



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de
hormigón de viviendas del cantón Penipe, provincia de Chimborazo**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Paguay Casco, Angel Alberto

Sánchez Salazar, Jilmar Andrés

Tutor:

Ing. Andrea Natali Zarate Villacrés

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Angel Alberto Paguay Casco con cédula de ciudadanía 060495327-3 y Jilmar Andres Sánchez Salazar con cédula de ciudadanía 060515146-3, autores del trabajo de investigación titulado: Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Penipe, provincia de Chimborazo, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 5 de mayo del 2023



Angel Alberto Paguay Casco

C.I: 0604953273



Jilmar Andres Sánchez Salazar

C.I: 0605151463

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Penipe, presentado por Angel Alberto Paguay Casco, con cédula de ciudadanía 060495327-3 y Jilmar Andres Sánchez Salazar, con cédula de ciudadanía 060515146-3, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 5 de mayo del 2023.

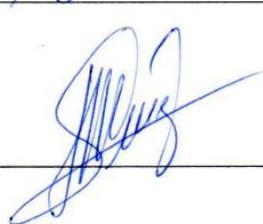
Ing. Carlos Sebastián Saldaña García
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Ing. Cristian Andres Marcillo Zapata
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés MsC
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

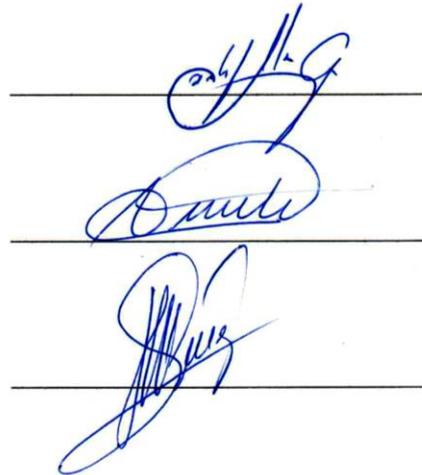
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Penipe, presentado por Angel Alberto Paguay Casco, con cédula de ciudadanía 060495327-3 y Jilmar Andres Sánchez Salazar, con cédula de ciudadanía 060515146-3, bajo la tutoría Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés MsC; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 5 de mayo del 2023.

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO

Ing. Cristian Andres Marcillo Zapata
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Three blue ink signatures are written on three horizontal lines. The top signature is the most legible, appearing to be 'C. Saldaña'. The middle signature is more stylized and less legible. The bottom signature is also stylized and less legible.

CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **PAGUAY CASCO ANGEL ALBERTO** con CC: **060495327-3** y **SÁNCHEZ SALAZAR JILMAR ANDRÉS** con CC: **060515146-3** estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EXPOSICIÓN POR SULFATOS EN EL SUELO A LOS ELEMENTOS SUPERFICIALES DE HORMIGÓN DE VIVIENDAS DEL CANTÓN PENIPE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", cumple con el 7%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de abril de 2023

Ing. Andrea Zárate
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

El presente trabajo proyecto de investigación se lo dedico con mi corazón y alma a mi Dios padre creador todopoderoso, quien me ayuda a comprender y sobrellevar cada una de sus pruebas y nunca me ha dejado solo, a mis padres quien con sus consejos y apoyo han cimentado en mis valores cultivados, a mis hermanos que con su ejemplo han sido guía y fortaleza en mi vida, sin dejar de lado a mis amigos, que me han motivado, fortalecido e inspirado en esta etapa de vida. También a quienes han guiado mi camino enseñándome principios, valores, perseverancia y empeño, lo que me ha llevado a convertirme en la persona que soy.

Finalmente a quienes me han brindado la oportunidad de crecer más allá de las enseñanzas que la universidad prepara.

