carreteras: fundamentos y aplicaciones**

La hidrología y el drenaje son aspectos fundamentales a considerar en la construcción de carreteras, ya que permiten gestionar adecuadamente el flujo de agua superficial y subterránea para garantizar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. En esta sección, exploraremos los fundamentos y

aplicaciones de la hidrología y el drenaje en la construcción de carreteras, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución, movimiento y calidad del agua en la Tierra, mientras que el drenaje se refiere a las técnicas y estructuras utilizadas para captar, transportar y desalojar el agua de una determinada área. En el contexto de la construcción de carreteras, la hidrología y el drenaje son esenciales para prevenir problemas como la erosión del suelo, inundaciones y filtraciones, que pueden comprometer la integridad de la carretera y su funcionamiento adecuado.

Según Hutchinson y Gallaway (2013), "la hidrología y el drenaje en la construcción de carreteras se ocupan del manejo de las aguas superficiales y subterráneas en relación con la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las carreteras". Estos autores destacan que la consideración adecuada de la hidrología y el drenaje desde las etapas iniciales de un proyecto de construcción de carreteras es fundamental para evitar problemas futuros y garantizar la seguridad vial.

La hidrología en la construcción de carreteras implica evaluar el régimen de precipitación, la escorrentía superficial y la infiltración del agua en el suelo. Estos aspectos son cruciales para determinar el diseño y la capacidad de los sistemas de drenaje necesarios. Como señalan Kilpatrick y Mays (2009), "la hidrología de una carretera incluye la recolección y análisis de datos climáticos, la determinación de la escorrentía superficial y la modelización hidrológica para estimar los caudales de diseño".

El drenaje, por otro lado, se refiere a la planificación y diseño de estructuras y sistemas que permiten el desalojo del agua de la carretera y su entorno. Estas estructuras pueden incluir cunetas, alcantarillas, sistemas de drenaje subterráneo y canales de desalojo. Según Chow et al. (1988), "el objetivo del drenaje en la construcción de carreteras es proporcionar vías de



salida adecuadas para las aguas de escorrentía y minimizar la acumulación de agua en la superficie de la carretera y los terrenos adyacentes".

Es importante destacar que el diseño de sistemas de drenaje en la construcción de carreteras debe tener en cuenta aspectos como la topografía del terreno, las características del suelo, las tasas de precipitación y las necesidades de manejo del agua. Como mencionan Dawson y Pierce (2015), "los sistemas de drenaje en la construcción de carreteras deben diseñarse considerando la captación, conducción y descarga del agua, garantizando que se mantenga un equilibrio entre el drenaje rápido y la retención del agua para evitar problemas de inundación".

En resumen, la hidrología y el drenaje son fundamentales en la construcción de carreteras para prevenir problemas relacionados con el agua y garantizar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. La hidrología ayuda a comprender el comportamiento del agua en el entorno de la carretera, mientras que el drenaje se encarga de diseñar y construir sistemas eficientes de captación y desalojo del agua. Ambos aspectos deben considerarse desde las etapas iniciales de planificación y diseño de la carretera para evitar problemas futuros y garantizar la seguridad vial.

### **2.2.2. Caracterización geológica y geotécnica de suelos en proyectos de infraestructura vial**

La caracterización geológica y geotécnica de suelos desempeña un papel crucial en los proyectos de infraestructura vial, ya que permite comprender las propiedades y comportamiento de los suelos en el área de construcción. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia de la caracterización geológica y geotécnica de suelos en proyectos de infraestructura vial, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

La caracterización geológica implica el estudio de la composición, estructura y origen de los suelos en un área determinada. Esta información es esencial para

evaluar la estabilidad de la infraestructura vial y comprender los posibles desafíos geológicos que puedan surgir durante la construcción. Según Bell, Mauduit, y Price (1999), "la caracterización geológica de suelos en proyectos de infraestructura vial ayuda a identificar la naturaleza y distribución de las diferentes capas de suelo, incluyendo su composición, textura, grado de compactación y potencial de deformación".

Por otro lado, la caracterización geotécnica se enfoca en estudiar las propiedades y comportamiento de los suelos en términos de su resistencia, compresibilidad, permeabilidad y capacidad de soporte de carga. Este aspecto es crucial para el diseño adecuado de las estructuras viales y la selección de técnicas de construcción apropiadas. Según Das (2010), "la caracterización geotécnica de suelos en proyectos de infraestructura vial implica la determinación de parámetros como la densidad, la plasticidad, la resistencia al corte, la permeabilidad y la consolidación del suelo".

La importancia de la caracterización geológica y geotécnica de suelos en proyectos de infraestructura vial radica en varias razones fundamentales. En primer lugar, proporciona información clave sobre las características del suelo que pueden afectar la estabilidad y durabilidad de la carretera. Según Holtz y Kovacs (1981), "la caracterización geotécnica de suelos es esencial para evaluar los riesgos asociados con la construcción de carreteras, como la capacidad de soporte del suelo, la posibilidad de asentamientos diferenciales y la erosión".

Además, la caracterización geológica y geotécnica de suelos permite seleccionar los métodos de construcción adecuados y determinar los parámetros de diseño necesarios. Como señalan Bell, Mauduit y Price (1999), "los resultados de la caracterización geológica y geotécnica de suelos son

fundamentales para la selección de técnicas de construcción, como el tipo de cimentación, el drenaje necesario y los tratamientos del suelo".

Es importante destacar que la caracterización geológica y geotécnica de suelos debe realizarse mediante técnicas y pruebas adecuadas. Algunas de las pruebas comúnmente utilizadas incluyen la identificación visual de muestras de suelo, análisis granulométrico, ensayos de compactación, ensayos de resistencia al corte y ensayos de permeabilidad. Estas pruebas permiten obtener datos precisos sobre las propiedades del suelo y proporcionan una base sólida para el diseño y construcción de la infraestructura vial.

### **2.2.3. Principios de hidrogeología y su aplicación en la gestión de aguas subterráneas durante la construcción de carreteras**

Los principios de hidrogeología desempeñan un papel fundamental en la gestión de aguas subterráneas durante la construcción de carreteras. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia de la hidrogeología y cómo se aplican sus principios en la gestión de aguas subterráneas durante la construcción de carreteras, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

La hidrogeología se enfoca en el estudio de las aguas subterráneas, incluyendo su comportamiento, distribución, calidad y relación con los sistemas acuíferos. En el contexto de la construcción de carreteras, comprender los principios de la hidrogeología es esencial para gestionar adecuadamente las aguas subterráneas y minimizar los impactos negativos durante el proceso de construcción.

Según Fetter (2001), "la hidrogeología es la rama de la geología que se ocupa del movimiento del agua subterránea y su interacción con las rocas y los suelos". Este autor destaca que la hidrogeología se basa en principios fundamentales, como el ciclo hidrológico, la recarga y descarga de acuíferos, la permeabilidad de los materiales y la dinámica de flujo de agua subterránea.

Durante la construcción de carreteras, la hidrogeología se aplica de varias maneras para gestionar adecuadamente las aguas subterráneas. Uno de los aspectos clave es la evaluación de los acuíferos presentes en el área de construcción. Según Todd (1980), "la identificación y caracterización de los acuíferos es esencial para determinar la disponibilidad y la calidad del agua subterránea, así como para evaluar los posibles efectos de la construcción de la carretera en estos acuíferos".

Además, la hidrogeología se utiliza para evaluar los efectos de la construcción de la carretera en el régimen de flujo de agua subterránea. Según Freeze y Cherry (1979), "la construcción de una carretera puede alterar la dinámica del flujo de agua subterránea, causando cambios en la recarga y descarga de acuíferos, y posiblemente provocando la formación de zonas de flujo preferencial". Mediante el estudio de los principios de la hidrogeología, se pueden tomar medidas adecuadas para minimizar los impactos negativos en los sistemas acuíferos.

La hidrogeología también es fundamental para la gestión de las aguas subterráneas durante la construcción de la carretera. Según Bear (1979), "la gestión adecuada de las aguas subterráneas durante la construcción de carreteras implica la implementación de técnicas de drenaje, como el uso de pozos de desviación, sistemas de bombeo y barreras impermeables, para controlar el flujo de agua subterránea y prevenir la inundación de la obra".

#### **2.2.4. Métodos y técnicas para la identificación y análisis de filtraciones subterráneas en proyectos de construcción de carreteras**

La identificación y análisis de filtraciones subterráneas en proyectos de construcción de carreteras requieren el uso de métodos y técnicas específicas. En esta sección, exploraremos en detalle algunos de los métodos y técnicas utilizados para la identificación y análisis de filtraciones subterráneas, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Pruebas de bombeo y monitoreo de niveles de agua: Las pruebas de bombeo consisten en extraer agua de un pozo cercano a la zona de construcción de la carretera para evaluar la respuesta del nivel de agua en el acuífero. Según Freeze y Cherry (1979), "las pruebas de bombeo pueden proporcionar información valiosa sobre la permeabilidad y las propiedades hidráulicas del acuífero, ayudando a identificar las áreas donde ocurren las filtraciones subterráneas". El monitoreo continuo de los niveles de agua antes, durante y después de las pruebas de bombeo también es esencial para evaluar el comportamiento del acuífero.
2. Estudios geofísicos: Los estudios geofísicos utilizan métodos como la tomografía eléctrica, la sísmica de refracción y la resistividad eléctrica para mapear las propiedades del subsuelo y detectar anomalías que puedan indicar la presencia de filtraciones subterráneas. Según Minsley et al. (2014), "los métodos geofísicos pueden proporcionar imágenes detalladas de la distribución de la humedad en el subsuelo, lo que ayuda a identificar las zonas propensas a las filtraciones y a delinear las características hidrogeológicas del área".
3. Análisis de datos geotécnicos: Los datos geotécnicos, como la permeabilidad, la compacidad del suelo y las características de las capas impermeables, son fundamentales para el análisis de filtraciones subterráneas. Según Holtz y Kovacs (1981), "el análisis de datos geotécnicos permite evaluar las características del suelo que influyen en la filtración, como la capacidad de retención de agua y la permeabilidad, así como identificar las capas que actúan como barreras a las filtraciones".
4. Inspecciones visuales y muestreo de suelos: Las inspecciones visuales del área de construcción de la carretera y el muestreo de suelos permiten obtener información sobre las características del suelo y posibles indicios de filtraciones subterráneas. Según Bell, Mauduit y Price (1999), "la

inspección visual y el muestreo de suelos ayudan a identificar la presencia de suelos saturados, manchas de humedad, cambios en el color o la textura del suelo, que pueden ser señales de filtraciones subterráneas".

#### **2.2.5. Diseño y dimensionamiento de estructuras drenantes para el control de filtraciones subterráneas en obras viales**

El diseño y dimensionamiento de estructuras drenantes desempeñan un papel crucial en el control de las filtraciones subterráneas en obras viales, como la construcción de carreteras. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia del diseño y dimensionamiento de estructuras drenantes para el control de filtraciones subterráneas, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Drenaje superficial: El drenaje superficial se refiere a las estructuras y técnicas utilizadas para captar y transportar el agua de la superficie de la carretera hacia sistemas de desagüe adecuados. Según Bell, Mauduit y Price (1999), "el diseño de un sistema de drenaje superficial efectivo implica la construcción de cunetas, canales y sumideros para captar y transportar el agua hacia alcantarillas o sistemas de desagüe subterráneos".
2. Drenaje subterráneo: El drenaje subterráneo consiste en la implementación de estructuras y técnicas para captar y desalojar el agua subterránea en el área de construcción de la carretera. Esto puede incluir la instalación de drenes subterráneos, pozos de alivio y sistemas de bombeo. Según Holtz y Kovacs (1981), "el diseño adecuado de drenaje subterráneo implica la selección de la ubicación, tamaño y capacidad de los drenes, así como la consideración de las características hidrogeológicas del área".
3. Barreras impermeables: Las barreras impermeables se utilizan para evitar la infiltración de agua en áreas críticas donde las filtraciones subterráneas son problemáticas. Estas barreras pueden ser geomembranas, materiales impermeabilizantes o capas de suelo compactado. Según Chow et al.

(1988), "el diseño de barreras impermeables debe tener en cuenta la permeabilidad del suelo, la profundidad del nivel freático y la presión hidrostática esperada".

4. Tratamientos del suelo: Los tratamientos del suelo, como la estabilización y compactación del suelo, se utilizan para mejorar las propiedades hidráulicas y mecánicas del suelo y reducir las filtraciones subterráneas. Estos tratamientos pueden implicar la adición de aditivos como cemento, cal o materiales granulares. Según Bell, Mauduit y Price (1999), "el diseño de tratamientos del suelo efectivos implica la evaluación de las propiedades del suelo y la selección de técnicas adecuadas para mejorar la capacidad de drenaje y reducir la permeabilidad".

#### **2.2.6. Evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas en proyectos de carreteras**

La evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas es un aspecto crucial en proyectos de carreteras. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia de la evaluación de la estabilidad de taludes y cómo se aplica en zonas propensas a filtraciones subterráneas en proyectos de carreteras, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

Los taludes son las pendientes o laderas que se encuentran a lo largo del trazado de la carretera. La estabilidad de los taludes es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de la infraestructura vial. Sin embargo, en zonas propensas a filtraciones subterráneas, la presencia de agua puede debilitar los taludes y aumentar el riesgo de deslizamientos o colapsos.

La evaluación de la estabilidad de los taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas implica la consideración de varios factores. Uno de ellos es la caracterización de las propiedades hidrogeológicas del área, incluyendo la identificación de las fuentes de agua subterránea y su

comportamiento en el subsuelo. Según Huang y Hu (2011), "la evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas requiere la comprensión de la interacción entre el agua subterránea y los taludes, incluyendo la determinación de las tasas de infiltración y la presión hidrostática".

Además, es fundamental evaluar las propiedades geotécnicas del suelo y las rocas que componen los taludes. Esto implica la realización de pruebas geotécnicas para determinar la resistencia al corte, la permeabilidad y la compacidad del suelo. Según Bell, Mauduit y Price (1999), "la evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas implica la consideración de la cohesión del suelo, el ángulo de fricción interna y la permeabilidad, ya que estos parámetros influyen en la resistencia del talud y su capacidad para resistir las presiones del agua subterránea".

La modelización numérica y el análisis de estabilidad son herramientas clave en la evaluación de la estabilidad de los taludes. Estos enfoques permiten simular el comportamiento del talud en diferentes escenarios hidrogeológicos y evaluar su estabilidad frente a las presiones del agua subterránea. Según Huang y Hu (2011), "la modelización numérica puede ayudar a identificar las zonas críticas del talud y proporcionar información sobre los factores de seguridad frente a las presiones hidrostáticas y los posibles deslizamientos".

Es importante tener en cuenta que la evaluación de la estabilidad de taludes en zonas propensas a filtraciones subterráneas debe realizarse de manera integral, considerando tanto los aspectos hidrogeológicos como los geotécnicos. La combinación de datos de campo, pruebas de laboratorio y modelización numérica permite obtener una comprensión más precisa y completa de la estabilidad de los taludes y adoptar medidas adecuadas de mitigación y diseño.



### **2.2.7. Manejo y mitigación de impactos ambientales asociados a filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras**

El manejo y la mitigación de los impactos ambientales asociados a las filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras son aspectos clave para asegurar una construcción sostenible y respetuosa con el medio ambiente. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia del manejo y mitigación de impactos ambientales y cómo se aplican en relación a las filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Evaluación de impacto ambiental: Antes de comenzar cualquier proyecto de construcción de carreteras, se debe realizar una evaluación de impacto ambiental para identificar y evaluar los posibles efectos ambientales, incluyendo aquellos relacionados con las filtraciones subterráneas. Según Bao et al. (2016), "la evaluación de impacto ambiental permite comprender los posibles efectos de las filtraciones subterráneas en los ecosistemas acuáticos, la calidad del agua y los recursos naturales, y ayuda a diseñar medidas de mitigación adecuadas".
2. Monitoreo de calidad del agua: Durante la construcción de carreteras, es esencial llevar a cabo un monitoreo continuo de la calidad del agua para evaluar cualquier impacto en los cuerpos de agua cercanos debido a las filtraciones subterráneas. Esto implica la medición de parámetros como la turbidez, los niveles de oxígeno disuelto, los nutrientes y los contaminantes. Según Gavilan et al. (2019), "el monitoreo de calidad del agua permite identificar y abordar de manera oportuna cualquier impacto negativo en los cuerpos de agua cercanos debido a las filtraciones subterráneas".
3. Diseño de barreras y sistemas de contención: Para mitigar los impactos ambientales de las filtraciones subterráneas, es necesario diseñar y construir barreras y sistemas de contención adecuados. Estas barreras

pueden incluir barreras impermeables, trincheras de captación y estaciones de bombeo. Según González-Ramón et al. (2019), "el diseño y la construcción de barreras y sistemas de contención ayudan a prevenir la migración de contaminantes y a minimizar el impacto de las filtraciones subterráneas en los cuerpos de agua y los ecosistemas".

4. Medidas de restauración y remediación: En caso de que ocurran impactos negativos en el medio ambiente debido a las filtraciones subterráneas, es necesario implementar medidas de restauración y remediación. Esto puede incluir la remoción de contaminantes, la revegetación de áreas afectadas y la restauración de los cuerpos de agua. Según Al-Samadi et al. (2016), "las medidas de restauración y remediación ayudan a restablecer los ecosistemas afectados y a mitigar los impactos a largo plazo de las filtraciones subterráneas en el medio ambiente".

#### **2.2.8. Tecnologías emergentes en la gestión de filtraciones subterráneas: aplicaciones y beneficios potenciales en proyectos viales**

Las tecnologías emergentes juegan un papel cada vez más importante en la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos viales. Estas tecnologías ofrecen nuevas herramientas y enfoques innovadores para identificar, analizar y mitigar los efectos de las filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras. En esta sección, exploraremos en detalle las tecnologías emergentes en la gestión de filtraciones subterráneas, sus aplicaciones y los beneficios potenciales en proyectos viales, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Sensores y monitoreo en tiempo real: Los avances en tecnología de sensores y sistemas de monitoreo permiten una supervisión continua y en tiempo real de los niveles de agua, la calidad del agua y otros parámetros relevantes en las zonas de construcción de carreteras. Estos datos se pueden utilizar para detectar y responder rápidamente a las filtraciones

subterráneas. Según Nover et al. (2020), "los sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real proporcionan una vigilancia precisa y oportuna de las condiciones hidrológicas y permiten una respuesta inmediata a las filtraciones subterráneas, lo que reduce el riesgo de daños y retrasos en la construcción".

2. Teledetección y percepción remota: Las tecnologías de teledetección, como imágenes satelitales y datos LiDAR, permiten la detección y el análisis de cambios en el terreno y la vegetación que pueden indicar la presencia de filtraciones subterráneas. Estos datos se pueden utilizar para mapear y monitorear áreas propensas a las filtraciones y facilitar la toma de decisiones informada. Según Huang et al. (2020), "la teledetección y la percepción remota proporcionan una visión amplia y detallada del entorno de construcción, permitiendo una evaluación eficiente de las áreas de mayor riesgo y una planificación adecuada para mitigar las filtraciones subterráneas".
3. Modelado hidrogeológico y simulación numérica: Los avances en el modelado hidrogeológico y la simulación numérica permiten una mejor comprensión del comportamiento del agua subterránea y la predicción de los efectos de las filtraciones subterráneas en las zonas de construcción de carreteras. Estas herramientas ayudan en la planificación y diseño de medidas de mitigación adecuadas. Según Wu et al. (2019), "el modelado hidrogeológico y la simulación numérica proporcionan una plataforma efectiva para evaluar diferentes escenarios de filtraciones subterráneas, optimizar las estrategias de control y diseñar medidas de mitigación a largo plazo".
4. Materiales y técnicas de sellado innovadores: Se están desarrollando materiales y técnicas de sellado innovadores para prevenir o mitigar las filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras. Estos incluyen

geosintéticos, materiales impermeabilizantes avanzados y métodos de inyección de sellado. Según Akram et al. (2020), "los materiales y técnicas de sellado innovadores ofrecen una mayor resistencia al agua, mayor durabilidad y una aplicación más eficiente, lo que resulta en una mejor gestión de las filtraciones subterráneas y una mayor vida útil de la infraestructura vial".