Angel A. Paguay C.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento fraterno a la primera escuela de vida y que con su ejemplo intachable han enfocado cada aspecto de mi formación profesional, -mi familia-, a mi madre Lida por ser mi pilar de apoyo y fortaleza, a mi padre Luis como ejemplo de lucha y fuerza, a mi hermana Mónica por orientarme con sus conocimientos y ayuda desde mis inicios escolares, brindándome todo el amor, que solo una madre podría dar, a mi hermano Luis que siempre me aconseja con su sabiduría, mi hermano Juan quien siempre está conmigo cuando me desplomo para restablecerme, a mis queridos sobrinos Michelle, Luis, Cynthia, Alex, Mickaela, de quienes aprendo mucho cada día y sin los cuales no concebiría mi vida. A mi compañero de Tesis Jilmar por completar conmigo un equipo de conocimiento que trascenderá toda presunción y frontera, a mi segunda familia con quienes compartí gran parte de mis días, -mis amigos-, Jefferson, Valeria, Sebastián, Karen, Jennifer, Noella, Marlon, Alex, Pedro y Juan, cuya amistad más allá del tiempo que me dedicaron, demostraron ser un apoyo fundamental en mi formación académica, en momentos inciertos; personas que nunca olvidaré y llevaré en mi corazón.

A nuestra tutora de tesis Ing. Andrea Zarate, quien con su preparación profesional y guía ayudó a consolidar este proyecto, a todos los docentes que impartieron conocimientos fundamentales para encaminar mi intelecto y lograr que en mi se desarrolle el cariño y entrega a esta encantadora carrera. Finalmente a mis futuros colegas profesionales Roberto, Monserrate quienes me apoyaron para complementar y desarrollar habilidades que me ayudarán a mejorar cada día.

Angel A. Paguay C.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico con mucho afecto al todo poderoso, quien me acompaña y me levanta de mis errores y tropiezos continuos, a mis padres y todas las personas que amo, que me han motivado, fortalecido e inspirado en este largo trayecto. También a quienes han guiado mi camino enseñándome principios, valores, perseverancia y empeño, lo que me ha llevado a convertir en la persona que soy en la actualidad.

Y por último a todas esas personas maravillosas que estuvieron, que están y que estarán formando parte de este efímero momento llamado vida.

Jilmar A. Sánchez S.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido a quienes constituyen los cimientos de mi desarrollo personal y profesional, -mi familia-, a mi padre Leonardo por ser mi ejemplo a seguir, destinarme tiempo y brindarme aportes que me servirán para toda mi vida, a mi bella y amorosa madre Sandrita por su paciencia, brindarme apoyo y consejos para seguir adelante, a mis hermanos Leonardo y Said por ser mis confidentes y darme la motivación necesaria para continuar en todo momento.

A todos los docentes que impartieron conocimientos fundamentales para orientar y fortalecer mi intelecto y así alcanzar el afecto y reconocimiento a esta carrera. Finalmente a mis amigos de toda la vida, personas especiales que han sido y serán parte de mí y me han apoyado en mi trayecto de convertirme en un hombre realizado.

Jilmar A. Sánchez S.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Planteamiento del Problema	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Hormigón	19
2.2. Estructuras superficiales de Hormigón	19
2.3. Patologías del hormigón	19
2.4. Ataque químico del Ion Sulfato	19
2.5. Estado natural de Sulfatos.....	19
2.6. Reacción química por sulfatos	19
2.7. Efecto del ataque por sulfatos al hormigón.....	19
2.7.1. Formación de Sulfoaluminato de Calcio (Etringita).....	20
2.7.2. Formación de Sulfato de Calcio (Yeso)	20
2.8. Niveles de exposición por sulfatos	20
2.9. Degradación química del hormigón.....	21
2.10. Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).22	
2.11. Sistema de información geográfica (SIG).....	23
2.12. Delimitación del área de estudio	23
2.12.1. Mapas de Suelo tipo “Área-polígono”	23
2.12.2. Levantamiento Tipo Grilla	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Tipo de investigación.....	24
3.2. Enfoque de la investigación	24
3.3. Pregunta de investigación	24
3.4. Hipótesis	24
3.5. Variables	24
3.5.1. Variable independiente	24
3.6. Población y muestra.....	24
3.7. Técnicas de recolección de datos.....	25
3.7.1. Obtención de muestras.....	25

3.7.2.	Método de prueba estándar para sulfato soluble en agua en suelo	26
3.8.	Método de Análisis e interpretación de las muestras	26
3.8.1.	Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2014), (ASTM C-136, 2015)	26
3.8.2.	Concentración de Sulfatos (Tex-145-E, 2005), (ASTM C1580-20, 2020) ..	27
3.9.	Diseño experimental	28
3.9.1.	Descripción de materiales.....	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1.	Resultados	31
4.1.1.	Ensayo de Granulometría (SUCS).....	31
4.1.2.	Concentración de Sulfatos	31
4.1.3.	Tabla de Resultados.....	32
4.1.4.	Delimitación del mapa “Área-Poligono”	52
4.1.5.	Mapa de Zonificación a la exposición de sulfatos y tipos de suelos según la (SUCS) 53	
4.1.6.	Comparación de Normativas	54
4.1.7.	Estados de las viviendas del cantón Penipe	57
4.2.	DISCUSIÓN	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		60
5.1.	Conclusiones	60
5.2.	Recomendaciones	60
BIBLIOGRAFÍA		62
ANEXOS		64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Ecuatoriana.	20
Tabla 2: Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma ACI American Concrete Institute.	21
Tabla 3: Valores y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Británica.	21
Tabla 4: Valores Límites para las clases de exposición de ataques químicos por sulfatos, Norma Alemana.	21
Tabla 5: Mecanismos de transporte de materia en el hormigón.	22
Tabla 6: Arenas 50% o más de la fracción mayor al tamiz 200 pasa el tamiz 4.	22
Tabla 7: Tipos de Tamices	26
Tabla 8: Herramientas para obtención de muestras.	29
Tabla 9: Materiales para ensayo de Sulfatos.	29
Tabla 10: Parroquias y numero de muestra tomadas del cantón Penipe	32
Tabla 11: Severidad y condición de sulfatos establecidas por la NEC	32
Tabla 12: Matriz de resultados	33
Tabla 13: Comparación de severidad entre normativas.	54
Tabla 14: Estado de las viviendas del cantón Penipe.	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Flujo de trabajo.....	28
Ilustración 2: Concentración de sulfatos según el tipo de suelos	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del cantón Penipe de ArcGIS.....	25
Figura 2: Localización de muestras en Google Earth.	25
Figura 3: Mapa de localización de muestras.	52
Figura 4: Mapa de zonificación de exposición por sulfatos.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo Fotográfico 1.- Muestras con presencia de patologías a causa de Sulfatos (SO ₄) .	64
--	----

RESUMEN

Las cimentaciones de hormigón se encuentran en permanente contacto con el suelo quedando expuestas a diferentes agentes ambientales y ataques químicos de sales o sulfatos, mismos que dan origen a patologías como agrietamiento y pérdida de resistencia, que producen fallas estructurales a largo plazo.

Esta investigación de tipo no experimental con enfoque cuantitativo tiene como objetivo analizar la exposición de elementos superficiales al ataque químico de sulfatos (SO_4), en función a su concentración en el suelo del cantón Penipe en la provincia de Chimborazo. Para ello se realizó ensayos de laboratorio a 50 especímenes localizados mediante levantamiento tipo grilla con el uso de Sistemas de Información Geográfico (SIG), aplicando procedimientos de ensayos en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la American Society for Testing and Materials (ASTM C1580-20) para determinar la concentración de sulfatos en las muestras recolectadas.

De acuerdo con la clasificación (SUCS), el cantón Penipe se encuentra conformado por suelos finos y gruesos teniendo entre sus grupos: arenas limosas (SM), limos de baja plasticidad (ML), arenas arcillosas (SC) y limos orgánicos (OL). La mayor concentración de sulfatos en base a los rangos establecidos por la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) se encuentran entre: S1 o Moderada (42 muestras) y S2 o Severa (8 muestras) en zonas relacionadas con el sector agrícola o cercanas a nevados y volcanes, con elevados valores de humedad natural, nivel freático o precipitación anual alta.

Se puede evidenciar la severidad de la concentración de sulfatos en el mapa de zonificación del cantón, que permitirá al sector de la construcción la facilidad de prevención y protección a futuros proyectos civiles.

Palabras claves: Cimentaciones Superficiales, SUCS, sulfatos, ASTM, patologías estructurales.