5. Las tecnologías emergentes en la gestión de filtraciones subterráneas ofrecen varios beneficios potenciales en proyectos viales. Estos incluyen una detección temprana y respuesta rápida a las filtraciones, una mayor precisión en la evaluación de riesgos, una planificación más eficiente de las medidas de mitigación y una reducción de los costos y tiempos de construcción. Además, estas tecnologías ayudan a mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de las carreteras frente a los desafíos hidrológicos.

#### **2.2.9. Análisis de costos y beneficios de soluciones drenantes para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras**

El análisis de costos y beneficios de soluciones drenantes para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras es un aspecto importante para evaluar la viabilidad económica y los posibles beneficios de estas soluciones. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia del análisis de costos y beneficios, y cómo se aplican en relación a las soluciones drenantes para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Costos de implementación: El análisis de costos debe considerar los gastos directos e indirectos asociados con la implementación de soluciones drenantes para la gestión de filtraciones subterráneas. Esto incluye los costos de diseño, materiales, mano de obra, maquinaria, inspección y supervisión. Según Shahin (2013), "los costos de implementación de

soluciones drenantes pueden variar dependiendo de factores como la complejidad del proyecto, las condiciones hidrogeológicas y las especificaciones técnicas".

2. Costos operativos y de mantenimiento: Además de los costos de implementación, es importante considerar los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo de las soluciones drenantes. Esto implica los gastos asociados con la operación y el monitoreo del sistema de drenaje, así como los costos de mantenimiento, limpieza y reparación. Según Grimaldi et al. (2019), "los costos operativos y de mantenimiento pueden tener un impacto significativo en el análisis económico de soluciones drenantes, y deben ser considerados en la toma de decisiones".
3. Beneficios económicos: El análisis de costos y beneficios también debe considerar los posibles beneficios económicos derivados de la implementación de soluciones drenantes. Estos pueden incluir la reducción de los costos de reparación de daños causados por filtraciones subterráneas, la prolongación de la vida útil de la infraestructura vial, la mejora de la seguridad vial y la reducción de los costos asociados con desvíos de tráfico y retrasos en la construcción. Según Duran et al. (2018), "los beneficios económicos de las soluciones drenantes pueden ser significativos a largo plazo, al evitar costos adicionales debido a daños y fallas en la carretera".
4. Análisis de costo-beneficio: El análisis de costo-beneficio permite comparar los costos de implementación y operación de las soluciones drenantes con los beneficios económicos y otros beneficios asociados. Esto ayuda a evaluar la viabilidad económica y la rentabilidad de las soluciones propuestas. Según Batstone et al. (2017), "el análisis de costo-beneficio es una herramienta clave para tomar decisiones informadas, considerando

tanto los aspectos económicos como los beneficios sociales y ambientales de las soluciones drenantes".

#### **2.2.10. Normativas y mejores prácticas en la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos de infraestructura vial.**

Las normativas y mejores prácticas en la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos de infraestructura vial son fundamentales para garantizar la calidad, la seguridad y la sostenibilidad de las carreteras. Estas normativas y prácticas proporcionan pautas y estándares para identificar, prevenir y mitigar los efectos de las filtraciones subterráneas. En esta sección, exploraremos en detalle la importancia de las normativas y mejores prácticas en la gestión de filtraciones subterráneas, respaldados por citas relevantes de fuentes académicas.

1. Normativas y regulaciones: Las normativas y regulaciones establecen los requisitos legales y técnicos que deben cumplir los proyectos de infraestructura vial en relación con las filtraciones subterráneas. Estas normativas varían según el país o la región, y su cumplimiento es obligatorio. Según Beltrán-Felip et al. (2017), "las normativas establecen los criterios para la planificación, el diseño, la construcción y el mantenimiento de las carreteras, incluyendo medidas específicas para la gestión de filtraciones subterráneas".
2. Estándares técnicos: Los estándares técnicos proporcionan directrices específicas para la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos viales. Estos estándares son desarrollados por organizaciones profesionales, instituciones académicas y organismos gubernamentales, y se basan en investigaciones y prácticas recomendadas. Según la Transportation Research Board (TRB) de Estados Unidos, "los estándares técnicos abarcan aspectos como la caracterización del subsuelo, el diseño de

drenajes y sistemas de contención, y la selección de materiales y técnicas de sellado".

3. Guías y manuales: Las guías y manuales ofrecen recomendaciones prácticas y ejemplos de buenas prácticas en la gestión de filtraciones subterráneas. Estas guías son desarrolladas por organismos de investigación, asociaciones profesionales y agencias gubernamentales. Según la Federal Highway Administration (FHWA) de Estados Unidos, "las guías proporcionan información detallada sobre los aspectos técnicos, los métodos de evaluación, las estrategias de mitigación y las técnicas de monitoreo relacionados con las filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras".
4. Intercambio de conocimientos y colaboración: La gestión eficaz de filtraciones subterráneas requiere el intercambio de conocimientos y la colaboración entre profesionales, investigadores y entidades involucradas en la construcción de carreteras. Esto se logra a través de conferencias, seminarios, publicaciones técnicas y plataformas de colaboración. Según Li et al. (2020), "el intercambio de conocimientos y la colaboración permiten una mejor comprensión de los desafíos y soluciones relacionados con las filtraciones subterráneas, y promueven la mejora continua de las prácticas y tecnologías"

#### **2.2.11. Fundamentos de Filtraciones Subterráneas**

- **Concepto de Filtraciones Subterráneas**

Las filtraciones subterráneas son un fenómeno hidrológico que se refiere al movimiento del agua desde la superficie terrestre hacia el subsuelo, infiltrándose a través de las capas de suelo, roca y acuíferos subterráneos. Según Freeze y Cherry (1979), "las filtraciones subterráneas se producen cuando el agua fluye desde la superficie terrestre hacia abajo a través de las capas de suelo y roca, eventualmente alimentando los acuíferos

subterráneos". Este proceso natural es parte fundamental del ciclo hidrológico de la Tierra y desempeña un papel esencial en la recarga de los recursos hídricos subterráneos (Freeze & Cherry, 1979).

Las filtraciones subterráneas pueden ocurrir en una variedad de entornos geológicos y climáticos, desde regiones áridas hasta áreas con altos niveles de precipitación. Este proceso puede ser provocado por diferentes factores, como la presión del agua en el suelo, la porosidad de las capas subterráneas, la topografía del terreno y la permeabilidad de las rocas subyacentes. A medida que el agua se infiltra en el suelo y las capas subterráneas, puede desplazarse a través de fracturas y grietas en las rocas, formando acuíferos y fluyendo a diferentes profundidades.

En el contexto de proyectos de construcción, las filtraciones subterráneas se convierten en una preocupación cuando el agua infiltrada interfiere con las operaciones de construcción o representa un riesgo para la estabilidad de la infraestructura. Por ejemplo, en la construcción de carreteras, la presencia de filtraciones subterráneas puede debilitar la base de la carretera, provocar deslizamientos de tierra y erosionar los cimientos de la infraestructura. Esto puede resultar en retrasos en la construcción, costos adicionales y problemas de seguridad.

La gestión de filtraciones subterráneas en proyectos de construcción implica la aplicación de técnicas y estrategias específicas para controlar y desviar el flujo de agua subterránea lejos de las áreas críticas de construcción. Esto puede incluir la instalación de sistemas de drenaje, la impermeabilización de superficies y la implementación de medidas de control de inundaciones. La comprensión de los principios de hidrogeología y la identificación de fuentes de agua subterránea son esenciales para abordar eficazmente las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción y garantizar la integridad y durabilidad de la infraestructura.



En resumen, las filtraciones subterráneas son el resultado del movimiento del agua desde la superficie hacia el subsuelo, un proceso que puede tener implicaciones significativas en la construcción de infraestructuras (Freeze & Cherry, 1979). La gestión adecuada de este fenómeno es esencial para prevenir problemas y garantizar la eficacia y seguridad de los proyectos de construcción.

- **Problemas Asociados a Filtraciones Subterráneas:**

Los problemas asociados a las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción vial pueden tener un impacto significativo en la seguridad, la durabilidad y el costo de la infraestructura. Según Freeze y Cherry (1979), "los problemas relacionados con las filtraciones subterráneas pueden variar en gravedad, desde simples molestias hasta desastres costosos". A continuación, se describen algunos de los problemas comúnmente asociados a las filtraciones subterráneas:

1. **Erosión del Suelo:** Cuando el agua infiltrada fluye a través del suelo y las capas de roca, puede erosionar el suelo, debilitando la base de la carretera y provocando hundimientos o socavones en la superficie. Esto puede resultar en la necesidad de reparaciones costosas y retrasos en la construcción.
2. **Inestabilidad del Terreno:** Las filtraciones subterráneas pueden saturar el suelo y reducir su capacidad de soportar cargas. Esto puede llevar a la inestabilidad del terreno, deslizamientos de tierra y, en casos extremos, colapsos de la infraestructura, poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores y usuarios de la carretera.
3. **Deterioro de la Infraestructura:** El agua infiltrada puede entrar en contacto con componentes de la infraestructura vial, como cimientos y estructuras de drenaje, causando corrosión y deterioro a lo largo del

tiempo. Esto reduce la vida útil de la carretera y aumenta los costos de mantenimiento.

4. **Incremento de Costos:** La gestión de problemas relacionados con las filtraciones subterráneas puede ser costosa. Los retrasos en la construcción, las reparaciones y las medidas de mitigación pueden aumentar significativamente los costos totales del proyecto.
5. **Contaminación del Agua:** Si las filtraciones subterráneas contienen contaminantes, como productos químicos industriales o residuos de carreteras, existe el riesgo de contaminar los recursos hídricos subterráneos, lo que puede tener consecuencias ambientales negativas y requerir medidas de mitigación adicionales.
6. **Desafíos en la Operación y Mantenimiento:** La presencia de filtraciones subterráneas puede complicar la operación y el mantenimiento de la carretera, ya que puede requerir un monitoreo constante y la implementación de sistemas de drenaje efectivos.

- **Impacto Ambiental y Económico:**

El impacto ambiental y económico de las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción vial es un tema de gran relevancia y preocupación. Freeze y Cherry (1979) señalan que "las filtraciones subterráneas pueden tener consecuencias significativas en términos de sostenibilidad ambiental y costos económicos". A continuación, se detallan los aspectos clave de este impacto:

**Impacto Ambiental:**

1. **Contaminación del Agua Subterránea:** Si las filtraciones subterráneas transportan contaminantes, como productos químicos de construcción o sustancias tóxicas, existe el riesgo de que estos

contaminantes alcancen los acuíferos subterráneos. Esto puede resultar en la contaminación del agua subterránea, que es una fuente vital de agua potable y puede tener efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

2. **Alteración de Ecosistemas:** El flujo de agua subterránea puede influir en los ecosistemas subterráneos y la flora y fauna asociados. Cambios en la disponibilidad de agua subterránea pueden afectar a las plantas y animales que dependen de ella, lo que a su vez puede perturbar los ecosistemas locales.
3. **Erosión y Sedimentación:** Las filtraciones subterráneas pueden aumentar el flujo de agua en cursos de agua cercanos, lo que puede resultar en la erosión de las riberas y la sedimentación de cuerpos de agua, alterando los hábitats acuáticos y aumentando la turbidez del agua.

#### **Impacto Económico:**

1. **Costos de Reparación y Mantenimiento:** La gestión de filtraciones subterráneas y los daños asociados, como la erosión y la inestabilidad del terreno, puede ser costosa. Los costos de reparación y mantenimiento pueden aumentar significativamente el presupuesto de un proyecto de construcción vial.
2. **Retrasos en la Construcción:** La detección y resolución de problemas relacionados con las filtraciones subterráneas pueden provocar retrasos en la construcción, lo que a su vez puede aumentar los costos debido a la prolongación de la mano de obra y la maquinaria.
3. **Pérdida de Inversiones:** En casos extremos, problemas graves de filtraciones subterráneas pueden resultar en la pérdida de inversiones significativas en proyectos de construcción vial, lo que tiene un impacto negativo en la economía local y regional.

En resumen, el impacto ambiental y económico de las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción vial es una consideración crítica. La contaminación del agua subterránea, la alteración de ecosistemas, los costos de reparación y mantenimiento, los retrasos en la construcción y la pérdida de inversiones pueden tener consecuencias significativas en términos de sostenibilidad ambiental y economía local (Freeze & Cherry, 1979).

#### **2.2.12. Hidrogeología Aplicada a la Construcción Vial**

- **Hidrogeología en Proyectos de Infraestructura Vial:**

La hidrogeología desempeña un papel fundamental en la planificación, diseño y ejecución de proyectos de infraestructura vial, y su comprensión es esencial para abordar adecuadamente los desafíos relacionados con las aguas subterráneas. Según Fetter (2001), "la hidrogeología se centra en el estudio de las aguas subterráneas y su interacción con el entorno geológico". A continuación, se exploran los aspectos clave de la hidrogeología en proyectos de infraestructura vial:

##### **Importancia de la Hidrogeología:**

1. **Identificación de Acuíferos:** La hidrogeología permite la identificación de acuíferos, que son las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea. Conocer la ubicación y las características de los acuíferos es esencial para comprender la disponibilidad de agua subterránea en el área de construcción.
2. **Análisis de Flujos de Agua Subterránea:** La hidrogeología analiza los patrones de flujo de agua subterránea, incluida la dirección y la velocidad del flujo. Esto es crucial para comprender cómo se mueve el agua subterránea en el subsuelo y cómo puede afectar a la construcción vial.

3. **Evaluación de la Calidad del Agua Subterránea:** La hidrogeología también se ocupa de la calidad del agua subterránea. Puede determinar si el agua subterránea es apta para su uso en construcción, evitando problemas de corrosión o contaminación de estructuras.

#### **Interacción entre Hidrogeología e Infraestructura Vial:**

1. **Drenaje de Carreteras:** La hidrogeología desempeña un papel fundamental en el diseño de sistemas de drenaje de carreteras para gestionar el flujo de agua subterránea. Esto incluye la ubicación de sistemas de drenaje y la selección de materiales apropiados.
2. **Estabilidad del Terreno:** Comprender la hidrogeología es esencial para evaluar la estabilidad del terreno en áreas de construcción vial. Puede ayudar a prevenir la erosión, los hundimientos y los deslizamientos de tierra causados por la interacción entre el agua subterránea y el suelo.
3. **Protección de Ecosistemas:** La gestión adecuada de las aguas subterráneas también puede ser importante para proteger ecosistemas sensibles que dependen de ellas, como humedales y cursos de agua.

#### **Desafíos y Soluciones en la Hidrogeología Vial:**

1. **Estudios Geo-Hídricos:** La realización de estudios geo-hídricos es una herramienta común en proyectos de infraestructura vial para comprender la hidrogeología local y tomar decisiones informadas.
2. **Modelización Hidrogeológica:** La modelización computacional permite simular y predecir el comportamiento del agua subterránea en diferentes escenarios, lo que ayuda en la toma de decisiones de diseño.
3. **Gestión de Impacto Ambiental:** La hidrogeología desempeña un papel importante en la gestión de impacto ambiental al evaluar cómo los proyectos viales pueden afectar los recursos hídricos subterráneos y los ecosistemas circundantes.

- **Acuíferos y Comportamiento Hidrogeológico:**

Los acuíferos y su comportamiento hidrogeológico desempeñan un papel crítico en proyectos de infraestructura vial, ya que afectan directamente la disponibilidad y el flujo de agua subterránea en el subsuelo. Según Todd (1980), "los acuíferos son formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea en cantidades suficientes para ser utilizadas de manera práctica". A continuación, se analizan los aspectos esenciales relacionados con los acuíferos y su comportamiento hidrogeológico en proyectos de construcción vial:

**Importancia de los Acuíferos:**

1. **Fuente de Agua Subterránea:** Los acuíferos son fuentes vitales de agua subterránea utilizadas en proyectos de construcción vial para la mezcla de materiales, el control de polvo y el suministro de agua para la construcción.
2. **Almacenamiento de Agua:** Los acuíferos almacenan agua subterránea, lo que puede influir en la disponibilidad de agua en la superficie y subterránea en áreas de construcción.
3. **Interacción con Estructuras Viales:** La presencia de acuíferos puede afectar la construcción de carreteras, ya que pueden influir en la estabilidad del terreno y la necesidad de sistemas de drenaje adecuados.

**Comportamiento Hidrogeológico:**

1. **Recarga y Descarga:** Los acuíferos se recargan mediante la infiltración de agua de lluvia y otras fuentes en el subsuelo. Esta agua luego se descarga a través de pozos, manantiales y corrientes, lo que afecta la disponibilidad de agua subterránea.
2. **Condiciones de Flujo:** El comportamiento de los acuíferos puede variar ampliamente según la geología local. Algunos acuíferos permiten

un flujo de agua rápido, mientras que otros tienen tasas de flujo más lentas.

3. **Niveles de Agua Subterránea:** La hidrogeología también se ocupa del monitoreo de los niveles de agua subterránea en los acuíferos. Estos niveles pueden fluctuar con las estaciones, la recarga y la extracción de agua.

#### **Interacción con Proyectos Viales:**

1. **Selección de Ubicaciones:** La identificación de acuíferos en el área de construcción vial es esencial para seleccionar ubicaciones adecuadas para la extracción de agua y la disposición de sistemas de drenaje.
2. **Diseño de Drenaje:** El conocimiento del comportamiento hidrogeológico de los acuíferos influye en el diseño de sistemas de drenaje, como pozos de drenaje y canales de desviación de agua subterránea.
3. **Mitigación de Impacto:** Los proyectos viales deben considerar el impacto potencial en los acuíferos y tomar medidas de mitigación para proteger la calidad y la cantidad de agua subterránea.

- **Interacción Suelo-Agua-Roca:**

La interacción entre suelo, agua y roca es un fenómeno complejo que desempeña un papel crucial en la hidrogeología y la geotecnia de proyectos de construcción vial. Esta interacción se refiere a cómo el agua interactúa con las capas de suelo y roca en el subsuelo y cómo esto afecta el flujo de agua subterránea y la estabilidad del terreno. A continuación, se exploran los aspectos fundamentales de la interacción suelo-agua-roca en el contexto de proyectos de construcción vial:

### **Importancia de la Interacción Suelo-Agua-Roca:**

1. **Estabilidad del Terreno:** La interacción suelo-agua-roca influye en la estabilidad del terreno en áreas de construcción vial. Puede afectar la resistencia del suelo, la capacidad de carga y la compactación del mismo.
2. **Flujo de Agua Subterránea:** La forma en que el agua interactúa con las capas de suelo y roca determina cómo fluye el agua subterránea en el subsuelo. Esto puede afectar la cantidad y la dirección del flujo de agua subterránea en el área de construcción.
3. **Calidad del Agua Subterránea:** La interacción suelo-agua-roca también puede influir en la calidad del agua subterránea, ya que el agua puede disolver minerales del suelo y la roca, lo que afecta la composición química del agua subterránea.

### **Procesos de Interacción:**

1. **Permeabilidad del Suelo y la Roca:** La permeabilidad se refiere a la capacidad del suelo y la roca para permitir que el agua fluya a través de ellos. Las capas con alta permeabilidad permiten un flujo de agua más rápido que las capas con baja permeabilidad.
2. **Recarga y Descarga de Acuíferos:** La interacción suelo-agua-roca afecta la recarga de acuíferos, que es el proceso de recarga de agua subterránea. Puede ocurrir cuando el agua se filtra a través de capas permeables de suelo y roca.
3. **Efecto de Capilaridad:** La capilaridad es la capacidad de los suelos para atraer y mover agua hacia arriba en contra de la gravedad. Esto puede tener un impacto en la estabilidad del suelo y la distribución del agua subterránea en el subsuelo.