ABSTRACT

Concrete foundations are in permanent contact with the soil, exposed to different environmental agents and chemical attacks of salts or sulfates, which give rise to pathologies such as cracking and loss of strength, leading to long-term structural failures. This non-experimental research with a quantitative approach aims to analyze the exposure of surface elements to chemical attack of sulfates (SO₄), according to their concentration in the soil of the Penipe canton in the province of Chimborazo. For this purpose, laboratory tests were carried out on 50 specimens located using a grid-type survey with the use of Geographic Information Systems (GIS), applying test procedures based on the Unified Soil Classification System (USCS) and the American Society for Testing and Materials (ASTM C1580-20) to determine the concentration of sulfates in the collected samples. According to the USCS classification, the Penipe canton is made up of fine and coarse soils with the following groups: silty sands (SM), low plasticity silts (ML), clayey sands (SC), and organic silts (OL). The highest concentration of sulfates based on the ranges established by the ECS (Ecuadorian Construction Standard) is between S1 or Moderate (42 samples) and S2 or Severe (8 samples) in areas related to the agricultural sector or near snow-capped mountains and volcanoes high values of natural humidity, water table or high annual rainfall. The severity of the sulfate concentration can be seen in the zoning map of the canton, which will allow the construction sector to prevent and protect future civil projects efficiently.

Keywords: Surface Foundations, USCS, sulfates, ASTM, structural pathology.



Creando electrónicamente por:
HUGO HERNAN ROMERO
ROJAS

Reviewed by:
Mgs. Hugo Romero
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603156258

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

El cantón Penipe ubicado al noroeste de la provincia de Chimborazo perteneciente a la sierra ecuatoriana, se encuentra a 22 km de la capital de la provincia Riobamba, posee una superficie aproximada de 386 km² y está situado entre los 2160 en zonas bajas y a los 5424 msnm en el nevado el Altar (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Penipe, 2016). Sus límites son: Norte, los cantones San Pedro de Pelileo y Baños de Agua Santa; Sur, cantón Riobamba; Este, cantón Palora; y, Oeste, el Rio Chambo.

Con fecha de fundación 9 de febrero de 1984, Penipe es un cantón en desarrollo que se encuentra en constante cambio, renovando y construyendo viviendas, edificios, centros de salud, centros de educación, centros turísticos para el progreso tanto económico y social del mismo. Estas edificaciones deben garantizar la seguridad y bienestar de los usuarios y es necesario que todas las estructuras cuenten con una cimentación (subestructura) ubicada debajo de la superficie del terreno que transmita de manera adecuada las cargas al suelo o roca subyacentes (Nilson & Darwin, 2007).

De acuerdo con (GADM Cantón Penipe, 2016) el suelo del cantón está compuesto por: granito, arena, ceniza del volcán Tungurahua, arcilla, depósito coluvial, sedimentos del río Chambo y volcánicos del Altar.

La cobertura de suelo en la zona urbana destinada para asentamientos humanos, según el (GADM Cantón Penipe, 2016) es de aproximadamente 2226 viviendas de las cuales 365 (16%) se encuentran en la parroquia Bayushig; 66 (3%) en la parroquia Bilbao; 375 (17%) en la parroquia El Altar; 128 (6%) en la parroquia La Candelaria; 324 (15%) en la parroquia Matus; 758 (34%) en la parroquia Penipe; y 210 (9%) en la parroquia Puela, donde a pesar de la presencia de viviendas construidas con materiales como: asbesto, zinc, teja, palma, paja u hoja, el material que predomina es el hormigón armado.

El hormigón es el material de construcción más utilizado en el campo de la Ingeniería Civil, siendo destinado a la construcción de edificios, carreteras y represas debido a sus propiedades físico-mecánicas, durabilidad y costo (Ulusu et al., 2016). La durabilidad del concreto depende de los materiales utilizados, el diseño de la mezcla, su ejecución en obra, el curado realizado y el grado de agresividad del ambiente, el cual depende de parámetros tales como la humedad relativa, la temperatura y contaminantes, ya que trabajado in situ este material se torna vulnerable a factores externos que pueden ocasionar un desgaste prematuro.