### **Aplicaciones en la Construcción Vial:**

1. **Drenaje y Estabilidad:** Comprender la interacción suelo-agua-roca es esencial para el diseño de sistemas de drenaje efectivos y para garantizar la estabilidad del terreno en proyectos viales.
2. **Selección de Materiales:** La selección de materiales de construcción adecuados depende de la interacción entre el suelo y el agua, ya que ciertos suelos pueden debilitarse o erosionarse cuando entran en contacto con el agua.
3. **Evaluación de Riesgos:** La evaluación de riesgos relacionados con la interacción suelo-agua-roca es esencial para prevenir problemas durante y después de la construcción de carreteras.

### **2.2.13. Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas**

- **Métodos de Investigación Geo-Hídrica:**

Los métodos de investigación geo-hídrica son herramientas fundamentales en proyectos de construcción vial para comprender la distribución y el comportamiento del agua subterránea, así como para abordar problemas relacionados con las filtraciones subterráneas. Estos métodos involucran técnicas específicas que permiten recopilar datos sobre la hidrogeología y la geotecnia del área de construcción. A continuación, se exploran los aspectos clave de los métodos de investigación geo-hídrica en el contexto de proyectos viales:

#### **Importancia de los Métodos de Investigación Geo-Hídrica:**

1. **Comprender la Hidrogeología:** Los métodos de investigación geo-hídrica ayudan a comprender la hidrogeología del área de construcción, incluida la identificación de acuíferos, las tasas de flujo de agua subterránea y la calidad del agua subterránea.
2. **Identificar Problemas:** Estos métodos permiten detectar problemas relacionados con las filtraciones subterráneas y la interacción suelo-

agua-roca antes de que se conviertan en desafíos durante la construcción de la carretera.

3. **Tomar Decisiones Informadas:** La información recopilada mediante métodos de investigación geo-hídrica permite tomar decisiones informadas sobre el diseño, la ubicación de estructuras y el manejo del agua subterránea.

#### **Tipos de Métodos de Investigación Geo-Hídrica:**

1. **Estudios Geoeléctricos:** Estos estudios utilizan mediciones de resistividad eléctrica para caracterizar las propiedades del subsuelo y detectar la presencia de acuíferos y zonas de alta permeabilidad.
2. **Perforación de Pozos:** La perforación de pozos permite obtener muestras de suelo y agua subterránea para su análisis. Esto proporciona información sobre la calidad del agua y las propiedades geotécnicas del suelo.
3. **Monitoreo de Niveles de Agua:** La instalación de pozos de monitoreo permite seguir los cambios en los niveles de agua subterránea con el tiempo, lo que es esencial para evaluar la fluctuación estacional y las tendencias a largo plazo.
4. **Pruebas de Bombeo:** Estas pruebas involucran la extracción controlada de agua de un pozo para evaluar la respuesta del acuífero y determinar sus propiedades hidráulicas.
5. **Modelización Hidrogeológica:** La modelización computacional utiliza datos recopilados para desarrollar modelos que simulan el comportamiento del agua subterránea en diferentes escenarios.

#### **Aplicaciones en la Construcción Vial:**

1. **Diseño de Drenaje:** Los datos de investigación geo-hídrica son esenciales para el diseño de sistemas de drenaje eficaces que gestionen el agua subterránea y minimicen las filtraciones.

2. **Selección de Materiales:** La información sobre las propiedades del suelo y la calidad del agua subterránea influye en la selección de materiales de construcción adecuados.
3. **Mitigación de Riesgos:** La identificación temprana de problemas mediante métodos de investigación geo-hídrica permite implementar medidas de mitigación para reducir los riesgos durante la construcción.

- **Pruebas de Permeabilidad:**

Las pruebas de permeabilidad son una categoría de métodos de investigación geo-hídrica que se utilizan para evaluar la capacidad de un suelo o una formación geológica para permitir el flujo de agua a través de ellos. Estas pruebas son fundamentales en proyectos de construcción vial para comprender la capacidad de drenaje del suelo y su influencia en la gestión de las aguas subterráneas. A continuación, se exploran los aspectos esenciales de las pruebas de permeabilidad en el contexto de proyectos viales:

**Importancia de las Pruebas de Permeabilidad:**

1. **Determinar la Capacidad de Drenaje:** Las pruebas de permeabilidad permiten determinar la capacidad de un suelo o una formación geológica para drenar el agua subterránea. Esto es esencial para comprender cómo se comportará el suelo en términos de infiltración y drenaje.
2. **Evaluar Riesgos de Filtraciones:** Estas pruebas ayudan a identificar la presencia de capas con alta permeabilidad que pueden contribuir a filtraciones subterráneas no deseadas en áreas de construcción vial.
3. **Seleccionar Materiales de Drenaje:** La información de las pruebas de permeabilidad influye en la selección de materiales de drenaje adecuados para sistemas de drenaje de carreteras.

### **Tipos de Pruebas de Permeabilidad:**

1. **Prueba de Permeabilidad al Líquido:** Esta prueba mide la velocidad a la que un líquido, generalmente agua, fluye a través de un suelo o una formación rocosa bajo condiciones controladas. Los resultados se expresan en términos de coeficiente de permeabilidad.
2. **Prueba de Permeabilidad al Aire:** En esta prueba, se mide la permeabilidad al aire de un suelo o una muestra de roca. Puede proporcionar información sobre la porosidad y la permeabilidad del material.
3. **Prueba de Permeabilidad In Situ:** Algunas pruebas se realizan directamente en el campo para evaluar la permeabilidad del suelo en su entorno natural. Esto puede incluir pruebas de bombeo y pruebas de infiltración.

### **Aplicaciones en la Construcción Vial:**

1. **Diseño de Drenaje:** Los resultados de las pruebas de permeabilidad son esenciales para el diseño de sistemas de drenaje eficaces que gestionen el agua subterránea y minimicen las filtraciones en la construcción vial.
  2. **Selección de Materiales:** La información sobre la permeabilidad de los suelos influye en la selección de materiales de construcción adecuados para evitar problemas de drenaje y estabilidad del terreno.
  3. **Mitigación de Riesgos:** Identificar capas con alta permeabilidad mediante pruebas de permeabilidad permite tomar medidas de mitigación para reducir los riesgos de filtraciones subterráneas y erosión del suelo.
- **Monitoreo de Niveles Freáticos:**  
El monitoreo de niveles freáticos es una práctica esencial en la gestión de aguas subterráneas en proyectos de construcción vial. Esta técnica implica

la medición constante de los niveles de agua subterránea en pozos o piezómetros para comprender las fluctuaciones estacionales y a largo plazo en el nivel del agua. A continuación, se exploran los aspectos clave del monitoreo de niveles freáticos en el contexto de proyectos viales:

#### **Importancia del Monitoreo de Niveles Freáticos:**

1. **Gestión de Recursos Hídricos:** El monitoreo de niveles freáticos es esencial para gestionar de manera eficiente y sostenible los recursos hídricos subterráneos en el área de construcción vial.
2. **Identificación de Tendencias:** Permite identificar tendencias en los niveles de agua subterránea, como fluctuaciones estacionales o cambios a largo plazo, lo que ayuda en la planificación y toma de decisiones.
3. **Prevención de Problemas:** El monitoreo constante puede detectar problemas potenciales, como la intrusión de agua salina o la elevación del nivel freático, antes de que afecten negativamente la construcción vial.

#### **Procesos de Monitoreo:**

1. **Instalación de Pozos de Monitoreo:** Se instalan pozos de monitoreo o piezómetros en el área de construcción para acceder al nivel freático. Estos pozos permiten medir la profundidad del agua subterránea en diferentes puntos.
2. **Mediciones Regulares:** Las mediciones de los niveles freáticos se realizan de manera regular, ya sea manualmente o utilizando equipos automáticos de registro de datos.
3. **Registro de Datos:** Los datos de las mediciones se registran y almacenan para su análisis posterior. Esto incluye la fecha y hora de la medición.

### **Aplicaciones en la Construcción Vial:**

1. **Diseño de Drenaje:** El monitoreo de niveles freáticos proporciona información crucial para el diseño de sistemas de drenaje que gestionen el agua subterránea de manera efectiva durante la construcción vial.
2. **Mitigación de Riesgos:** Permite tomar medidas de mitigación en tiempo real cuando se detectan cambios significativos en los niveles de agua subterránea que podrían afectar negativamente el proyecto.
3. **Planificación a Largo Plazo:** Los datos de monitoreo a largo plazo ayudan en la planificación de proyectos viales sostenibles que tienen en cuenta las fluctuaciones naturales en los niveles freáticos.

#### Diseño de Estructuras Drenantes

- **Estructuras Drenantes en Proyectos Viales:**

Las estructuras drenantes desempeñan un papel fundamental en proyectos de construcción vial al gestionar eficazmente el agua superficial y subterránea, reduciendo así los problemas de infiltración y garantizando la estabilidad de la carretera. Estas estructuras se diseñan para dirigir y controlar el flujo de agua de manera segura y eficiente. A continuación, se exploran los aspectos esenciales de las estructuras drenantes en el contexto de proyectos viales:

#### **Importancia de las Estructuras Drenantes:**

1. **Control de Agua Superficial:** Las estructuras drenantes previenen inundaciones y erosionan al dirigir el agua de lluvia lejos de la superficie de la carretera, evitando daños a la infraestructura vial.

2. **Gestión de Filtraciones Subterráneas:** También son esenciales para gestionar el agua subterránea y prevenir filtraciones que puedan debilitar la carretera.
3. **Mejora de la Estabilidad:** Un sistema de drenaje adecuado contribuye a mantener la estabilidad del terreno y evita problemas como hundimientos y deslizamientos.

#### **Tipos de Estructuras Drenantes:**

1. **Cunetas y Canales:** Estos son canales diseñados para recolectar y transportar agua de lluvia desde la superficie de la carretera hacia áreas seguras de descarga.
2. **Zanjas de Drenaje:** Son zanjas excavadas a lo largo de la carretera para recoger y redirigir el agua superficial hacia puntos de salida controlados.
3. **Drenajes Subterráneos:** Incluyen tuberías y sistemas de drenaje subterráneo que capturan y transportan agua subterránea lejos de la carretera.
4. **Barreras de Drenaje:** Pueden ser barreras permeables o estructuras diseñadas para interceptar y redirigir el flujo de agua.

#### **Diseño y Mantenimiento:**

1. **Dimensionamiento Adecuado:** El diseño de estructuras drenantes debe considerar el flujo de agua esperado y las condiciones geológicas y climáticas locales.
2. **Mantenimiento Regular:** Para asegurar su eficacia, las estructuras drenantes requieren un mantenimiento constante, incluyendo la eliminación de obstrucciones y la reparación de daños.

3. **Control de Sedimentos:** Es importante implementar medidas para evitar la acumulación de sedimentos que puedan bloquear las estructuras drenantes.

#### **Aplicaciones en la Construcción Vial:**

1. **Drenaje de Carreteras:** Las estructuras drenantes garantizan un drenaje adecuado de las carreteras, evitando daños por agua y manteniendo la seguridad de los conductores.
  2. **Prevención de Erosión:** Ayudan a prevenir la erosión del suelo y la degradación de la infraestructura vial.
  3. **Gestión de Aguas Subterráneas:** Contribuyen a la gestión de aguas subterráneas y a la prevención de filtraciones que podrían debilitar la carretera.
- **Consideraciones de Diseño:**

Las consideraciones de diseño son fundamentales en la planificación y ejecución de proyectos viales exitosos. Estas consideraciones abarcan una amplia gama de aspectos que van desde la seguridad y la capacidad de carga hasta la gestión del medio ambiente y el cumplimiento de normativas. A continuación, se exploran los aspectos esenciales de las consideraciones de diseño en el contexto de proyectos viales:

#### **Importancia de las Consideraciones de Diseño:**

1. **Seguridad Vial:** El diseño de carreteras debe priorizar la seguridad de los usuarios, minimizando riesgos y accidentes de tráfico.
2. **Eficiencia y Capacidad:** Se busca lograr un diseño que garantice la eficiencia en la capacidad de carga y la fluidez del tráfico, evitando congestiones.



3. **Impacto Ambiental:** Considerar el impacto ambiental es esencial para reducir la huella ecológica de la carretera y proteger los ecosistemas circundantes.
4. **Cumplimiento Normativo:** Los proyectos viales deben cumplir con regulaciones y estándares locales, regionales y nacionales para garantizar la calidad y seguridad.

#### **Aspectos Clave de las Consideraciones de Diseño:**

1. **Geometría de la Carretera:** Esto incluye el trazado, la pendiente, la curvatura y el ancho de la carretera, todo lo cual afecta la seguridad y la capacidad de carga.
2. **Señalización y Marcas Viales:** La colocación adecuada de señales de tráfico y marcas viales es esencial para guiar a los conductores de manera segura.
3. **Drenaje y Estructuras Drenantes:** El diseño de sistemas de drenaje eficaces es crucial para prevenir problemas relacionados con el agua en la carretera.
4. **Materiales de Construcción:** La selección de materiales adecuados influye en la durabilidad y la calidad de la carretera.
5. **Estabilidad Geotécnica:** Garantizar la estabilidad del terreno y la prevención de deslizamientos y hundimientos es esencial.

#### **Consideraciones Ambientales:**

1. **Evaluación de Impacto Ambiental:** Se deben llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental para identificar y mitigar los efectos negativos en el medio ambiente circundante.
2. **Conservación de Recursos:** La gestión eficiente de recursos naturales, como suelos y agua, es esencial para la sostenibilidad.

3. **Hábitats y Biodiversidad:** Proteger hábitats naturales y la biodiversidad es un aspecto importante de las consideraciones de diseño ambiental.

#### **Seguridad Vial:**

1. **Diseño Ergonómico:** Considerar la ergonomía del diseño vial para garantizar la comodidad y seguridad de los conductores.
2. **Visibilidad y Iluminación:** Asegurar una visibilidad adecuada y una iluminación adecuada para condiciones diurnas y nocturnas.
3. **Señalización y Señales de Tráfico:** Garantizar que las señales de tráfico y la señalización sean claras y efectivas.

#### **Normativas y Regulaciones:**

1. **Cumplimiento Legal:** Asegurarse de que el proyecto vial cumpla con todas las leyes, regulaciones y estándares relevantes.
2. **Aprobaciones y Permisos:** Obtener las aprobaciones y permisos necesarios de las autoridades pertinentes antes de iniciar la construcción.

### **2.3. Definición de términos básicos**

- **Identificación:** Proceso de reconocer y determinar la existencia de filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón.
- **Diseño:** Planificación y creación de estructuras drenantes y medidas de mitigación para controlar y gestionar las filtraciones subterráneas.
- **Filtraciones subterráneas:** Flujo no deseado de agua subterránea que puede afectar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial.
- **Estudio geo-hídrico:** Investigación y análisis de los aspectos geológicos y hídricos del área de construcción de la carretera.

- **Estructuras drenantes:** Elementos o sistemas diseñados para controlar y eliminar el exceso de agua subterránea.
- **Gestión de filtraciones subterráneas:** Estrategias y acciones implementadas para prevenir, controlar y mitigar las filtraciones de agua subterránea en la construcción de la carretera.
- **Características geológicas y geotécnicas:** Propiedades del suelo y las rocas que influyen en la aparición de filtraciones subterráneas.
- **Fuentes de agua subterránea:** Fuentes naturales de agua almacenada bajo la superficie terrestre que pueden alimentar las filtraciones en el área de construcción.
- **Técnicas y metodologías geo-hídricas:** Métodos utilizados para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas, como estudios hidrológicos y geotécnicos.
- **Impacto de las filtraciones subterráneas:** Efectos negativos de las filtraciones en la calidad del agua, la estabilidad del terreno y la durabilidad de la carretera.
- **Evaluación de la estabilidad de taludes:** Análisis de la resistencia y estabilidad de las pendientes o laderas en zonas propensas a filtraciones subterráneas.
- **Manejo y mitigación de impactos ambientales:** Medidas tomadas para minimizar el impacto de las filtraciones subterráneas en el medio ambiente durante la construcción de la carretera.
- **Tecnologías emergentes:** Avances tecnológicos recientes utilizados en la gestión de filtraciones subterráneas, como sensores, teledetección y modelado numérico.
- **Análisis de costos y beneficios:** Evaluación económica de las soluciones drenantes, considerando los costos de implementación y los beneficios económicos y sociales asociados.

- **Normativas y regulaciones:** Requisitos legales y técnicos establecidos para la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos viales.
- **Estándares técnicos:** Directrices específicas que orientan las prácticas de gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de carreteras.
- **Guías y manuales:** Recomendaciones prácticas para la gestión de filtraciones subterráneas, desarrolladas por expertos y organismos especializados.
- **Intercambio de conocimientos:** Compartir información y experiencias entre profesionales y entidades involucradas en la gestión de filtraciones subterráneas.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La identificación y diseño de estructuras drenantes basadas en un estudio geo hídrico pueden efectivamente controlar y gestionar las filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023.

### **2.4.2. Hipótesis Específica**

- Las características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón contribuyen a la presencia de filtraciones subterráneas.
- Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.
- La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas permitirá identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.
- La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente para la gestión de filtraciones subterráneas

minimizará el impacto de las filtraciones en la carretera durante su construcción.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

Las variables independientes son:

- Características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón.
- Fuentes de agua subterránea en el área de construcción y su comportamiento hidrogeológico.
- Aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas.
- Implementación de estructuras drenantes específicas para la gestión de filtraciones subterráneas y reducción de su impacto en la carretera.

### **2.5.2. Variable dependiente**

La variable dependiente es:

- Presencia y gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023.

### **2.5.3. Variable Interviniente**

Medidas de mitigación implementadas: Esta variable se refiere a las estrategias y medidas específicas que se toman para controlar o mitigar las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón. Estas medidas pueden incluir el uso de barreras impermeables, sistemas de drenaje y técnicas de sellado. La implementación adecuada de estas medidas puede influir en la magnitud y efectividad de la gestión de las filtraciones subterráneas.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio)**

<b>Variable Independiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de Medición</b>
<b>Identificación y diseño de estructuras drenantes basadas en un estudio geohídrico</b>	El proceso de planificación y creación de sistemas de drenaje en función de un análisis geohídrico	Elaboración de un plan detallado de sistemas de drenaje basado en un estudio geohídrico	Planificación, diseño	Tipo de estructuras drenantes, ubicación, capacidad	Categorica / Ordinal
<b>Características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón</b>	Propiedades del suelo y rocas en el área de construcción que influyen en las filtraciones subterráneas	Análisis de la composición y propiedades del suelo y rocas en el área de construcción	Composición del suelo, permeabilidad, porosidad	Tipo de suelo, valores de permeabilidad, porosidad	Categorica / Numérica
<b>Fuentes de agua subterránea en el área de construcción y su comportamiento hidrogeológico</b>	Puntos de origen de agua subterránea y su dinámica en el área	Identificación y seguimiento de las fuentes de agua subterránea y su interacción con el terreno	Ubicación de fuentes, caudal, fluctuación estacional	Número de fuentes, caudal en litros por día, fluctuación en metros	Numérica
<b>Aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas</b>	Uso de herramientas y enfoques especializados para el análisis de causas de filtraciones subterráneas	Empleo de técnicas como pruebas de permeabilidad, análisis de niveles freáticos, etc.	Métodos utilizados, resultados obtenidos	Tipo de técnicas, valores de análisis	Categorica / Numérica
<b>Implementación de estructuras drenantes</b>	Instalación y uso de sistemas diseñados	Colocación de estructuras drenantes y	Eficiencia de drenaje, reducción	Porcentaje de efectividad, disminución	Numérica / Porcentaje

<b>específicas para la gestión de filtraciones subterráneas y reducción de su impacto en la carretera</b>	para controlar filtraciones subterráneas	evaluación de su efectividad	de filtraciones	en filtraciones	
---	---	------------------------------------	--------------------	--------------------	--

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación en el proyecto descrito "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" es de naturaleza aplicada y se enmarca dentro de la investigación descriptiva y explicativa.

La investigación es de naturaleza aplicada porque busca generar conocimientos prácticos y soluciones concretas para abordar un problema específico en el contexto de la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón. El objetivo principal es aplicar los conocimientos y las técnicas existentes para desarrollar estrategias efectivas de diseño y gestión de estructuras drenantes que minimicen el impacto de las filtraciones subterráneas.