Uno de los factores más comunes es el ataque químico por sales y sulfatos, responsables del deterioro en el desempeño del concreto por agentes ambientales (Liao et al., 2020). El sulfato es una sustancia agresiva que se presenta de distintas formas dependiendo del ambiente atmosférico, siendo por acumulación de iones en aguas subterráneas y suelos (Jiménez & Lozano, 2018).

Este es producto de una reacción química entre una base (álcali) y del (ácido sulfúrico) o por reacción del ácido sulfúrico con algún metal, también reacciona con el compuesto aluminato presente en el cemento Portland hidratado, originando etringita y en menor medida yeso, siendo ambos compuestos expansivos.

Traversa & Zaccardi, (2010) menciona que la presencia de sulfatos lleva a un deterioro y degradación del hormigón, sea este: compacto, sufriendo un desgaste superficial o poroso, generando en toda la masa ablandamiento y reducción de resistencia.

Por lo expuesto se plantea caracterizar y clasificar según el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (SUCS) y la norma ASTM C1580-20, 54 especímenes de suelo pertenecientes al cantón Penipe, establecidos en Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de analizar la exposición de sulfatos a los elementos superficiales del cantón, mediante ensayos de laboratorio que permitan determinar la severidad respecto a la concentración de Sulfatos (SO_4), plasmando los resultados en un mapa de zonificación del cantón para la prevención y protección de ataques químicos en futuras obras, edificaciones y viviendas que se construyan, a fin de garantizar su vida útil, desempeño y la seguridad de los usuarios.

1.1 Planteamiento del Problema

Partiendo de un estudio observacional en las áreas habitadas del cantón Penipe y sus parroquias, se identificó patologías y deterioros en el material hormigón, tales como: humedad, desprendimiento y disgregación, identificados en las bases o cimentaciones y fachadas de las diferentes viviendas pertenecientes a los moradores Penipeños.

Los estudios realizados por (Duque et al., 2015) exponen que el cantón Penipe cuenta con una variedad de suelos debido a su ubicación montañosa y en ladera, además de la presencia del volcán Tungurahua y el nevado El Altar, que aportan una cobertura de ceniza y otros minerales, además que en la parte central se destacan zonas permeables que conducen agua a partir de los 10 a 15 metros de profundidad y con niveles freáticos con poca profundidad con respecto a la superficie, a más de acuíferos contenidos por rocas que tienden a ser impermeables, se nota también presencia de areniscas arcillosas, lavas y esquistos arcillosos (GADM Catón Penipe, 2016).

La presencia de iones de sulfato en el suelo o disueltas en agua, presentan un riesgo a la subestructura (Jiang et al., 2021). Los ataques de sulfatos son un conjunto de procesos químicos y físicos en consecuencia a dos reacciones: La primera con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) que actúa durante la hidratación del cemento, y la segunda con los compuestos hidratados que provienen del aluminato tricálcico (C_3A) perteneciente al mismo cemento Portland (Platt Gálvez & Gloria Alma, 2016).

Como resultado de la primera reacción resulta sulfato de calcio (yeso) y de la segunda reacción se obtiene sulfoaluminato de calcio (etringita). Con la formación de estos

compuestos se obtiene más del doble de la suma de los volúmenes sólidos de los compuestos, dicho aumento de volumen al no poder acomodarse entre los poros del concreto origina esfuerzos internos de tensión que provoca microfisuras y desintegración periódica (Platt Gálvez & Gloria Alma, 2016), afectando la resistencia de la subestructura y el desempeño del material.

Por lo mencionado se plantea realizar la recolección y muestreo de especímenes de suelo del cantón Penipe, para analizar el tipo de suelo y si este posee un alto contenido de Sulfatos (SO_4) comprometiendo proyectos y construcciones futuras haciendo que la misma falle o colapse al no cumplir los requerimientos de limitar asentamientos y la resistencia a condiciones de agentes agresivos (Nilson & Darwin, 2007).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la exposición por sulfatos de los elementos superficiales de hormigón en el suelo de las viviendas del cantón Penipe, provincia de Chimborazo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Clasificar el suelo del cantón Penipe según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Medir la concentración de SO_4 (sulfatos) en el suelo del cantón Penipe mediante ensayos de laboratorio.
- Establecer la zonificación por severidad ante ataque químico de Sulfatos (SO_4) de las cimentaciones pertenecientes a viviendas del cantón Penipe.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Hormigón

El hormigón es un material formado por agregados y pasta de cemento portland, debido a sus características como resistencia a la compresión, durabilidad e impermeabilidad se utiliza para fines constructivos o para cubrir superficies (Traversa & Zaccardi, 2010).

2.2. Estructuras superficiales de Hormigón

Una estructura superficial de hormigón hace referencia a elementos que reposan sobre capas de suelo poco profundas, distribuyendo las cargas alrededor de la superficie (Montoya & Pinto Francisco, 2010). Este tipo de cimentaciones superficiales, directas o poco profundas se caracterizan por tener suficiente capacidad portante y se construyen sobre capas de poca profundidad (1,5 m) (Varón Jiménez et al., 2020).

2.3. Patologías del hormigón

El hormigón es considerado el material más usado en aplicaciones de construcción e ingeniería civil debido a sus propiedades como durabilidad, resistencia y economía (Ulusu et al., 2016). Siendo el hormigón armado una de las técnicas más eficientes para construir cualquier tipo de proyecto, la mezcla de hormigón y acero de refuerzo es propensa a varios agentes externos agresivos que afectan su composición (Francisco & Mayorga, 2022).

Como menciona Francisco & Mayorga, (2022): “Dicha exposición puede generar una patología que reducirá la vida útil del material”, entre las principales patologías que pueden afectar al hormigón armado tenemos:

- Carbonatación
- Formación de fisuras en el hormigón armado
- Ataque del ion sulfato
- Aluminosis
- Erosión
- Reacción árido-álcali

2.4. Ataque químico del Ion Sulfato

La patología por ataque químico de ion sulfato como agente externo ocurre por la interacción físico/química entre los minerales presentes en la pasta del cemento Portland y los iones de sulfatos contenidas de forma natural en el agua o suelo (Torres Janneth et al., 2008).

Los iones de sulfato reaccionan con el compuesto del cemento Portland hidratado (aluminato), originando etringita y yeso en menor cantidad provocando fisuras y fracturas en las capas internas y externas del hormigón (Traversa & Zaccardi, 2010).

2.5. Estado natural de Sulfatos

Los sulfatos son sustancias agresivas que de origen natural se puede encontrar en suelos orgánicos, arcillosos, con turbas y en aguas freáticas de los mismos que pueden originar sales sulfatadas (Londoño Elizabeth, 2022). En forma de sales los sulfatos más agresivos son:

- Sulfato de sodio ($NaSO_4$)
- Sulfato de calcio ($CaSO_4$)
- Sulfato de amonio (NH_4SO_4)
- Sulfato de magnesio ($MgSO_4$)

El agua de mar es otra fuente natural donde se presentan sulfatos y otros compuestos agresivos para el concreto (Londoño Elizabeth, 2022). Entre las sales disueltas en el agua de mar están:

- Cloruro de magnesio ($MgCl_2$)
- Cloruro de sodio ($NaCl$)
- Sulfato de calcio ($CaSO_4$)

2.6. Reacción química por sulfatos

La reacción química por sulfatos se origina de la interacción de una base (sustancia que reacciona con ácidos) y del ácido sulfúrico (H_2SO_4). Estos están constituidos por un anión (carga negativa) que en la mayoría de los casos posee un átomo de azufre y cuatro de oxígeno (SO_4) y un catión (carga positiva) que dependiendo de este se puede formar varios sulfatos (Francisco & Mayorga, 2022).

Las reacciones producidas en el ataque del concreto por sulfatos son dos:

- Reacción de iones sulfato con hidróxido de calcio liberados durante la hidratación del cemento obteniendo sulfatos de calcio (yeso).
- Reacción de iones sulfato de calcio con aluminato hidratado obteniendo sulfato de calcio (etringita) (Londoño Elizabeth, 2022).