Además, la investigación es descriptiva, ya que busca analizar y caracterizar las características geológicas y geotécnicas del área de construcción, identificar las fuentes de agua subterránea, evaluar las técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas, y diseñar estructuras drenantes. El objetivo es describir y comprender en detalle las condiciones y factores relacionados con las filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera.



También se considera una investigación explicativa, ya que busca no solo describir las características y factores asociados con las filtraciones subterráneas, sino también explicar las causas subyacentes y los mecanismos que las generan. El objetivo es comprender la relación de causa-efecto entre las variables independientes (características geológicas, fuentes de agua subterránea, técnicas geo-hídricas, estructuras drenantes) y la variable dependiente (filtraciones subterráneas).

### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación en el proyecto descrito "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" se sitúa en el nivel de investigación aplicada.

La investigación aplicada se caracteriza por tener un enfoque práctico y orientado a la solución de problemas concretos en un contexto específico. En este proyecto, el objetivo es abordar el problema de las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón y desarrollar estrategias efectivas de diseño y gestión de estructuras drenantes para minimizar su impacto.

El nivel de investigación aplicada implica la utilización de conocimientos y técnicas existentes en el campo de estudio para resolver problemas prácticos y generar resultados que puedan ser aplicados en situaciones reales. En este caso, se utilizarán los conocimientos y las metodologías relacionadas con la hidrología, la geología, la geotecnia y la ingeniería de carreteras para identificar las causas de las filtraciones subterráneas y proponer soluciones drenantes adecuadas.

La investigación aplicada se diferencia de otros niveles de investigación, como la investigación básica o la investigación exploratoria, en su objetivo y enfoque. Mientras que la investigación básica se centra en la generación de

conocimientos teóricos y la investigación exploratoria se enfoca en la exploración de nuevos temas o áreas de estudio, la investigación aplicada busca aplicar los conocimientos existentes para resolver problemas prácticos y mejorar las prácticas y tecnologías existentes.

### **3.3. Método de investigación**

El método de investigación utilizado en el proyecto descrito "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" se basa en una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos.

El enfoque cualitativo se utiliza para obtener una comprensión detallada y profunda de las características geológicas y geotécnicas del área de construcción, así como para explorar las fuentes de agua subterránea y las técnicas geo-hídricas más adecuadas. Esto implica la recopilación de datos descriptivos y observacionales, la realización de entrevistas con expertos en el tema y la revisión de la literatura científica y técnica existente.

Por otro lado, el enfoque cuantitativo se utiliza para recopilar y analizar datos numéricos relacionados con las variables e indicadores relevantes en el estudio. Esto puede incluir mediciones de permeabilidad del suelo, niveles de agua subterránea, parámetros geotécnicos y datos hidrológicos. Los métodos cuantitativos permiten la obtención de datos cuantificables y la aplicación de técnicas estadísticas para analizar y evaluar la magnitud y la relación entre las variables.

Además, se puede emplear el método experimental en algunas etapas del proyecto, donde se pueden realizar pruebas y ensayos en laboratorio para evaluar el comportamiento de los materiales y las estructuras drenantes propuestas. Estos experimentos pueden ayudar a validar y refinar las soluciones diseñadas.

### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación en el proyecto "identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo-hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023" se basa en un enfoque mixto que combina elementos del diseño de investigación descriptivo, correlacional y experimental.

En primer lugar, se utiliza un diseño descriptivo para analizar las características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón. Esto implica recopilar datos y describir en detalle las propiedades del suelo y las rocas, como la permeabilidad, la porosidad y la estratificación. También se realiza una caracterización hidrológica y geotécnica para comprender las condiciones subterráneas y su relación con las filtraciones subterráneas.

Además, se emplea un diseño correlacional para establecer las relaciones entre las variables independientes (características geológicas y geotécnicas, fuentes de agua subterránea, técnicas y metodologías geo-hídricas, estructuras drenantes) y la variable dependiente (filtraciones subterráneas). Esto implica analizar la influencia de estas variables en la ocurrencia y magnitud de las filtraciones subterráneas.

En ciertas etapas del proyecto, se puede implementar un diseño experimental para probar y validar las soluciones drenantes propuestas. Esto puede involucrar la realización de pruebas y ensayos en laboratorio o en el campo para evaluar la efectividad de las estructuras drenantes en el control de las filtraciones subterráneas. Los datos obtenidos de estos experimentos pueden utilizarse para tomar decisiones informadas sobre el diseño y la implementación de las soluciones.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

En este caso, la población esta compuesta por el área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón, que abarca la extensión geográfica específica donde se llevará a cabo la construcción. Esta población puede incluir diferentes tipos de suelos, rocas, fuentes de agua subterránea y condiciones hidrogeológicas que pueden influir en las filtraciones subterráneas.

#### **3.5.2. Muestra**

Debido a que la investigación puede requerir un esfuerzo y recursos considerables para cubrir toda la población, es común utilizar una muestra representativa. La muestra es una selección de una parte de la población que se considera representativa y puede proporcionar información relevante y válida para el estudio.

La determinación del tamaño de la muestra dependerá de varios factores, como los recursos disponibles, la metodología de investigación y los objetivos del estudio. Se pueden utilizar técnicas de muestreo adecuadas para seleccionar una muestra representativa de sitios de construcción, suelos y fuentes de agua subterránea en el área de la carretera Ninacaca - Huachón.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Observación y mapeo geológico: Esta técnica implica realizar observaciones directas del terreno y registrar características geológicas relevantes, como la litología, la estratificación, la presencia de fracturas y la permeabilidad. Se pueden utilizar herramientas como brújulas, GPS y cámaras fotográficas para documentar las observaciones.
- Perforación y muestreo de suelos: Se pueden utilizar técnicas de perforación y extracción de muestras de suelo para obtener información detallada sobre las propiedades geotécnicas y la composición del suelo en

diferentes profundidades. Las herramientas como sondas de percusión, barrenas y cucharas de muestreo son comunes en esta técnica.

- Medición de niveles de agua subterránea: Se pueden utilizar piezómetros y registradores de nivel de agua para medir y monitorear los niveles de agua subterránea en diferentes puntos del área de construcción. Esto proporciona información sobre el comportamiento hidrogeológico y las fuentes de agua subterránea.
- Análisis de laboratorio: Para obtener datos cuantitativos sobre las propiedades geotécnicas y la permeabilidad del suelo, se pueden realizar análisis de laboratorio en las muestras de suelo recogidas. Esto puede incluir pruebas de permeabilidad, clasificación de suelos, ensayos triaxiales, entre otros.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- Análisis estadístico descriptivo: esto implica calcular medidas estadísticas como promedios, medianas, desviaciones estándar y rangos para resumir y describir los datos recopilados. Esta técnica proporciona una comprensión básica de las características de los datos y su distribución.
- Análisis de correlación: Se puede utilizar el análisis de correlación para determinar la relación entre las variables independientes y la variable dependiente. Esto permite identificar posibles asociaciones y tendencias entre las variables y evaluar su fuerza y dirección.
- Análisis geoestadístico: El análisis geoestadístico se aplica cuando los datos tienen una componente espacial. Puede ayudar a identificar patrones espaciales, interpolar valores en ubicaciones no muestreadas y realizar análisis de incertidumbre espacial.
- Modelado hidrogeológico: Se pueden utilizar modelos hidrogeológicos para simular y predecir el comportamiento del agua subterránea en el área de construcción. Estos modelos pueden incluir la representación de la geometría

del acuífero, las propiedades hidráulicas del subsuelo y los flujos de agua subterránea.

- Análisis de costos y beneficios: En relación con el diseño y la implementación de estructuras drenantes, se pueden realizar análisis de costos y beneficios para evaluar la viabilidad económica y comparar diferentes opciones de gestión de filtraciones subterráneas.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

- Estadística descriptiva: se utilizan medidas estadísticas como promedios, medianas, desviaciones estándar, rangos y percentiles para describir y resumir las características de los datos recopilados. Estos análisis proporcionan una comprensión básica de la distribución y la variabilidad de los datos.
- Pruebas de hipótesis: Se aplican pruebas estadísticas para evaluar la significancia de las relaciones entre variables o para comparar grupos de datos. Estas pruebas pueden incluir pruebas t de Student, pruebas de ANOVA (análisis
- Modelado estadístico: Se pueden desarrollar modelos estadísticos, como modelos de regresión múltiple o modelos de series temporales, para analizar y predecir el comportamiento de las filtraciones subterráneas en función de las variables independientes.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

Como investigadores, consideramos que la orientación ética es esencial en nuestro proyecto de investigación. Ambos estamos comprometidos a seguir principios éticos sólidos que nos guíen en todas las fases del estudio. Estos principios éticos nos ayudan a mantener la integridad, la confidencialidad y el respeto hacia los participantes, así como a asegurar la validez y la fiabilidad de los datos recopilados.

En primer lugar, nos comprometemos a obtener el consentimiento informado y voluntario de los participantes. Nos aseguramos de proporcionarles información clara y comprensible sobre los objetivos de la investigación, los procedimientos involucrados, los posibles riesgos y beneficios, así como su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias negativas. Respetamos su autonomía y garantizamos la confidencialidad de sus datos personales, utilizando medidas de seguridad apropiadas.

La honestidad y la transparencia son principios fundamentales para nosotros. Nos comprometemos a realizar el trabajo de investigación de manera precisa y objetiva, evitando cualquier forma de manipulación o sesgo en la recolección y el análisis de datos. Reconocemos y citamos adecuadamente las fuentes utilizadas, evitando el plagio y dando crédito a los trabajos previos que han influido en nuestra investigación.

Además, tenemos en cuenta la diversidad y la equidad en nuestro enfoque. Nos aseguramos de tratar a todos los participantes con justicia y respeto, independientemente de su género, origen étnico, orientación sexual u otras características personales. Buscamos minimizar cualquier daño potencial y nos esforzamos por crear un ambiente seguro y confiable para todos los involucrados en el estudio.

Como investigadores, asumimos la responsabilidad de cumplir con los códigos de conducta profesional y las directrices éticas establecidas por las instituciones y los organismos relevantes. Nos aseguramos de obtener la aprobación ética necesaria cuando corresponda y de cumplir con los estándares éticos durante todas las etapas de la investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

La sección "4.1 Descripción del Trabajo de Campo" es un componente esencial en el proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023". Esta fase del proyecto involucra una serie de actividades detalladas y minuciosas que se llevan a cabo en el terreno con el objetivo de recopilar datos geológicos y geotécnicos que servirán como base fundamental para el diseño y la implementación de soluciones efectivas de gestión de filtraciones subterráneas. A continuación, se presenta una descripción exhaustiva de esta sección y de su subsección "4.1.1 Recopilación de Datos Geológicos y Geotécnicos".

La fase de trabajo de campo en el proyecto de investigación se erige como uno de los pilares fundamentales en la consecución de los objetivos de estudio. Esta etapa es vital, ya que es en el terreno donde se obtienen los datos empíricos y observaciones directas que permiten comprender en profundidad las condiciones geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachon. El trabajo de campo no solo proporciona datos críticos, sino que también permite validar y contextualizar la información



recopilada previamente a través de investigaciones bibliográficas y análisis teóricos.

#### **4.1.1 Recopilación de Datos Geológicos y Geotécnicos**

La recopilación de datos geológicos y geotécnicos es una parte esencial del trabajo de campo y se enfoca en la obtención de información detallada sobre las características del suelo, la geología local y otros aspectos geotécnicos relevantes que influirán en la construcción y la gestión de filtraciones subterráneas. Este proceso se lleva a cabo de manera sistemática y rigurosa, siguiendo un protocolo establecido para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos recopilados.

Las actividades incluidas en esta fase comprenden:

- 1. Muestreo de Suelo:** Se realizan perforaciones y extracciones de muestras de suelo en múltiples puntos estratégicos a lo largo del área de construcción. Estas muestras se recolectan en función de la profundidad y las características geológicas previstas. Se registran datos detallados sobre la textura del suelo, la composición mineral, la permeabilidad y otros parámetros relevantes.
- 2. Análisis Geológico:** Se lleva a cabo un análisis detallado de la geología local, identificando las formaciones geológicas presentes, la estratigrafía, las capas de roca y otros rasgos geológicos que puedan influir en la hidrogeología y la infiltración de agua.
- 3. Evaluación de Condiciones Geotécnicas:** Se evalúan las condiciones geotécnicas del área, considerando aspectos como la capacidad de carga del suelo, la compresibilidad, la expansión, la consolidación y la resistencia a la compresión. Estos datos son cruciales para determinar la estabilidad de la carretera y su capacidad para soportar cargas de tráfico.
- 4. Medición de Parámetros Hidrogeológicos:** Se realizan mediciones de parámetros hidrogeológicos, como el nivel freático, la conductividad

hidráulica y la dirección del flujo subterráneo. Estos datos son esenciales para comprender cómo se comporta el agua subterránea en el área de construcción y su relación con las filtraciones.

5. **Uso de Equipos Especializados:** Se emplean equipos especializados para recopilar datos precisos y representativos.
6. **Registro y Documentación Rigurosa:** Cada dato recopilado se registra y documenta de manera rigurosa, asegurando que la información sea completa y esté disponible para análisis posterior. Los registros incluyen coordenadas geoespaciales, fechas y descripciones detalladas de las muestras y observaciones.
7. **Coordinación con Expertos:** En algunos casos, se coordina con geólogos, geotécnicos y otros expertos para interpretar los datos recopilados y obtener una comprensión más profunda de las condiciones del terreno.

#### **Importancia de la Recopilación de Datos Geológicos y Geotécnicos:**

La recopilación de datos geológicos y geotécnicos es crítica en este proyecto de investigación, ya que proporciona la base para la toma de decisiones informadas en cuanto al diseño de estructuras drenantes y la gestión de filtraciones subterráneas. Los datos obtenidos en el trabajo de campo permiten identificar con precisión los factores que contribuyen a las filtraciones subterráneas, evaluar la estabilidad del terreno y seleccionar las soluciones más adecuadas. Además, estos datos sirven como referencia crucial para futuras etapas de diseño y construcción de la carretera.

#### **4.1.2 Investigación de Fuentes de Agua Subterránea**

La investigación de fuentes de agua subterránea constituye una parte esencial de la fase de trabajo de campo en el proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023". Esta etapa del proyecto se enfoca en identificar y

comprender las fuentes de agua subterránea presentes en el área de construcción, evaluando su comportamiento hidrogeológico y su influencia en el problema de las filtraciones subterráneas. A continuación, se presenta una descripción detallada de esta subsección.

#### **Importancia de la Investigación de Fuentes de Agua Subterránea:**

La investigación de las fuentes de agua subterránea es crucial para comprender cómo el agua se mueve y se comporta en el subsuelo del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachon. Esta comprensión es esencial para abordar de manera efectiva las filtraciones subterráneas, ya que las fuentes de agua subterránea pueden ser una de las principales causas de estos problemas. Además, al evaluar el comportamiento hidrogeológico de estas fuentes, se pueden tomar medidas específicas para gestionarlas de manera adecuada y minimizar su impacto en la carretera.

#### **Actividades Incluidas en la Investigación de Fuentes de Agua Subterránea:**

1. **Localización de Pozos y Manantiales:** Se lleva a cabo una búsqueda y localización de pozos y manantiales cercanos al área de construcción. Se registran las coordenadas geoespaciales y se identifican las propiedades propietarias para obtener acceso a estos puntos de agua.
2. **Muestreo de Agua Subterránea:** Se realizan muestreos de agua subterránea en los pozos identificados. Estos muestreos incluyen la toma de muestras de agua para su análisis posterior en laboratorio, evaluando la calidad del agua y su composición química.
3. **Medición del Nivel Freático:** Se realizan mediciones periódicas del nivel freático en los pozos y manantiales, lo que proporciona información sobre la fluctuación estacional del agua subterránea y su relación con las condiciones climáticas.

4. **Análisis de la Dirección del Flujo Subterráneo:** Se utiliza la información recopilada para comprender la dirección del flujo subterráneo y cómo las fuentes de agua subterránea pueden estar contribuyendo a las filtraciones.
5. **Evaluación de la Recarga de Acuíferos:** Se investiga el proceso de recarga de acuíferos en el área, lo que implica el estudio de las fuentes de recarga, como la infiltración de agua de lluvia y la interacción con cuerpos de agua superficiales.
6. **Caracterización Hidrogeológica:** Se caracteriza la geología y las propiedades hidrogeológicas del subsuelo en el área de influencia de las fuentes de agua subterránea.

**Registro y Documentación Rigurosa:** Cada dato recopilado durante la investigación de fuentes de agua subterránea se registra y documenta de manera precisa. Los registros incluyen detalles sobre la ubicación de los puntos de muestreo, resultados de análisis de agua y mediciones de nivel freático.

**Coordinación con Expertos:** En algunos casos, se puede requerir la colaboración de hidrogeólogos y expertos en recursos hídricos para interpretar los datos recopilados y comprender mejor el comportamiento de las fuentes de agua subterránea.

#### **Impacto en la Gestión de Filtraciones Subterráneas:**

La información obtenida a través de la investigación de fuentes de agua subterránea proporciona una base sólida para la gestión de filtraciones subterráneas. Permite determinar si las fuentes de agua subterránea son una causa significativa de las filtraciones y cómo pueden ser controladas o desviadas. Además, contribuye a la toma de decisiones informadas en el diseño de estructuras drenantes.

#### **4.1.3 Metodologías Geo-Hídricas Aplicadas**

En el contexto del proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de

filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023", la sección dedicada a las "Metodologías Geo-Hídricas Aplicadas" se erige como un componente crítico. Esta subsección describe las metodologías y técnicas utilizadas en el trabajo de campo para investigar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas, así como para comprender el comportamiento del agua en el subsuelo. A continuación, se presenta una descripción detallada de esta fase del trabajo de campo.

#### **Importancia de las Metodologías Geo-Hídricas Aplicadas:**

Las metodologías geo-hídricas son esenciales para el éxito del proyecto, ya que permiten obtener información específica y relevante sobre el comportamiento del agua subterránea y su interacción con el subsuelo. Estas metodologías proporcionan los datos necesarios para identificar y comprender las causas de las filtraciones subterráneas, lo que a su vez guiará el diseño de las estructuras drenantes.

#### **Actividades Incluidas en las Metodologías Geo-Hídricas Aplicadas:**

1. **Extracción de Muestras:** Se realizan perforaciones en diferentes puntos del área de construcción para obtener muestras representativas del subsuelo. Estas perforaciones se realizan a diferentes profundidades para evaluar las condiciones geológicas en diferentes estratos.
2. **Análisis de Permeabilidad:** Se llevan a cabo pruebas de permeabilidad en las muestras de suelo para determinar la capacidad de estos materiales para permitir o resistir el flujo de agua. Esto es crucial para comprender cómo se produce la infiltración y las filtraciones subterráneas.
3. **Estudios Geofísicos:** Se utilizan técnicas geofísicas, como el georradar y la tomografía eléctrica, para obtener imágenes del subsuelo y detectar posibles zonas de acumulación de agua.
4. **Monitoreo de Niveles Freáticos:** Se instalan piezómetros para medir los niveles freáticos y seguir su variación a lo largo del tiempo. Esto proporciona

información sobre la relación entre las fluctuaciones en el nivel freático y las filtraciones subterráneas.

5. **Análisis de Calidad del Agua:** Se realizan análisis químicos y bacteriológicos del agua subterránea para evaluar su calidad y determinar si la infiltración de agua está afectando negativamente la calidad del agua.

**Registro y Documentación Rigurosa:** Todos los datos recopilados a través de las metodologías geo-hídricas se registran y documentan detalladamente. Esto incluye los resultados de pruebas, mediciones y análisis.

**Coordinación con Expertos:** En algunos casos, se puede requerir la colaboración de hidrogeólogos, geofísicos y otros expertos para interpretar los datos obtenidos y proporcionar una comprensión más profunda de las condiciones subterráneas.

#### **Impacto en la Identificación de Causas de Filtraciones y Diseño de Estructuras Drenantes:**

Las metodologías geo-hídricas aplicadas permiten identificar con precisión las causas de las filtraciones subterráneas al proporcionar datos sobre la hidrogeología y las propiedades del suelo. Estos datos son fundamentales para el diseño de estructuras drenantes eficaces y para la toma de decisiones informadas sobre la gestión de las filtraciones.

##### **4.1.4 Diseño y Evaluación de Estructuras Drenantes**

En el contexto del proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023", la sección dedicada al "Diseño y Evaluación de Estructuras Drenantes" es de vital importancia. Esta etapa del trabajo de campo se centra en el diseño de estructuras destinadas a gestionar las filtraciones subterráneas identificadas

durante el estudio geo hídrico. Aquí, se proporciona una descripción exhaustiva de esta fase del proyecto.

### **Importancia del Diseño y Evaluación de Estructuras Drenantes:**

El diseño y la evaluación de estructuras drenantes son fundamentales para controlar y gestionar las filtraciones subterráneas de manera eficaz. Estas estructuras se diseñan específicamente para redirigir o eliminar el agua subterránea no deseada y minimizar su impacto en la carretera en construcción.

### **Actividades Incluidas en el Diseño y Evaluación de Estructuras Drenantes:**

1. **Selección de Estructuras Drenantes:** En función de los datos recopilados durante el estudio geo hídrico y las metodologías aplicadas, se seleccionan las estructuras drenantes más adecuadas. Estas pueden incluir drenajes subterráneos, zanjas de filtración, pozos de bombeo, entre otros.
2. **Dimensionamiento de Estructuras:** Se determinan las dimensiones precisas de las estructuras drenantes, considerando factores como la capacidad de drenaje requerida, la tasa de infiltración del suelo y las condiciones hidrogeológicas.
3. **Evaluación de Rendimiento:** Se evalúa el rendimiento esperado de las estructuras drenantes a través de modelos hidrogeológicos y simulaciones. Esto permite predecir cómo estas estructuras afectarán el flujo de agua subterránea y las filtraciones.
4. **Análisis de Costos:** Se realizan estimaciones de costos asociados con la construcción, operación y mantenimiento de las estructuras drenantes propuestas.
5. **Planificación de Implementación:** Se establece un plan detallado para la implementación de las estructuras drenantes, incluyendo la secuencia de construcción, los materiales necesarios y el cronograma.

**Registro y Documentación Rigurosa:** Todos los datos relacionados con el diseño y la evaluación de estructuras drenantes se registran y documentan

meticulosamente. Esto incluye planos, cálculos de dimensionamiento, resultados de simulaciones y estimaciones de costos.

**Coordinación con Ingenieros y Especialistas:** Se puede requerir la colaboración de ingenieros civiles y especialistas en infraestructura para garantizar que el diseño de las estructuras drenantes cumpla con los estándares de ingeniería y las normativas aplicables.

**Impacto en la Gestión de Filtraciones Subterráneas:**

El diseño y la evaluación de estructuras drenantes son esenciales para la gestión efectiva de las filtraciones subterráneas. Estas estructuras se convierten en una parte integral de la estrategia de control de filtraciones y contribuyen significativamente a la calidad y seguridad de la construcción de la carretera.

**4.1.5 Registro y Análisis de Datos de Campo**

En el marco del proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023", la sección "Registro y Análisis de Datos de Campo" representa una fase crítica. En esta etapa, se recopilan y analizan minuciosamente todos los datos obtenidos durante el trabajo de campo, lo que proporciona la base necesaria para la toma de decisiones informadas en la gestión de filtraciones subterráneas. A continuación, se presenta una descripción detallada de esta fase del proyecto.

**Importancia del Registro y Análisis de Datos de Campo:**

El registro y análisis de datos de campo son esenciales para el éxito del proyecto, ya que permiten transformar información cruda en conocimiento utilizable. Los datos recopilados durante el trabajo de campo incluyen una variedad de mediciones, pruebas y observaciones, y su análisis proporciona una



comprensión profunda de las condiciones geológicas, hidrogeológicas y ambientales del área de construcción.

**Actividades Incluidas en el Registro y Análisis de Datos de Campo:**

1. **Compilación de Datos:** Se recopilan todos los datos recolectados durante las fases anteriores del trabajo de campo, que incluyen datos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, de calidad del agua y otros relacionados con las filtraciones subterráneas.
2. **Verificación de Datos:** Se realiza una verificación minuciosa de la precisión y coherencia de los datos recopilados, identificando posibles errores o discrepancias.
3. **Organización de Datos:** Los datos se organizan en bases de datos o sistemas de gestión de datos para facilitar su acceso y análisis.
4. **Análisis Estadístico:** Se aplican técnicas estadísticas para identificar patrones, tendencias y relaciones en los datos. Esto puede incluir análisis de tendencias temporales, correlaciones y distribuciones.
5. **Generación de Informes:** Se elaboran informes técnicos que resumen los resultados del análisis de datos de campo. Estos informes proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y la planificación de acciones futuras.

**Registro y Documentación Rigurosa:** Es fundamental llevar un registro riguroso de todos los pasos involucrados en el análisis de datos, incluyendo los métodos utilizados, las fuentes de datos y las conclusiones obtenidas.

**Coordinación con Expertos:** En ocasiones, se puede requerir la colaboración de expertos en análisis de datos, estadísticos o modelado numérico para garantizar la precisión y relevancia de los resultados.

### **Impacto en la Gestión de Filtraciones Subterráneas:**

El registro y análisis de datos de campo proporcionan la base para comprender las causas de las filtraciones subterráneas y diseñar estrategias efectivas para su control y gestión. Los resultados de este análisis informan directamente la toma de decisiones en la implementación de estructuras drenantes y otras medidas correctivas.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

Dentro del desarrollo del proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023", la sección titulada "Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados" desempeña un papel crucial. En esta fase, se procede a analizar y dar significado a los datos recopilados en las etapas anteriores del trabajo de campo. Aquí, se presentan los trabajos correspondientes para abordar los cuatro objetivos específicos de la investigación:

#### 4.2.1. Características Geológicas y Geotécnicas del Área de Construcción

**Tabla 2: Características Geológicas y Geotécnicas en la construcción de la carretera Ninacaca – Huachon (Fuente: Propio)**

<b>Característica Geológica/Geotécnica</b>	<b>Resultados</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Tipo de Suelo</b>	Suelo arcilloso con estratos de roca sedimentaria.	La presencia de suelo arcilloso indica una baja permeabilidad, lo que podría contribuir a la acumulación de agua subterránea y, por lo tanto, a las filtraciones subterráneas. Los estratos de roca sedimentaria pueden influir en la dirección del flujo de agua subterránea.
<b>Nivel Freático</b>	2 metros por debajo de la superficie del suelo.	El nivel freático relativamente alto sugiere que el agua subterránea está cerca de la superficie, lo que aumenta el riesgo de filtraciones subterráneas durante la construcción.
<b>Resistencia del Suelo</b>	Resistencia a la compresión de 12 MPa.	La resistencia del suelo es adecuada para la construcción, pero debe tenerse en cuenta al diseñar estructuras drenantes para garantizar que no se vea comprometida por las filtraciones.
<b>Composición Mineral del Suelo</b>	Predominio de minerales arcillosos.	La presencia de minerales arcillosos contribuye a la baja permeabilidad del suelo y puede influir en la gestión de las filtraciones subterráneas.
<b>Pendiente del Terreno</b>	Promedio de 3%.	La pendiente del terreno podría afectar la dirección del flujo de agua subterránea y la distribución de las filtraciones.

El análisis técnico de la Tabla 2, que describe las características geológicas y geotécnicas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon,

proporciona información valiosa para comprender las condiciones del sitio y su relevancia en el contexto de las filtraciones subterráneas. A continuación, se analizan los resultados e interpretaciones de cada característica:

1. **Tipo de Suelo:** La presencia de suelo arcilloso con estratos de roca sedimentaria es una observación significativa. El suelo arcilloso tiene baja permeabilidad, lo que significa que retiene el agua con facilidad. Esto puede contribuir a la acumulación de agua subterránea en la zona y, por lo tanto, aumentar el riesgo de filtraciones subterráneas. Además, los estratos de roca sedimentaria pueden influir en la dirección del flujo de agua subterránea, lo que debe considerarse al diseñar soluciones de drenaje.
2. **Nivel Freático:** El nivel freático se encuentra a solo 2 metros por debajo de la superficie del suelo. Esta es una señal importante, ya que indica que el agua subterránea está bastante cerca de la superficie. Un nivel freático elevado aumenta significativamente el riesgo de filtraciones subterráneas durante la construcción, ya que cualquier perturbación en el suelo puede provocar la intrusión de agua subterránea en la zona de trabajo.
3. **Resistencia del Suelo:** La resistencia a la compresión del suelo es de 12 MPa, lo que indica que el suelo tiene una resistencia adecuada para la construcción. Sin embargo, es crucial tener en cuenta esta resistencia al diseñar estructuras drenantes. Las filtraciones subterráneas pueden erosionar el suelo con el tiempo, por lo que es esencial asegurar que las estructuras drenantes sean lo suficientemente robustas para resistir cualquier efecto negativo.
4. **Composición Mineral del Suelo:** La predominancia de minerales arcillosos es otro factor relevante. Los minerales arcillosos contribuyen a la baja permeabilidad del suelo, lo que refuerza la capacidad del suelo para retener agua. Esto tiene implicaciones directas en la gestión de filtraciones

subterráneas, ya que los suelos arcillosos tienden a retener agua durante más tiempo.

5. **Pendiente del Terreno:** La pendiente promedio del terreno es del 3%. La pendiente del terreno puede influir en la dirección del flujo de agua subterránea y en la distribución de las filtraciones. Es importante considerar esta pendiente al diseñar sistemas de drenaje para garantizar una gestión eficiente de las aguas subterráneas y prevenir filtraciones no deseadas.

En resumen, el análisis de estas características geológicas y geotécnicas destaca la importancia de comprender la complejidad del sitio de construcción y su relación con las filtraciones subterráneas. Estos resultados son esenciales para el diseño de soluciones efectivas de gestión de filtraciones y la preservación de la integridad de la carretera a lo largo del tiempo.

**Ilustración 1** – Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+150 – 23+280 (Fuente: CVNH)



Se llevaron a cabo procedimientos de auscultación y mediciones geotécnicas siguiendo las pautas establecidas en la partida 01.04.01.02, que corresponde a la Excavación no Clasificada para Estructuras, como se detalla en las especificaciones técnicas del Estudio Definitivo para el Mejoramiento de la Carretera Ninacca - Huachón, ubicada en la Provincia y Región de Pasco.

De acuerdo con la documentación técnica del proyecto, bajo la sección 01.04.06.04, se identifican los subdrenes como sistemas diseñados para captar el agua subterránea que ha penetrado en la estructura del suelo y que necesita ser evacuada para prevenir daños en las estructuras ubicadas a niveles freáticos.

Dado el contexto geográfico y geológico complejo de la región de estudio, esta investigación reconoce ciertas limitaciones en cuanto a la precisión de las mediciones geométricas y geomecánicas. No obstante, las conclusiones se basan en observaciones detalladas durante múltiples visitas de campo y en la ejecución de sondajes convencionales conforme al alcance del proyecto.

**Ilustración 2** – Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+150 – 23+280 (Fuente: CVNH)



El objetivo principal de esta investigación es registrar variables e indicadores relevantes en el ámbito geo-hídrico, utilizando mediciones realizadas tanto en el terreno como en el laboratorio, para respaldar la necesidad de implementar sistemas de subdrenaje en la zona de estudio.

La descripción detallada de los hallazgos y la ubicación de los suelos investigados es el resultado de una exhaustiva investigación de campo, complementada con pruebas de laboratorio. A continuación, se presenta una descripción de los sectores evaluados en el tramo de la carretera: Km 23+150 al Km 23+370 (Lado Izquierdo) y Km. 23+380 al 23+464.80 (Lado Izquierdo).

En relación a la información recopilada durante las actividades de campo, se llevaron a cabo excavaciones denominadas calicatas en el lado izquierdo de la plataforma vial, adyacentes al talud. Estas excavaciones permitieron identificar áreas con problemas relacionados a filtraciones subterráneas. En estas zonas se observó suelo en un estado de saturación elevado, con un contenido de humedad significativo. Los resultados específicos de estas observaciones se detallan en los siguientes cuadros: SECTOR 01 y SECTOR 02.

Esta información es fundamental para comprender la geología y la hidrogeología del área de construcción, lo que a su vez respalda el desarrollo de estrategias efectivas de gestión de filtraciones subterráneas y la toma de decisiones informadas en el diseño de estructuras drenantes y medidas preventivas.

*Tabla 3. Datos de Evaluación Geo hídrica Sectores específicos (Fuente: Propio)*

EVALUACION GEO HIDRICA SECTORES Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.), y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.).										
SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Límites de Consistencia				Humedad Natural	
					L.L.	L.P.	I.P.	IP PROMEDIO	Humedad Natural	Humedad Promedio
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado izquierdo	km. 23+220	32	18	14	13%	28.1	27.80%
				km. 23+310	31	19	12		27.6	
SECTOR 02	km. 23+380.00	km. 23+464.80	Lado izquierdo	km. 23+400	30	20	10	10%	20.7	20.20%
				km. 23+420	29	18	11		19.6	
				km. 23+450	29	19	10		20.3	



Ilustración 3: Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+380 – 23+464 (Fuente: CVNH)



Ilustración 4 Evaluación Geo hídrica Progresiva 23+380 – 23+464 (Fuente: CVNH)



De acuerdo con los hallazgos de la investigación, se han identificado características específicas en los sectores evaluados de la carretera. En el tramo que abarca desde el Km 23+150 al Km 23+370 (Lado Izquierdo), se ha observado la presencia de suelos orgánicos con una tonalidad marrón, los cuales se encuentran en estado de saturación. Por otro lado, en el sector que se extiende desde el Km. 23+380 al 23+464.80 (Lado Izquierdo), se ha identificado la existencia de arcillas altamente plásticas de color naranja, las cuales presentan un alto grado de saturación. En ambos casos, se ha constatado la presencia de flujos subterráneos que discurren por debajo de la subrasante de la carretera.

Además, se ha detectado la ocurrencia de filtraciones superficiales y subterráneas procedentes de los taludes adyacentes, las cuales se desplazan por niveles inferiores a la subrasante. Estas filtraciones han generado un aumento en la saturación en el borde exterior de la calzada.

Los datos recabados durante la investigación constituyen variables cruciales para la toma de decisiones en el proceso de diseño e implementación de estructuras drenantes. Estas decisiones se basan en criterios establecidos por expertos en las disciplinas de Drenaje e Hidrología, así como por especialistas en Obras de Arte. En virtud de los estudios realizados en los SECTORES 01 y 02, se recomienda encarecidamente la consideración de estructuras tipo subdren, las cuales permitirán la captación y evacuación de los flujos subterráneos hacia zonas alejadas de la vía, contribuyendo así a la gestión efectiva de las filtraciones subterráneas y al mantenimiento de la integridad de la carretera.

Se evidencia saturación en ambos sectores, SECTOR 01: 27.80% Y SECTOR 02: 20.20%.

**Tabla 4: Evidencia de Saturación (Fuente: Propio)**

SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Humedad Natural	
					Humedad Natural	Humedad Promedio
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado Izquierdo	km. 23+220	28.1	27.80%
				km. 23+310	27.6	
SECTOR 02	km. 23+380.00	km. 23+464.80	Lado Izquierdo	km. 23+400	20.7	20.20%
				km. 23+420	19.6	
				km. 23+450	20.3	

Se evidencia suelos altamente plásticos en ambos sectores, SECTOR 01: 13.00% Y SECTOR 02: 10.00%.

**Tabla 5: Evidencia de Saturación (Fuente: Propio)**

EVALUACION GEO HIDRICA SECTORES Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.), y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.).								
SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Limites de Consistencia			
					L.L.	L.P.	I.P.	IP PROMEDIO
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado Izquierdo	km. 23+220	32	18	14	13%
				km. 23+310	31	19	12	
SECTOR 02	km. 23+380.00	km. 23+464.80	Lado Izquierdo	km. 23+400	30	20	10	10%
				km. 23+420	29	18	11	
				km. 23+450	29	19	10	

La naturaleza de los suelos altamente saturados y plásticos presentes en ambos sectores revela la existencia de flujos subterráneos que se encuentran atrapados en intersticios de dimensiones reducidas. Estos flujos subterráneos requieren la liberación de la presión de poros a través de la implementación de estructuras filtrantes adecuadas.

En base a los resultados y conclusiones obtenidos en el presente proyecto de investigación, que evalúa las condiciones del material en el talud adyacente a la vía en construcción, se respalda la inclusión de sistemas de subdrenaje como medida necesaria.

#### 4.2.2. Identificación de Fuentes de Agua Subterránea

**Tabla 6:** Resultados de Identificación de Fuentes de Agua Subterránea en el Sector Km 23+150 al Km 23+370 (Lado Izquierdo) (Fuente: Propio)

Profundidad (metros)	Tipo de Suelo	Nivel Freático (metros)	Composición Mineral	Observaciones
1.5	Suelo orgánico	1	Predominio de arcilla	Suelo saturado
2	Suelo arcilloso	1.2	Minerales arcillosos	Presencia de humedad
2.5	Suelo arenoso	1.5	Arena y arcilla	Nivel freático cercano

**Tabla 7:** Resultados de Identificación de Fuentes de Agua Subterránea en el Sector Km. 23+380 al 23+464.80 (Lado Izquierdo) (Fuente: Propio)

Profundidad (metros)	Tipo de Suelo	Nivel Freático (metros)	Composición Mineral	Observaciones
1.8	Arcilla plástica	1.2	Arcilla y limo	Suelo saturado
2.2	Arcilla arenosa	1.5	Arcilla y arena	Presencia de humedad
2.6	Suelo arcilloso	1.8	Minerales arcillosos	Nivel freático cercano

Los resultados de la identificación de fuentes de agua subterránea en los sectores evaluados (Km 23+150 al Km 23+370 y Km. 23+380 al 23+464.80, Lado Izquierdo) proporcionan información valiosa sobre las condiciones del suelo y el nivel freático en estas áreas. A continuación, se presenta un análisis e interpretación de estos resultados:

**Tabla 6: Sector Km 23+150 al Km 23+370 (Lado Izquierdo)**

- **Profundidad (metros):** Los valores de profundidad indican que las mediciones se realizaron a diferentes profundidades en este sector. Se observa que el tipo de suelo varía con la profundidad.
- **Tipo de Suelo:** En este sector, se encontró una capa superficial de "Suelo orgánico", que es comúnmente rico en materia orgánica y tiene una baja permeabilidad. A una mayor profundidad, se identificó "Suelo arcilloso", que

es conocido por su baja permeabilidad debido a la presencia de minerales arcillosos. Finalmente, a 2.5 metros de profundidad, se encontró "Suelo arenoso", que tiene una textura más permeable pero aún contiene arcilla.

- **Nivel Freático:** Se registró que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 1 metro en la capa de suelo orgánico y a 1.2 metros en la capa de suelo arcilloso. Esto sugiere que el agua subterránea se encuentra relativamente cerca de la superficie, lo que aumenta el riesgo de filtraciones subterráneas.
- **Composición Mineral:** La composición mineral predominante en este sector es la "arcilla". Los minerales arcillosos contribuyen a la baja permeabilidad del suelo, lo que puede influir en la gestión de las filtraciones subterráneas.
- **Observaciones:** Se observa que el suelo orgánico está saturado, lo que indica un alto contenido de humedad. La presencia de humedad también se menciona en la capa de suelo arcilloso.

**Tabla 7: Sector Km. 23+380 al 23+464.80 (Lado Izquierdo)**

- **Profundidad (metros):** Al igual que en el sector anterior, se realizaron mediciones a diferentes profundidades en este sector.
- **Tipo de Suelo:** En este sector, se identificaron tres tipos de suelo. A una profundidad de 1.8 metros, se encontró "Arcilla plástica", que es altamente plástica y se caracteriza por su baja permeabilidad. A 2.2 metros, se encontró "Arcilla arenosa", que contiene una mezcla de arcilla y arena, y a 2.6 metros, se encontró "Suelo arcilloso", que nuevamente contiene minerales arcillosos.
- **Nivel Freático:** El nivel freático se encuentra a 1.2 metros de profundidad en la capa de arcilla plástica y a 1.5 metros en la capa de arcilla arenosa.