2.7. Efecto del ataque por sulfatos al hormigón

El ataque químico por sulfatos es de mayor afectación en hormigones porosos ya que el efecto que ocasiona al contacto con el suelo y con los iones de sulfato causa daño en toda la masa causando ablandamiento y desintegración (Traversa & Zaccardi, 2010).

Sea cual sea el mecanismo de ingreso puede penetrar el hormigón y su posterior evaporación deposita iones de sulfato en los espacios, empeorando el caso si el material está expuesto a periodos de mojado y secado recurrente (Traversa & Zaccardi, 2010).

El aumento de volumen de los cristales llega a ocupar los espacios porosos del hormigón desarrollando presiones suficientes para producir desintegración de la masa a causa de la expansión y reducción de resistencia (Traversa & Zaccardi, 2010).

2.7.1. Formación de Sulfoaluminato de Calcio (Etringita)

La formación de la etringita resulta de la reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, obteniendo sulfato aluminato de calcio, trisulfato 32 hidratado ($CAO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) o etringita, la misma puede generar un aumento de volumen sólido causando reducción de la resistencia, fisuración y expansión del material (Francisco & Mayorga, 2022).

2.7.2. Formación de Sulfato de Calcio (Yeso)

Los iones de sulfato al entrar en contacto con partículas de hidróxido de calcio liberados durante la hidratación del cemento producen ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) o sulfato de calcio dihidratado, provocando ablandamiento y pérdida de resistencia (Francisco & Mayorga, 2022).

2.8. Niveles de exposición por sulfatos

El nivel de exposición por ataque químico de sulfato sobre el concreto depende del ambiente atmosférico al que está expuesto, ya que estos agentes agresivos afectan directamente a la pasta ocasionando daños significativos en el hormigón y su resistencia.

Diferentes normativas como: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), American Concrete Institute (ACI), British Standards Institution (BSI) y Deustcher Industrie Normen (DIN) establecen la agresividad y el nivel de severidad de las diferentes concentraciones de sulfatos en agua y suelo (Platt Gálvez & Gloria Alma, 2016).

Siendo la NEC-SE-HM la norma vigente en la zona de estudio, esta plantea los siguientes valores de severidad y rangos para su debida categorización:

Tabla 1: Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Ecuatoriana.

Categorías	Severidad	Clase	Condición	
			Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en masa	Sulfato (SO ₄) disuelto en agua, ppm
S Sulfato	No aplicable	S0	$SO_4 \leq 0.1$	$SO_4 < 150$
	Moderado	S1	$0.1 \leq SO_4 < 0.2$	$150 \leq SO_4 < 1500$
	Severa	S2	$0.2 \leq SO_4 < 2.0$	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Muy severa	S3	$SO_4 > 2.0$	$SO_4 > 10000$

Fuente: (NEC-SE-HM, 2015).

Tabla 2: Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma ACI American Concrete Institute.

Severidad de la potencial exposición	Sulfato soluble en agua (SO ₄)	Sulfatos (SO ₄) en agua, ppm	a/c en masa, máx
Exposición Clase 0	0.00 a 0.10	0 a 150	Ningún requisito especial
Exposición Clase 1	> 0.10 y < 0.20	> 150 a < 1500	0.5
Exposición Clase 2	0.2 a < 0.2	1500 a < 10000	0.45
Exposición Clase 3	≥ 0.2	≥ 10000	0.4
Exposición al agua de mar			Ver sección 2.4, ACI 201

Fuente: (ACI 201, 2012).

Tabla 3: Valores y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Británica.

Características químicas	Método de referencia	Entorno químico Ligeramente agresivo	Entorno químico Moderadamente agresivo	Entorno químico Altamente agresivo
Disueltas subterráneas				
SO ₄ mg/l	EN 196-2	≥200 y ≤ 600	>600 y ≤3000	>3000 y ≤6000
Suelo				
SO ₄ mg/kg	EN 196-2	≥2000 y ≤3000	3000 y ≤12000	>12000 y ≤24000

Fuente: (BSI, 2013).

Tabla 4: Valores Límites para las clases de exposición de ataques químicos por sulfatos, Norma Alemana.