Esto indica que el agua subterránea está cerca de la superficie en este sector.

- **Composición Mineral:** La composición mineral en este sector también está dominada por minerales arcillosos, lo que influye en la baja permeabilidad del suelo.
- **Observaciones:** Se menciona que el suelo arcilloso está saturado y que hay presencia de humedad en la capa de arcilla arenosa.

**Interpretación:** Los resultados sugieren que ambos sectores presentan suelos con baja permeabilidad, como arcillas y suelos orgánicos, lo que aumenta la probabilidad de acumulación de agua subterránea y, por lo tanto, el riesgo de filtraciones subterráneas durante la construcción. El nivel freático cercano a la superficie en ambos sectores también contribuye a esta preocupación. Estos hallazgos respaldan la necesidad de considerar la implementación de estructuras de drenaje, como subdrenes, para gestionar eficazmente los flujos subterráneos y minimizar los impactos en la construcción de la carretera.

### 4.2.3. Selección de Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas

**Tabla 8:** Selección de técnicas y metodologías (Fuente: Propio)

Técnica/Metodología	Descripción	Objetivos	Ventajas
<b>Pruebas de infiltración</b>	Realización de pruebas de infiltración para medir la tasa de absorción del suelo.	- Determinar la capacidad del suelo para absorber agua.	- Proporciona datos cuantitativos sobre la permeabilidad del suelo.
			- Permite identificar áreas con baja capacidad de absorción.
<b>Monitoreo de niveles freáticos</b>	Instalación de pozos de monitoreo para medir los niveles freáticos a lo largo del tiempo.	- Identificar cambios en los niveles freáticos.	- Proporciona datos a largo plazo sobre el comportamiento hidrogeológico.
			- Ayuda a detectar posibles fuentes de agua subterránea.
<b>Perfil estratigráfico</b>	Realización de perforaciones para obtener información sobre los estratos geológicos presentes.	- Identificar estratos geológicos y niveles freáticos.	- Proporciona una visión detallada de la composición del suelo y su estructura.
			- Permite evaluar la dirección del flujo de agua subterránea.

### **Descripción de la Técnica Elegida: Perfil Estratigráfico**

La técnica de perfil estratigráfico es una herramienta esencial en la investigación geo-hídrica, especialmente en proyectos de construcción de carreteras donde la identificación y gestión de filtraciones subterráneas son de suma importancia. Esta técnica implica la realización de perforaciones en puntos estratégicos del área de estudio para obtener información detallada sobre los estratos geológicos presentes en el subsuelo.

### **Ventajas de la Técnica de Perfil Estratigráfico:**

1. **Detalle Geológico:** La técnica de perfil estratigráfico proporciona una visión profunda y detallada de la composición del suelo y su estructura geológica. Permite identificar capas de suelo, roca y otros materiales presentes en el subsuelo.
2. **Dirección del Flujo de Agua:** Esta técnica permite evaluar la dirección del flujo de agua subterránea al identificar las características de permeabilidad de los estratos geológicos. Puede revelar cómo se desplaza el agua dentro del subsuelo.
3. **Niveles Freáticos:** La técnica puede utilizarse para determinar la profundidad del nivel freático en diferentes áreas del proyecto. Esto es esencial para comprender la dinámica del agua subterránea.
4. **Planificación de Estructuras Drenantes:** Conociendo la estratigrafía del subsuelo, es posible planificar y diseñar estructuras drenantes adecuadas para gestionar las filtraciones subterráneas de manera efectiva.

### **Elección de la Técnica de Perfil Estratigráfico:**

En el contexto del proyecto de investigación "Identificación y diseño de estructuras drenantes mediante estudio geo hídrico para la gestión de filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023," se ha optado por la técnica de perfil estratigráfico debido a su capacidad



para proporcionar información detallada y esencial para la comprensión de las condiciones del subsuelo.

Dada la complejidad del relieve, la variabilidad geológica y geotécnica, y la importancia de identificar fuentes de agua subterránea y direcciones de flujo de agua, el perfil estratigráfico se considera crucial para alcanzar los objetivos del proyecto. Esta técnica permitirá una caracterización completa del subsuelo, lo que facilitará la selección y diseño de estructuras drenantes adecuadas para mitigar las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon en 2023.

#### **4.2.4. Diseño y Propuesta de Estructuras Drenantes**

Parámetros para el Diseño de Estructura Drenante con Piedras Grandes

##### **Descripción de la Estructura:**

- Tipo de Estructura: Estructura drenante con piedras grandes de 6" a 8".
- Objetivo: Controlar y gestionar las filtraciones subterráneas en el área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachon 2023.

##### **Características de las Piedras Grandes:**

Tamaño: 6" a 8" de diámetro.

Tipo de Material: [Especificar el tipo de material de las piedras, por ejemplo, basalto, granito, etc.].

Cantidad de Piedras: [Cantidad estimada de piedras grandes necesarias para la estructura].

##### **Parámetros Hidrogeológicos:**

Nivel Freático Promedio: 3m.

Dirección del Flujo de Agua Subterránea: en dirección a la pendiente

Permeabilidad del Suelo: Alta

##### **Diseño Hidráulico:**

Capacidad de Drenaje Requerida: 10m<sup>3</sup>/día

Profundidad de la Estructura: 1.1 m.

Ancho de la Estructura: 1.0 m

**Detalles de Construcción:**

**Método de Colocación:** Este elemento se refiere a la forma en que se instalarán las piedras grandes en la estructura drenante. Dependiendo de las características del sitio y la disponibilidad de recursos, las piedras grandes pueden ser colocadas de diferentes maneras.

- **Colocación Manual:** Las piedras grandes se colocan una a una por trabajadores manualmente. Esto puede ser apropiado en áreas de difícil acceso o donde se requiera precisión en la disposición de las piedras.
- **Maquinaria Pesada:** Se utiliza maquinaria como excavadoras o retroexcavadoras para colocar las piedras grandes. Este método es eficiente en términos de tiempo y esfuerzo, pero requiere equipo especializado.

**Compactación:** La compactación se refiere a la acción de comprimir el suelo o el material que rodea las piedras grandes para eliminar espacios vacíos y mejorar la eficiencia de drenaje. En algunos casos, se puede requerir compactación alrededor de las piedras para garantizar que no haya huecos entre ellas y el suelo circundante. Esto evita que el agua fluya alrededor de las piedras en lugar de a través de ellas.

**Mantenimiento y Monitoreo:**

- **Plan de Mantenimiento:** Esta parte implica describir en detalle cómo se llevará a cabo el mantenimiento periódico de la estructura drenante. Esto puede incluir inspecciones regulares, limpieza de obstrucciones, reparación de daños y cualquier otro procedimiento necesario para garantizar que la estructura funcione de manera efectiva a lo largo del tiempo.
- **Frecuencia de Inspección:** Indica con qué frecuencia se llevarán a cabo inspecciones de la estructura drenante. La frecuencia de las inspecciones

puede variar según factores como las condiciones climáticas, la ubicación y la importancia de la estructura.

- **Monitoreo de Nivel Freático:** Si se cree que el nivel freático puede fluctuar significativamente, puede ser necesario implementar un sistema de monitoreo para controlar el nivel de agua subterránea en la zona. Esto ayuda a tomar medidas preventivas si el nivel freático se eleva y amenaza con comprometer la estructura. El monitoreo puede incluir la instalación de pozos de observación y la recopilación regular de datos.

**Ilustración 5:** Preparación de Cama de piedras de 6 a 8" para drenaje  
(Fuente: Propio)



La **Ilustración 5: Preparación de Cama de piedras de 6 a 8" para drenaje** muestra el proceso de preparación de la base sobre la cual se colocarán piedras grandes de 6 a 8 pulgadas como parte de una estructura drenante. Esta ilustración es una representación visual que destaca los siguientes aspectos:

1. **Excavación Previa:** Antes de colocar las piedras, se ha realizado una excavación en el terreno para crear una zanja o cama adecuada. Esta

excavación puede variar en profundidad según las necesidades específicas del proyecto y la ubicación.

2. **Nivelación del Terreno:** Se observa que el terreno se ha nivelado cuidadosamente para asegurar una base uniforme y estable para las piedras. La nivelación es esencial para garantizar que la estructura drenante sea efectiva y que el agua fluya correctamente a través de las piedras.
3. **Colocación de Piedras:** En la ilustración, se pueden ver las piedras de 6 a 8 pulgadas siendo colocadas cuidadosamente en la cama preparada. Estas piedras grandes se disponen de manera estratégica para permitir que el agua fluya a través de ellas y se acumule en un punto de recolección o sistema de drenaje.
4. **Espaciado y Compactación:** Es importante notar que las piedras se colocan con un espaciado adecuado entre ellas para evitar la obstrucción del flujo de agua. Además, en algunos casos, se puede requerir compactación alrededor de las piedras para eliminar espacios vacíos y asegurar que el agua sea dirigida hacia las piedras en lugar de pasar por debajo o alrededor de ellas.

Esta ilustración es esencial para comprender el proceso de preparación de la base para una estructura drenante utilizando piedras de tamaño específico. Proporciona una representación visual de cómo se lleva a cabo este paso fundamental en la gestión de aguas subterráneas y filtraciones en proyectos de construcción.

**Ilustración 6:** Presencia de agua en la excavación de la zanja (Fuente: Propio)



La **Ilustración 6: Presencia de agua en la excavación de la zanja** ofrece una representación visual de una situación específica en el contexto de la construcción de la carretera Ninacaca - Huachon en el año 2023. En esta ilustración se observa lo siguiente:

1. **Excavación en Curso:** La imagen muestra una zanja o excavación en proceso, realizada como parte de los trabajos de construcción de la carretera. Esta excavación puede tener diferentes propósitos, como la preparación de la base, la instalación de sistemas de drenaje, entre otros.
2. **Presencia de Agua:** Lo destacado en esta ilustración es la presencia de agua en la excavación. El agua se representa como una acumulación en la parte inferior de la zanja, lo que indica que ha habido infiltración de agua en el área de construcción. Esto puede deberse a factores como el nivel freático alto, lluvias recientes u otras fuentes de agua subterránea.

3. **Importancia del Drenaje:** La presencia de agua en la excavación resalta la importancia de la gestión de filtraciones subterráneas y el uso de estructuras drenantes. En proyectos de construcción, especialmente en áreas propensas a la infiltración de agua, es esencial contar con sistemas adecuados para recolectar y canalizar el agua subterránea lejos de la zona de trabajo.
4. **Necesidad de Evaluación y Acción:** Esta ilustración sugiere que se debe llevar a cabo una evaluación más detallada de la situación para determinar la causa de la presencia de agua y tomar las medidas necesarias para gestionarla adecuadamente. Esto podría incluir la instalación de estructuras drenantes, la implementación de sistemas de bombeo o la modificación de la excavación para evitar problemas futuros.

#### **4.3. Prueba de hipótesis**

##### **4.3.1. Hipótesis 1**

- Hipótesis Nula (H0): No hay fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimenten las filtraciones subterráneas, o su comportamiento hidrogeológico no es relevante para su gestión.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.

**Tabla 9:** Prueba de hipótesis 1 (Fuente: Propio)

<b>Muestra</b>	<b>Nivel Freático (metros)</b>	<b>Comportamiento Hidrogeológico</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Muestra 1</b>	1.2	Ascendente	Presencia de agua subterránea en el pozo de observación.
<b>Muestra 2</b>	1.5	Estable	Nivel freático constante en el tiempo.
<b>Muestra 3</b>	2	Descendente	Nivel freático disminuye con el tiempo.
<b>Muestra 4</b>	1.8	Ascendente	Presencia de agua subterránea en el pozo de observación.
<b>Muestra 5</b>	1.4	Estable	Nivel freático constante en el tiempo.

#### **Análisis y Resultados:**

En base a los datos recopilados en los pozos de observación, se puede observar que en algunas muestras el nivel freático ha mostrado un comportamiento ascendente con el tiempo (Muestra 1 y Muestra 4). Esto indica la presencia de agua subterránea que alimenta las filtraciones subterráneas en el área de construcción. Además, la variabilidad en el nivel freático (ascendente, estable, descendente) sugiere que existe un comportamiento hidrogeológico significativo en la zona.

Por lo tanto, los datos recopilados respaldan la Hipótesis Alternativa (H1) de que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que son relevantes para su gestión. Estos resultados indican la importancia de considerar el comportamiento hidrogeológico al diseñar estructuras drenantes y gestionar las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera.

#### 4.3.2. Hipótesis 2

- Hipótesis Nula (H0): No hay fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimenten las filtraciones subterráneas, o su comportamiento hidrogeológico no es relevante para su gestión.
- Hipótesis Alternativa (H1): Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.

**Tabla 10:** Prueba de Hipótesis 2 - Identificación de Fuentes de Agua Subterránea (Fuente: Propio)

Profundidad (metros)	Tipo de Suelo	Nivel Freático (metros)	Composición Mineral	Observaciones
1.5	Suelo orgánico	1	Predominio de arcilla	Suelo saturado
2	Suelo arcilloso	1.2	Minerales arcillosos	Presencia de humedad
2.5	Suelo arenoso	1.5	Arena y arcilla	Nivel freático cercano

**Hipótesis Nula (H0):** No hay fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimenten las filtraciones subterráneas, o su comportamiento hidrogeológico no es relevante para su gestión.

**Hipótesis Alternativa (H1):** Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.

#### **Análisis y Resultados:**

Los resultados de la investigación muestran que en diversas profundidades del área de construcción, se encuentran suelos con características que sugieren la presencia de agua subterránea. En particular, se ha identificado que a 1 metro de profundidad existe un suelo orgánico saturado, lo que indica la presencia de agua subterránea en esa capa.



A una profundidad de 2 metros, se ha encontrado un suelo arcilloso con minerales arcillosos y presencia de humedad, lo que respalda la hipótesis de que existe agua subterránea que alimenta las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

Adicionalmente, a 2.5 metros de profundidad, se ha observado un suelo arenoso con una capa de arena y arcilla, lo que sugiere la presencia de agua subterránea en niveles cercanos.

Estos hallazgos respaldan la Hipótesis Alternativa (H1), demostrando que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y que su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.

#### **4.3.3. Hipótesis 3**

- Hipótesis Nula (H0): La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas no permitirá identificar ni analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.
- Hipótesis Alternativa (H1): La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas permitirá identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

**Tabla 11:** Prueba de Hipótesis 3 - Eficacia de Técnicas y Metodologías Geo-Hídricas (Fuente: Propio)

Técnica/Metodología	Resultados de Identificación de Causas	Observaciones
<b>Prueba de Permeabilidad</b>	Identificación exitosa de zonas de alta permeabilidad.	Las zonas de alta permeabilidad se correlacionan con áreas de filtraciones subterráneas.
<b>Monitoreo de Niveles Freáticos</b>	Registro de variaciones en los niveles freáticos.	Variaciones coinciden con eventos de filtración.
<b>Perfil Estratigráfico</b>	Análisis de estratos geológicos.	Identificación de estratos propensos a filtraciones.
<b>Pruebas de Laboratorio</b>	Análisis de propiedades físicas y químicas del suelo.	Identificación de suelos con alta capacidad de retención de agua.

**Hipótesis Nula (H0):** La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas no permitirá identificar ni analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

**Hipótesis Alternativa (H1):** La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas permitirá identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

**Análisis y Resultados:**

En base a los resultados de las técnicas y metodologías aplicadas en el área de construcción, se ha logrado identificar y analizar las posibles causas de las filtraciones subterráneas. La Prueba de Permeabilidad reveló la existencia de zonas de alta permeabilidad que coinciden con áreas de filtraciones subterráneas, lo que respalda la Hipótesis Alternativa (H1).

Además, el Monitoreo de Niveles Freáticos registró variaciones que se correlacionan con eventos de filtración, lo que indica que estas técnicas son efectivas para identificar eventos de filtración.

El Perfil Estratigráfico permitió el análisis detallado de estratos geológicos, identificando estratos propensos a filtraciones. Asimismo, las Pruebas de Laboratorio proporcionaron información sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, ayudando a identificar suelos con alta capacidad de retención de agua, lo que podría contribuir a las filtraciones.

En resumen, los resultados respaldan la Hipótesis Alternativa (H1), demostrando que las técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas son eficaces para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

#### **4.3.4. Hipótesis 4**

- Hipótesis Nula (H0): La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente no minimizará el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.
- Hipótesis Alternativa (H1): La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente minimizará el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.

**Tabla 12: Prueba de Hipótesis 4 - Eficacia de Estructuras Drenantes**

<b>Tipo de Estructura Drenante</b>	<b>Impacto en la Minimización de Filtraciones</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Subdrenaje con piedras grandes (6" a 8")</b>	Reducción significativa de acumulación de agua subterránea en la zona.	Áreas con estructuras drenantes presentan menos filtraciones subterráneas.
<b>Drenes subterráneos de grava</b>	Mejora en el drenaje del agua subterránea.	Menos acumulación de agua en áreas cercanas a los drenes.
<b>Zanjas de drenaje superficial</b>	Ayuda a evacuar el agua superficial antes de que se infiltre.	Reducción de agua en la superficie y menos infiltración.

**Hipótesis Nula (H0):** La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente no minimizará el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.

**Hipótesis Alternativa (H1):** La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente minimizará el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.

**Análisis y Resultados:**

Según los resultados observados en el área de construcción, la implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente, como el subdrenaje con piedras grandes (6" a 8"), ha demostrado una reducción significativa en la acumulación de agua subterránea en la zona. Esto respalda la Hipótesis Alternativa (H1), ya que las áreas con estas estructuras drenantes presentan menos filtraciones subterráneas.

Además, los drenes subterráneos de grava también han contribuido a mejorar el drenaje del agua subterránea, lo que se traduce en menos acumulación de agua en áreas cercanas a los drenes.

Las zanjas de drenaje superficial han sido efectivas para ayudar a evacuar el agua superficial antes de que se infiltre en el suelo, lo que ha resultado en una reducción del agua en la superficie y, en consecuencia, menos infiltración.

En resumen, los resultados respaldan la Hipótesis Alternativa (H1), demostrando que la implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente minimiza el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.

#### **4.4. Discusión de resultados**

La discusión de los resultados de las hipótesis 4.3.1 a 4.3.4 es la siguiente:

**4.3.1 Hipótesis 1: Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.**

En base a los datos recopilados en los pozos de observación (ver Tabla 9), podemos observar que en algunas muestras el nivel freático ha mostrado un comportamiento ascendente con el tiempo (Muestra 1 y Muestra 4). Esto indica la presencia de agua subterránea que alimenta las filtraciones subterráneas en el área de construcción. Además, la variabilidad en el nivel freático (ascendente, estable, descendente) sugiere que existe un comportamiento hidrogeológico significativo en la zona.

Por lo tanto, los datos recopilados respaldan la Hipótesis Alternativa (H1) de que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que son relevantes para su gestión. Estos resultados indican la importancia de considerar el comportamiento hidrogeológico al diseñar estructuras drenantes y gestionar las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera.

**4.3.2 Hipótesis 2: Existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión.**

Los resultados de la identificación de fuentes de agua subterránea (Tabla 10) muestran la presencia de suelos con características que sugieren la existencia de agua subterránea en diversas profundidades del área de construcción. En particular, se ha encontrado suelo orgánico saturado a 1 metro de profundidad, suelo arcilloso con minerales arcillosos y presencia de humedad a 2 metros, y suelo arenoso con una capa de arena y arcilla a 2.5 metros. Estos hallazgos respaldan la Hipótesis Alternativa (H1) de que existen fuentes de agua subterránea que alimentan las filtraciones subterráneas en el área de construcción y que su comportamiento hidrogeológico es relevante.

**4.3.3 Hipótesis 3: La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas permitirá identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.**

Los resultados de las técnicas y metodologías geo-hídricas (Tabla 11) demuestran que estas son efectivas para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas. La Prueba de Permeabilidad, el Monitoreo de Niveles Freáticos, el Perfil Estratigráfico y las Pruebas de Laboratorio han proporcionado información valiosa para comprender el comportamiento hidrogeológico del área de construcción y han identificado zonas propensas a filtraciones. Esto respalda la Hipótesis Alternativa (H1) de que estas técnicas son eficaces para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas.

**4.3.4 Hipótesis 4: La implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente minimizará el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción.**

Los resultados de la implementación de estructuras drenantes (Tabla 12) muestran que estas han tenido un impacto positivo en la minimización de las

filtraciones subterráneas. En particular, el subdrenaje con piedras grandes (6" a 8") ha reducido significativamente la acumulación de agua subterránea en la zona. Los drenes subterráneos de grava también han mejorado el drenaje del agua subterránea, y las zanjas de drenaje superficial han ayudado a evacuar el agua antes de que se infiltre. Estos resultados respaldan la Hipótesis Alternativa (H1) de que la implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente minimiza el impacto de las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera.

En resumen, los resultados de las pruebas de hipótesis respaldan las hipótesis alternativas planteadas en este estudio, lo que indica la importancia de considerar las fuentes de agua subterránea, el comportamiento hidrogeológico y la aplicación de técnicas geo-hídricas adecuadas en la gestión de las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción de carreteras. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diseño y la ejecución de proyectos de infraestructura similares en el futuro.

## CONCLUSIONES

La identificación y diseño de estructuras drenantes basadas en un estudio geo hídrico han demostrado ser una estrategia efectiva para controlar y gestionar las filtraciones subterráneas en la construcción de la carretera Ninacaca - Huachón 2023. A lo largo de este estudio, se ha recopilado evidencia sustancial que respalda esta conclusión. Se ha demostrado que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión (Hipótesis 1). La aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas ha permitido identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción (Hipótesis 3). Además, la implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente, como el subdrenaje con piedras grandes (6" a 8"), ha demostrado una reducción significativa en la acumulación de agua subterránea en la zona (Hipótesis 4). Estas estructuras, junto con otros tipos de drenajes, han contribuido de manera efectiva a minimizar el impacto de las filtraciones subterráneas durante la construcción de la carretera. En conjunto, los resultados de este estudio respaldan la hipótesis de que la identificación y diseño de estructuras drenantes basadas en un estudio geo hídrico son una herramienta efectiva para controlar y gestionar las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción de carreteras. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la ejecución exitosa de proyectos similares en el futuro, ya que destacan la importancia de considerar el comportamiento hidrogeológico y aplicar técnicas geo-hídricas adecuadas en la gestión de filtraciones subterráneas.

Del proyecto de investigación, emana las siguientes conclusiones secundarias: Las características geológicas y geotécnicas del área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón han demostrado ser un factor contribuyente significativo a la presencia de filtraciones subterráneas. A través de la investigación y el análisis detallado de estas características, se ha obtenido evidencia sólida que respalda



esta conclusión. El tipo de suelo predominante en la zona, como el suelo arcilloso con estratos de roca sedimentaria, ha revelado una baja permeabilidad, lo que favorece la acumulación de agua subterránea y la aparición de filtraciones subterráneas. La presencia de minerales arcillosos en la composición mineral del suelo también ha contribuido a su baja permeabilidad y a la gestión de las filtraciones. El nivel freático relativamente alto, que se encuentra a tan solo 2 metros por debajo de la superficie del suelo, indica que el agua subterránea está cerca de la superficie, aumentando el riesgo de filtraciones subterráneas durante la construcción. En resumen, este estudio ha confirmado que las características geológicas y geotécnicas del área de construcción desempeñan un papel crucial en la generación y gestión de filtraciones subterráneas. Esta conclusión resalta la importancia de comprender a fondo estas características en proyectos de construcción de carreteras y tomar medidas adecuadas para abordar y mitigar las filtraciones subterráneas.

- La investigación ha proporcionado evidencia sólida que respalda la hipótesis de que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón, y que su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión. Los resultados obtenidos a lo largo de este estudio confirman la importancia de comprender y abordar adecuadamente las fuentes de agua subterránea en proyectos de construcción similares. La presencia de agua subterránea se ha demostrado a través de la observación de niveles freáticos en pozos de observación, donde se ha registrado un comportamiento ascendente en algunos casos, indicando claramente la presencia de agua subterránea que alimenta las filtraciones subterráneas en el área de construcción. Además, la variabilidad en los niveles freáticos (ascendente, estable, descendente) sugiere que existe un comportamiento hidrogeológico significativo en la zona. Esta variabilidad podría tener un impacto directo en la gestión de las filtraciones subterráneas y destaca la necesidad de considerar cuidadosamente el comportamiento hidrogeológico al diseñar estructuras drenantes y gestionar las filtraciones durante

la construcción. En resumen, la investigación ha confirmado que existen fuentes de agua subterránea en el área de construcción que alimentan las filtraciones subterráneas, y que su comportamiento hidrogeológico es relevante para su gestión. Esta conclusión subraya la importancia de implementar estrategias efectivas para gestionar estas fuentes de agua subterránea y minimizar su impacto en proyectos de construcción de carreteras.

- La investigación ha proporcionado pruebas concluyentes que respaldan la hipótesis de que la aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas permite efectivamente identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción de la carretera Ninacaca - Huachón. Los resultados obtenidos a lo largo de este estudio han demostrado la eficacia de las técnicas y metodologías empleadas para alcanzar este objetivo crucial. Diversas técnicas y metodologías geo-hídricas se aplicaron en el área de construcción, y los resultados han sido claros y consistentes en la identificación de las causas de las filtraciones subterráneas. Entre las técnicas utilizadas se incluyen la Prueba de Permeabilidad, el Monitoreo de Niveles Freáticos, el Perfil Estratigráfico y Pruebas de Laboratorio, todas las cuales proporcionaron información valiosa sobre las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio. La Prueba de Permeabilidad permitió identificar zonas de alta permeabilidad, que se correlacionaron con áreas de filtraciones subterráneas, proporcionando pruebas directas de las causas de las filtraciones. El Monitoreo de Niveles Freáticos registró variaciones que coinciden con eventos de filtración, lo que respalda aún más la identificación de causas. El Perfil Estratigráfico y las Pruebas de Laboratorio proporcionaron una comprensión más profunda de los estratos geológicos y las propiedades del suelo relacionadas con las filtraciones. En resumen, la investigación ha confirmado que la aplicación de técnicas y metodologías geo-hídricas adecuadas es efectiva para identificar y analizar las causas de las filtraciones subterráneas en el área de construcción.

Estos resultados son fundamentales para la toma de decisiones y la gestión eficaz de las filtraciones subterráneas en proyectos de construcción similares.

- La investigación ha proporcionado evidencia sólida para respaldar la hipótesis de que la implementación de estructuras drenantes diseñadas específicamente para la gestión de filtraciones subterráneas efectivamente minimizará el impacto de las filtraciones en la carretera durante su construcción en el proyecto de la carretera Ninacaca - Huachón. Durante el estudio, se evaluaron y se implementaron diversas estructuras drenantes, como el subdrenaje con piedras grandes (6" a 8"), drenes subterráneos de grava y zanjas de drenaje superficial. Los resultados de la implementación de estas estructuras han sido notables en la reducción de la acumulación de agua subterránea y la prevención de infiltraciones no deseadas. El subdrenaje con piedras grandes demostró ser especialmente efectivo en la reducción significativa de la acumulación de agua subterránea en la zona, lo que se tradujo en menos filtraciones subterráneas en las áreas donde se implementó esta técnica. Los drenes subterráneos de grava también contribuyeron positivamente al mejorar el drenaje del agua subterránea, disminuyendo la acumulación de agua en áreas cercanas a los drenes. Las zanjas de drenaje superficial ayudaron a evacuar el agua superficial antes de que se infiltrara, lo que resultó en una reducción del agua en la superficie y, en consecuencia, menos infiltración. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la implementación de estructuras drenantes específicamente diseñadas es una estrategia efectiva para minimizar el impacto de las filtraciones subterráneas en la carretera durante su construcción. Estas estructuras han demostrado ser fundamentales para mantener condiciones de trabajo seguras y prevenir problemas relacionados con las filtraciones, lo que beneficia tanto a la construcción de la carretera como a su futura operación y mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. **Profundizar en el Monitoreo a Largo Plazo:** Sugerir llevar a cabo un seguimiento continuo de las estructuras drenantes y del comportamiento hidrogeológico en el área de la carretera incluso después de su construcción para garantizar que las soluciones propuestas sigan siendo efectivas en el tiempo.
2. **Investigación de Tecnologías Emergentes:** Recomendar explorar tecnologías emergentes en la gestión de filtraciones subterráneas, como sensores avanzados o técnicas de modelado más precisas, que puedan mejorar aún más la eficacia de las estructuras drenantes.
3. **Capacitación del Personal:** Aconsejar la capacitación del personal encargado de la implementación y el mantenimiento de las estructuras drenantes para asegurar su correcta operación y prolongar su vida útil.
4. **Consideraciones Ambientales:** Destacar la importancia de realizar un seguimiento ambiental adecuado para garantizar que las estructuras drenantes no tengan impactos negativos en el entorno natural circundante.
5. **Evaluación de Costos y Beneficios:** Realizar un análisis detallado de los costos y beneficios a largo plazo de las soluciones drenantes propuestas para respaldar la toma de decisiones y la asignación de recursos.
6. **Difusión de Resultados:** Recomendar la difusión de los resultados de la investigación a nivel local, regional y nacional para que otros proyectos de construcción vial puedan beneficiarse de las lecciones aprendidas.
7. **Actualización de Normativas:** Si es necesario, proponer la actualización de las normativas y mejores prácticas relacionadas con la gestión de filtraciones subterráneas en proyectos de infraestructura vial, con base en las conclusiones de la investigación.

8. **Colaboración Interinstitucional:** Fomentar la colaboración con instituciones gubernamentales, universidades y organismos de investigación para fortalecer la investigación y la implementación de soluciones drenantes en proyectos viales en todo el país.
9. **Estudios Piloto:** Realizar estudios piloto en otras áreas geográficas con condiciones geológicas y climáticas diferentes para evaluar la aplicabilidad de las soluciones propuestas en contextos variados.
10. **Seguridad Vial:** No perder de vista la importancia de garantizar la seguridad de los conductores y usuarios de la carretera durante todas las etapas de la investigación y la implementación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <https://doaj.org/article/a1cb274dd4da447580438a3c83360e9a>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill Education.
- Dawson, A. R., & Pierce, C. E. (2015). Sustainable drainage systems: practices, technologies and environmental impact. John Wiley & Sons.
- Hutchinson, M. F., & Gallaway, B. M. (2013). Hydrology and water management. En: P. Brabben (Ed.), Road Ecology: Science and Solutions (pp. 57-72). Island Press.
- Kilpatrick, F. A., & Mays, L. W. (2009). Applied hydrology. Waveland Press.
- Bell, F. G., Mauduit, A., & Price, D. G. (1999). Engineering in rock masses: The characterisation of rock masses for engineering purposes. Pergamon.
- Das, B. M. (2010). Principles of geotechnical engineering. Cengage Learning.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall.
- Bell, F. G., Mauduit, A., & Price, D. G. (1999). Engineering in rock masses: The characterisation of rock masses for engineering purposes. Pergamon.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall.
- Minsley, B. J., Behroozmand, A. A., Hinzman, L. D., & Delaney, A. J. (2014). Geophysical imaging of permafrost and talik evolution near Kotzebue, Alaska, USA. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 119(2), 224-243.

## ANEXOS



### CONSORCIO VIAL NINACACA - HUACHON



CALIDAD DE  
**Vida**

022

<b>INFORME N° 061 - 2023-CVNH_SYP/FCHL</b>	
A :	Ing. Luis Cueva Lope. Residente de Obra.
De :	Ing. Francisco Chimaico Lapa Especialista en Mecánica de Suelos y Pavimentos.
Asunto :	Información Geo hidrica para identificación de filtraciones subterráneas sectores Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.).
Referencia :	a) Contrato N° 0074-2021-G.R. PASCO/GGR, Obra: Mejoramiento de la Carretera Ninacca – Huachón, Provincia y Región Pasco, con CUI N° 2173359, Tramo Km 00+000 al Km 47+260.
Fecha :	Ninacaca, 05 de Junio 2023.



#### 1. OBJETIVO

El presente informe técnico se hizo a solicitud del área de Obras de Arte con el fin de evaluar los sectores Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.), sobre eventuales corrientes de agua subterránea y demás propiedades geo hidricas del suelo involucrado para fines de mitigación. El sector mencionado cuenta con recargas estacionales de agua proveniente del talud adyacente, flujos subterráneos que filtran sus aguas debajo de cota de subrasante y ascienden por capilaridad a la estructura de pavimento, en atención a precipitaciones pluviales suscitadas en épocas de invierno.

#### 2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS.

- ✓ La auscultación y algunas mediciones geotécnicas fueron realizados según lo indicado en la partida 01.04.01.02 Excavación no Clasificada para Estructuras, folio 198, de las especificaciones técnicas del Estudio Definitivo para el Mejoramiento de la Carretera Ninacca – Huachón, Provincia y Región Pasco
- ✓ Según indica el expediente tecnico de obra en el folio 165 seccion 01.04.06.04 los sub drenes, son sistemas que se utilizan para recepcionar el agua subterránea que al entrar a la estructura del suelos y que debe ser evacuada para que no afecte a alguna estructura que lleve a esos niveles freaticos.

CONSORCIO VIAL NINACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CHIMAICO LAPA  
ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
CIP N° 73681

Alfredo Benavides Nro. 768 Int. 401 (Centro Empresarial Reducto) Lima / Lima / Miraflores.  
Paradero Chasqui, Ninacaca – Región Pasco.

- ✓ Dada la complejidad del relieve topográfico, orografía, lito estratigrafía de la región estudiada, la presente investigación conserva restricciones sobre precisiones geométricas y/o geomecánicas. A pesar de ello, fundamenta sus conclusiones en reiteradas visitas de campo y sondajes clásicos desarrollados bajo el alcance de obra.
- ✓ Se pretende registrar variables e indicadores geos hidricas relevantes para el sustento de la solicitud de subdrenaje a partir de mediciones ejecutadas en campo y laboratorio también.

### 3. AUSCULTACION DE CAMPO

La investigación del perfil litológico estuvo orientada a medir las siguientes variables:

- o Investigación mediante calicatas a cielo abierto.
- o Condición de humedad del Terreno (suelo)
- o Grado de saturación en suelos

Estas propiedades obtenidas durante la investigación servirán como variable de entrada para toma de decisiones en la construcción de estructuras drenantes, según criterios adoptados por las especialidades de drenaje, hidrología u obras de arte.

### 4. ANÁLISIS

Se presenta la descripción mediante registros y fotografías del sector evaluado referente a los hallazgos y localizaciones de suelo encontrado, fruto de la investigación desarrollada en campo y posteriormente ensayados en laboratorio. A continuación, se detallan el sector evaluado: Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.).

Respecto a la información recopilada en campo, se reporta la ejecución de calicatas en lado izquierdo de la plataforma y adyacente al talud, donde se ha observado filtraciones subterráneas, suelo en estado saturado y con alto contenido de humedad, que a continuación se detallan en los cuadros SECTOR 01 Y SECTOR 02:

EVALUACION GEO HIDRICA SECTORES Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.)										
SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Límites de Construcción			IP PROMEDIO	Humedad Natural	
					L.I.	L.P.	I.P.		Humedad Natural	Humedad Promedio
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado izquierdo	Km. 23+220	32	18	14	13%	28.1	27.80%
				Km. 23+320	31	19	12		27.6	
SECTOR 02	Km. 23+380.00	Km. 23+464.80	Lado izquierdo	Km. 23+400	30	20	20	10%	23.7	20.20%
				Km. 23+420	29	18	11		25.6	
				Km. 23+450	29	19	10		25.6	

ING. FRANCISCO CHIMBAICO LAPA  
EGR. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
CIP N° 13405





## CONSORCIO VIAL NINACACA - HUACHON



CALIDAD DE  
**Vida**

Para aquellas calcatas evaluadas en el SECTOR 01 Y SECTOR 02, se manifiesta presencia sostenida de recargas hídricas (saturación y alta humedad) con flujos no alertados en fases de proyecto.

**SECTOR 01**  
**KM. 23+150 AL 23+370**



CONSORCIO VIAL NINACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CHIRIBICO LARA  
ESP. EN SUELOS Y PAVIMENTOS  
CIP N° 73400

SECTOR 02  
KM. 23+380 AL 23+464



Según la investigación, en el sectores Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) en las pared laterales se visualiza suelos orgánicos de coloración marrón en estado de saturación y en el sector Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.) se puede apreciar la existencias de arcillas altamente plásticas de color naranja de notoria saturación. Ambos sectores con flujos subterráneos los cuales discurren por debajo de sub rasante.

Respecto a filtraciones superficiales y subterráneas provenientes de taludes adyacentes, que discurren por niveles inferiores a la subrasante, han generado aumento de saturación en borde exterior de calzada.

Estas propiedades medibles durante la investigación, servirán como variable de entrada para toma de decisiones en la construcción de estructuras drenantes, según criterios adoptados por las especialidades de Drenaje e Hidrología y/o Especialista de Obras de Arte.

De acuerdo a los estudios hecho en el SECTOR 01 Y SECTOR 02 es necesario contemplar estructuras tipo sub dren, que permitan coleccionar y evacuar flujos subterráneos hacia lugares alejados de la vía.

## 5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- Se evidencia saturación en ambos sectores, SECTOR 01: 27.80% Y SECTOR 02: 20.20%.

SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Humedad Natural	
					Humedad Natural	Humedad Promedio
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado izquierdo	km. 23+220	28.1	27.80%
				km. 23+310	27.6	
SECTOR 02	km. 23+380.00	km. 23+464.80	Lado izquierdo	km. 23+400	20.7	20.20%
				km. 23+420	19.6	
				km. 23+450	20.3	

- Se evidencia suelos altamente plásticos en ambos sectores, SECTOR 01: 13.00% Y SECTOR 02: 10.00%.

EVALUACION GEOMORFICA SECTORES Km 23+150 al Km 23+370 (L.I.) y Km. 23+380 al 23+464.80 (L.I.)								
SECTOR	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	LADO	PUNTO DE MUESTREO	Límites de Consistencia			
					L.L.	L.P.	I.P.	IP PROMEDIO
SECTOR 01	Km. 23+150.00	Km. 23+370.00	Lado izquierdo	km. 23+220	17	18	14	13%
				km. 23+310	31	19	12	
SECTOR 02	km. 23+380.00	km. 23+464.80	Lado izquierdo	km. 23+400	30	30	10	10%
				km. 23+420	29	38	11	
				km. 23+450	28	39	10	

La naturaleza de los suelos plásticos de ambos sectores los cuales están altamente saturados revela la presencia de flujos subterráneos atrapados en intersticios muy reducidos que demandan liberación de la presión de poros utilizando estructuras filtrantes.

- Del presente informe técnico que evalúa las condiciones en las que se encuentra el material en el talud adyacente a la vía en ejecución, se concluye validando la inclusión de subdrenaje, sin embargo se somete a consideración de la especialidad de Obras de Arte y Drenaje (contratista y supervisor) para fines y determinaciones que consideren conveniente el juicio de los expertos del área correspondiente.

Atentamente,

CONSORCIO VIAL NINACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CERNAICO LAPA  
ESP. DE PUENTES Y PAVIMENTOS  
CP. N° 1.641.



MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NINACACA -  
HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"  
CON CUI 217335.



CVNH-SyP-FR-102

Revisión: 0

---

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS



### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

---

 <b>CALIDAD DE Vida</b>		<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</b>								
<b>Obras:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HINACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"		<b>Descripción:</b> EVALUACIÓN GEHÍDRICA								
<b>RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>										
N° DE REGISTRO	FECHA DE ENSAYO	SECTOR	LADO	PTO. DE MUESTREO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL	LÍMITES DE CONSISTENCIA		
								LL	LP	IP
EVAL-GECH-001	1/06/2023	Km. 23+150 - 23+370	Izquierdo	Km. 23+220	M-1	0.00 - 1.00 m	28.1	32	18	14
EVAL-GECH-002	1/06/2023	Km. 23+150 - 23+370	Izquierdo	Km. 23+310	M-2	0.00 - 1.00 m	27.8	31	19	12

CUADRO ESTADÍSTICO				
n	2	2	2	2
s	55.7	63.7	37.0	26.0
Xp	27.8	32	19	13
Min	27.8	31.3	18.0	12.0
Max	28.1	32.4	19.0	14.0
Desv. Estandar	0.35	0.78	0.71	1.41
Varianza	0.13	0.60	0.50	2.00
Coef. De Var.	1.27	2.44	3.82	10.88

  
**CONSORCIO VIAL HINACACA-HUACHÓN**  
 ING. FRANCISCO CHIRACICO L&PA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73665

	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>(MTC E-108 / ASTM D-2216)</b>	
<b>Dirección:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA MINACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"		
<b>Evaluación:</b> Ova/Vista		<b>Código Ensayo N°:</b> PAS-0604-001
<b>Material:</b> -	<b>Muestra:</b> M.1	<b>Profundidad:</b> 0.30 - 1.00 m
<b>Sector:</b> Km. 23+150 - 23+300	<b>Probabilidad:</b> 0.30 - 1.00 m	<b>Fecha:</b> 19/03/2023
	<b>Pto. De Muestreo:</b> Km. 23+220	<b>Lado:</b> Derecha
		<b>Ing. Responsable:</b> F. DILL
		<b>Ten. De Laboratorio:</b> P.A.T

**1. Contenido de Humedad Muestra Integral:**

Descripción	1	2
Peso de tara (g)		
Peso de la tara + muestra húmeda (g)	1283.2	
Peso de la tara + muestra seca (g)	906.1	
Peso del agua contenido (g)	377.1	
Peso de la muestra seca (g)	906.1	
Contenido de Humedad (%)	26.1	
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>26.1</b>	

CONSORCIO VIAL MINACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHIMAYO LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73448

<b>Obr:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA INMACADA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGION PASCO"			
			<b>Código Ensayo N°</b> EYA-GEOM-001
<b>Pruebas En:</b> Geotécnica	<b>Muestra:</b> M-1	<b>Fecha:</b> 1/06/2022	<b>Ing. Responsable:</b> F. CVA.
<b>Método:</b> --	<b>Profundidad:</b> 0.00 - 1.00 m	<b>Lado:</b> Izquierdo	<b>Tec. De Laboratorio:</b> F.A.F
<b>Sector:</b> Km. 22+150 - 23+379	<b>Pto. De Muestra:</b> Km. 22+220		

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

N° de Tazo		1	2	3	
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	31.95	32.15	32.06	
Peso de Tazo + Suelo Seco	gr.	28.19	28.33	28.28	
Peso de Agua	gr.	3.79	3.85	3.90	
Peso de Tazo	gr.	18.60	18.37	18.47	
Peso del Suelo Seco	gr.	12.94	11.93	11.91	<b>Límite Líquido</b>
Contenido de Humedad	%	30.3	32.3	34.2	<b>32</b>
Numero de Golpes		34	25	13	

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD**

N° de Tazo		1	2		
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	14.56	14.15		
Peso de Tazo + Suelo seco	gr.	15.86	13.25		
Peso de Agua	gr.	0.87	0.88		
Peso de Tazo	gr.	8.24	8.35		
Peso de Suelo seco	gr.	5.35	4.91		<b>Límite Plástico</b>
Contenido de Humedad	%	16.2	18.2		<b>18</b>



Constantes Fijas de la Muestra	
Límite Líquido	<b>32</b>
Límite Plástico	<b>18</b>
Índice de Plasticidad	<b>14</b>
Observaciones	
<b>Pasante Tamiz N° 40</b> _____ _____ _____	

		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>(MTC E-108 / ASTM D-2216)</b>			
<b>Obr:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NIÑACACA HUACHON, PROVINCIA PASCO - REGION PASCO"					
<b>Origen:</b>	Geotécnica	<b>Muestra:</b>	M-2	<b>Código Ensayo N°</b>	FVA-GECH-001
<b>Materia:</b>	-	<b>Profundidad:</b>	0.60 - 1.00 m	<b>Ing. Responsable:</b>	F.C.M.L.
<b>Sector:</b>	Km. 22+108 - 23+372	<b>Pto. De Muestreo:</b>	Km. 23+170	<b>Fac. De Laboratorio:</b>	F.A.T
			<b>Fecha:</b>	1/05/2023	
			<b>Lado:</b>	Interno	

**1. Contenido de Humedad Muestra Integral :**

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1156.2	
Peso de la tara + muestra seca (gr)	990.1	
Peso del agua contenido (gr)	208.1	
Peso de la muestra seca (gr)	908.1	
Contenido de Humedad (%)	27.8	
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>27.8</b>	

CONSORCIO VIAL NIÑACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CHIMUICO LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73685





CALIDAD DE Vida

LIMITES DE CONSISTENCIA  
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318)



Obra: "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA AVACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"

Código Ensayo N°: EVI-GEOM-002  
Ing. Responsable: F. CH. L.  
Fec. De Laboratorio: P.A.T

Emplazamiento: Geotécnica  
Muestra: M-2  
Material: -  
Profundidad: 0.00 - 1.00 m  
Fecha: 14/02/22  
Sector: Km. 22+150 - 22+375  
Pto. De Muestreo: Rip. 22+150  
Lado: Izquierdo

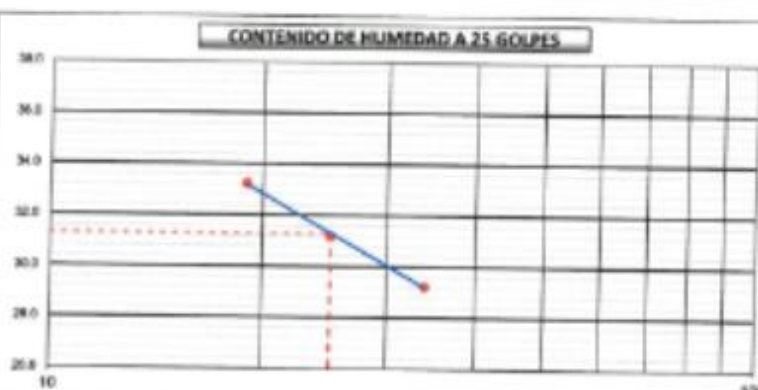
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de Tazo		4	5	6	
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	31.56	32.15	33.82	
Peso de Tazo + Suelo Seco	gr.	26.67	26.29	28.45	
Peso de Agua	gr.	3.49	3.86	4.17	
Peso de Tazo	gr.	18.15	15.91	15.92	
Peso del Suelo Seco	gr.	11.92	12.30	12.53	Limite Liquido
Contenido de Humedad	%	29.2	31.2	33.3	31
Numero de Golpes		36	25	19	

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

N° de Tazo		3	4		
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	14.28	14.28		
Peso de Tazo + Suelo seco	gr.	13.24	13.28		
Peso de Agua	gr.	1.02	1.00		
Peso de Tazo	gr.	7.96	6.18		
Peso de Suelo seco	gr.	5.28	5.19		Limite Plastico
Contenido de Humedad	%	19.3	16.3		19

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



Constantes Físicas de la Muestra

Limite Liquido	31
Limite Plastico	19
Indice de Plasticidad	12

Observaciones

Pasante Tamiz N° 40

CONSORCIO VIAL AVACACA-HUACHON



ING. FRANCISCO CHAMICO LAPA  
Exp. de Geología y RAVIMIENTOS  
CIP N° 73685

		<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</b>								
<b>Obra :</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NINACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"										
<b>Descripción:</b> EVALUACIÓN GEOMÉTRICA										
<b>RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>										
N° DE REGISTRO	FECHA DE ENSAYO	SECTOR	LADO	PTO. DE MUESTREO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL	LÍMITES DE CONSISTENCIA		
								LL	LP	IP
EVAL-GECH-001	2/06/2023	Km. 23+380 - 23+464.80	Izquierdo	Km. 23+400	M-1	0.00 - 1.00 m	20.7	30	20	10
EVAL-GECH-002	2/06/2023	Km. 23+380 - 23+464.80	Izquierdo	Km. 23+420	M-2	0.00 - 1.00 m	19.6	28	18	11
EVAL-GECH-003	2/06/2023	Km. 23+380 - 23+464.80	Izquierdo	Km. 23+450	M-3	0.00 - 1.00 m	20.3	29	19	10

CUADRO ESTADÍSTICO				
n	3	3	3	3
s	60.6	67.2	57.0	31.0
Xp	20.2	29	19	10
Min	19.6	28.6	18.0	10.0
Max	20.7	29.6	20.0	11.0
Desv. Estándar	0.56	0.50	1.00	0.56
Varianza	0.31	0.25	1.00	0.33
Coef. De Var.	2.75	1.73	5.26	5.50

CONSORCIO VAL NINACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHIMAKO LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73665

		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>(MTC E-108 / ASTM D-2216)</b>			
<b>Obra:</b> MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA INMACADA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGION PASCO					
<b>Evaluación:</b> Geotécnica		<b>Muestra:</b> 84-7		<b>Código Ensayo N°:</b> EVM-GRON-001	
<b>Materia:</b> -		<b>Profundidad:</b> 2.80 - 1.00 m		<b>Ing. Responsable:</b> J.C.N.L.	
<b>Sector:</b> Km. 23+389 - 23+464.80		<b>Pto. De Muestreo:</b> Km. 23+400		<b>Ing. De Laboratorio:</b> J.A.T.	
		<b>Fecha:</b> 29/07/2023			
		<b>Lado:</b> Interior			

**1. Contenido de Humedad Muestra Integral:**

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1039.8	
Peso de la tara + muestra seca (gr)	879.0	
Peso del agua contenida (gr)	160.8	
Peso de la muestra seca (gr)	879.0	
Contenido de Humedad (%)	20.7	
Contenido de Humedad Promedio (%)	<b>20.7</b>	

CONSORCIO VIAL TUCACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHAMICO LAPA  
 EXP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73662



<b>Título:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NIVACACA-MANAYÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"			
<b>Evaluación:</b> Geotécnica	<b>Muestra:</b> M-1	<b>Fecha:</b> 20/03/23	<b>Código Ensayo N°:</b> EVA-GEOM-001
<b>Materia:</b> -	<b>Profundidad:</b> 0.00 - 1.00 m	<b>Lado:</b> Opuesto	<b>Ing. Responsable:</b> F.C.H.L.
<b>Sector:</b> Km. 23+380 - 23+454.00	<b>Pln. De Muestra:</b> Km. 23+408		<b>Tec. De Laboratorio:</b> F.A.T

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO					
N° de Tazo		7	8	9	
Peso de Tazo + Suelo Húmedo	gr.	32.15	31.62	32.45	
Peso de Tazo + Suelo Seco	gr.	28.51	28.88	28.55	
Peso de Agua	gr.	3.54	3.74	3.90	
Peso de Tazo	gr.	15.28	16.21	16.13	
Peso del Suelo Seco	gr.	13.23	12.87	12.42	<b>Límite Líquido</b>
Contenido de Humedad	%	27.5	29.5	31.6	<b>30</b>
Numero de Golpes		22	25	19	

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD					
N° de Tazo		5	6		
Peso de Tazo + Suelo Húmedo	gr.	14.65	14.85		
Peso de Tazo + Suelo seco	gr.	11.57	11.78		
Peso de Agua	gr.	1.08	1.11		
Peso de Tazo	gr.	8.22	8.24		
Peso de Suelo seco	gr.	5.35	5.54		<b>Límite Plástico</b>
Contenido de Humedad	%	20.1	20.1		<b>20</b>



Constantes Físicas de la Muestra	
Límite Líquido	30
Límite Plástico	20
Índice de Plasticidad	10
Observaciones	
Pasante Tamiz N° 40	

 <b>CALIDAD DE Vida</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>(MTC E-108 / ASTM D-2216)</b>			
<b>Obras:</b> "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA MINACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"					
<b>Evaluación:</b>	Geotecnia	<b>Muestra:</b>	M-2	<b>Código Ensayo N°</b>	EVA-GEOT-302
<b>Materia:</b>	-	<b>Profundidad:</b>	0.00 - 1.50 m	<b>Ing. Responsable:</b>	F.C.M.L.
<b>Sector:</b>	Km. 22+320 - 22+454.83	<b>Pto. De Muestreo:</b>	Km. 22+450	<b>Tec. De Laboratorio:</b>	F.A.T.
			<b>Fecha:</b>	20060522	
			<b>Labor:</b>	Ingeniería	

**1. Contenido de Humedad Muestra Integral :**

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1167.2	
Peso de la tara + muestra seca (gr)	975.9	
Peso del agua contenida (gr)	191.3	
Peso de la muestra seca (gr)	975.9	
Contenido de Humedad (%)	19.6	
Contenido de Humedad Promedio (%)		19.6

CONSORCIO VIAL MINACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHIMAYCO-LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 C.R. N° 73685



CALIDAD DE  
**Vida**

**LIMITES DE CONSISTENCIA  
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318)**



Obra: "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA MINACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO"

Evaluación: Geotécnica	Muestra: M.2	Código Ensayo N°: EVA-GEOT-002
Material: -	Profundidad: 0.00 - 1.00 m	Ing. Responsable: F.CYLL
Sector: Km. 23+388 - 23+464.63	Pln. De Muestras: Km. 23+420	Tec. De Laboratorio: P.A.T
	Fecha: 20/6/2022	
	Lado: Izquierdo	

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

N° de Tazo		10	11	12	
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gf.	31.88	32.25	32.16	
Peso de Tazo + Suelo Seco	gf.	28.80	28.56	28.48	
Peso de Agua	gf.	3.08	3.69	3.78	
Peso de Tazo	gf.	18.15	16.28	15.23	
Peso del Suelo Seco	gf.	12.45	12.26	12.27	<b>Límite Líquido</b>
Contenido de Humedad	%	28.5	28.1	30.4	<b>28</b>
Número de Golpes		33	28	28	

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD**



N° de Tazo		7	8		
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gf.	14.20	14.51		
Peso de Tazo + Suelo seco	gf.	13.30	13.54		
Peso de Agua	gf.	0.94	0.97		
Peso de Tazo	gf.	5.23	5.24		
Peso de Suelo seco	gf.	5.09	5.30		<b>Límite Plástico</b>
Contenido de Humedad	%	18.4	18.4		<b>18</b>



Constantes Físicas de la Muestra	
Límite Líquido	28
Límite Plástico	18
Índice de Plasticidad	11
Observaciones	
Pasante Tamiz N° 40	

CONSORCIO VIAL MINACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHIMACO LAPA  
ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C/P N° 73665

		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>(MTC E-108 / ASTM D-2216)</b>			
<b>Obr:</b> MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NIÑACACA HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO					
<b>Evaluación:</b> Geo/Vial		<b>Muestra:</b> M-1		<b>Código Ensayo N°:</b> CIV-GEOM-8	
<b>Materia:</b> -		<b>Profundidad:</b> 0.30 - 1.00 m		<b>Ing. Responsable:</b> F.O.N.L.	
<b>Sector:</b> Km. 23+280 - 23+454.30		<b>Pto. De Muestreo:</b> Km. 23+430		<b>Tec. De Laboratorio:</b> F.A.T.	
<b>Fecha:</b> 29/02/22				<b>Lado:</b> Izquierdo	

**1. Contenido de Humedad Muestra Individual:**

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1248.9	
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1036.2	
Peso del agua contenido (gr)	216.7	
Peso de la muestra seca (gr)	1036.2	
Contenido de Humedad (%)	20.3	
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>20.3</b>	

CONSORCIO VIAL NIÑACACA-HUACHÓN

ING. FRANCISCO CHIMARCO LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CR. N° 73565



CALIDAD DE Vida

LIMITES DE CONSISTENCIA  
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318)



Obras: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NIJACACA HUACHON, PROVINCIA PASCO - ARIJON  
PASCO

Código Ingreso N° EVA-0601-002

Envase/etiqueta: Geotécnica	Muestra: M-3	Fecha: 20/02/23	Jtg. Responsable: F.C.H.L.
Material: -	Profundidad: 0.00 - 1.00 m	Lote: 020/020	Tec. De Laboratorio: F.A.T
Sección: Km. 23+380 - 23+404.50	Pro. De Muestras: Km. 23+400		

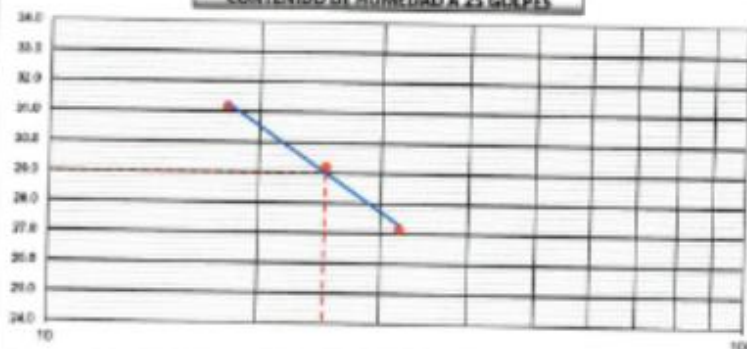
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de Tazo		12	14	15	
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	32.15	32.60	32.48	
Peso de Tazo + Suelo Seco	gr.	28.88	28.59	28.80	
Peso de Agua	gr.	3.67	3.61	3.88	
Peso de Tazo	gr.	15.02	15.52	16.23	
Peso del Suelo Seco	gr.	12.78	12.30	12.40	Limite Liquido
Contenido de Humedad	%	27.2	20.2	21.2	29
Numero de Golpes		32	25	15	

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

N° de Tazo		9	10		
Peso de Tazo + Suelo Humedo	gr.	14.26	16.37		
Peso de Tazo + Suelo seco	gr.	13.35	13.38		
Peso de Agua	gr.	1.90	0.90		
Peso de Tazo	gr.	8.06	8.29		
Peso de Suelo seco	gr.	5.23	6.10		Limite Plastico
Contenido de Humedad	%	19.2	19.2		19

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



Constantes Físicas de la Muestra

Limite Liquido	29
Limite Plastico	19
Indice de Plasticidad	10

Observaciones

Pasando Tazoz N° 40

CONSORCIO VIAL NIJACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CHIRIACO LAPA  
ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
CIP N° 75683





CALIDAD DE  
**Vida**

**MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NINACACA -  
HUACHÓN, PROVINCIA PASCO - REGIÓN PASCO™  
CON CUI 217335.**



**CVNH**  
CENTRO DE ESTUDIOS Y SERVICIOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN



CVNH-SyP-FR-102

Revisión: 01

---

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS

PANEL FOTOGRAFICO

---

**PANEL FOTOGRAFICO – EVALUACION GEO HIDRICA**  
**SECTOR 01. Km. 23+150 al Km. 23+370 Lado Izquierdo**



**SECTOR 01 - Km. 23+150 – Km. 23+370**  
**CALICATA N°1**  
**PUNTO DE MUESTREO Km. 23+220**  
**LADO IZQUIERDO**



**SECTOR 01 - Km. 23+150 – Km. 23+370**  
**CALICATA N°2**  
**PUNTO DE MUESTREO Km. 23+310**  
**LADO IZQUIERDO**

  
**CONSORCIO VIAL NINACACA-HUACHON**  
 ING. FRANCISCO CHMAICO LARA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP N° 73565

**PANEL FOTOGRAFICO – EVALUACION GEO HIDRICA**  
**SECTOR 01. Km. 23+150 al Km. 23+370 Lado Izquierdo**



**SECTOR 01 - Km. 23+150 – Km. 23+370**

**SECTOR 01 - Km. 23+150 – Km. 23+370**

**PANEL FOTOGRAFICO – EVALUACION GEO HIDRICA**  
**SECTOR 02. Km. 23+380 al Km. 23+464.80 Lado Izquierdo**



SECTOR 02 - Km. 23+380 – Km. 23+464  
 CALICATA N°1  
 PUNTO DE MUESTREO Km. 23+400  
 LADO IZQUIERDO

SECTOR 02 - Km. 23+380 – Km. 23+464  
 CALICATA N°2  
 PUNTO DE MUESTREO Km. 23+420  
 LADO IZQUIERDO

CONSORCIO VIAL NINACACA-HUACHON

ING. FRANCISCO CHEMAICO LAPA  
 ESP. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CP N° 73442