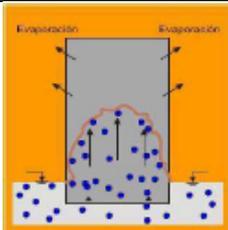
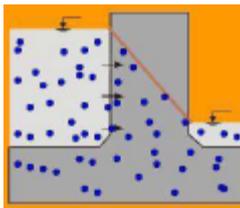
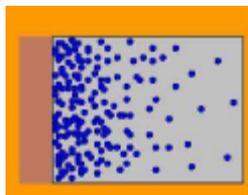
Características químicas	Método de referencia	XA1	XA2	XA3
Disueltas subterráneas				
SO ₄ mg/l	DIN EN 196-2	≥200 y ≤ 600	>600 y ≤3000	>3000 y ≤6000
Suelo				
SO ₄ mg/kg	DIN EN 196-2	≥2000 y ≤3000	3000 y ≤12000	>12000 y ≤24000

Fuente: (DIN 4030-1, 2008).

2.9. Degradación química del hormigón

La degradación química del hormigón se genera en dos fases conocidas como Periodo de Iniciación y Periodo de Programación, en la primera fase se considera el tiempo que tardan en ponerse en contacto las sustancias agresivas y reactivas dependiendo de la estructura interna del hormigón, además de conectividad entre los mismos y su diámetro, tomando en cuenta la cantidad de poros, esta fase se desarrolla gradualmente hasta que la sustancia se ha dispersado dentro del material; mientras que durante la programación se produce reacciones que alteran el desempeño de material, la seguridad, funcionalidad, además de la estética de la estructura, afectando internamente la resistencia y durabilidad del material, respectivamente (Traversa & Villagrán-Zaccardi, 2010).

Tabla 5: Mecanismos de transporte de materia en el hormigón.

Mecanismo de transporte circulación	Imagen	Descripción
Capilaridad	 <p>Diagrama que muestra un tubo capilar dentro de un medio poroso (hormigón). Se indican flechas de 'Evaporación' en la parte superior y 'Condensación' en la parte inferior, con una línea roja que representa el menisco del agua que asciende por capilaridad.</p>	Transporte inducido por la energía (tensión superficial) del agua actuando sobre los capilares del hormigón.
Permeabilidad	 <p>Diagrama que muestra un fluido (partículas azules) fluyendo a través de un medio poroso (hormigón) debido a una diferencia de presión aplicada.</p>	Fluidos sometidos a una presión
Difusión	 <p>Diagrama que muestra partículas azules moviéndose desde una zona de alta concentración hacia una zona de baja concentración a través de un medio poroso (hormigón).</p>	Diferencia de concentraciones

Fuente: (Traversa & Villagrán-Zaccardi, 2010).

2.10. Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

El “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”, es un ensayo que consiste en pasar una muestra representativa a través de mallas con diferentes aberturas, mediante dicho ensayo se puede clasificar las muestras para determinar el tamaño de sus partículas (Castillo & Citlaly, 2020).

Esta clasificación divide a los suelos en gruesos y finos, siendo los suelos gruesos: gravas (G) y arenas (S) que se separan con el tamiz N°4, siendo considerado grava si más del 50% retiene el tamiz N°4 y caso contrario sería catalogada arena (Geoxnet, 2019).

Se considera suelos finos a los grupos: Limos orgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O), los que a su vez se dividen según su límite líquido considerando que si es menor del 50% se agrega la letra L (Low compressibility) y si es mayor se agrega la letra H (High Compressibility) (Geoxnet, 2019).

Tabla 6: Arenas 50% o más de la fracción mayor al tamiz 200 pasa el tamiz 4.

Descripción General	Símbolo	Denominación
Arena con menos del 5% de finos	SP	Arena mal gradada
Arena con 5% - 12% de finos limosos	SP-SM	Arena mal gradada con finos limosos

Arena con más de 12% de finos	SM	Arena Limosa
Arenas muy finas, polvo de roca	ML	Limo Baja Plasticidad
Mezclas arena – arcilla	SC	Arena Arcillosa
Arcilla limosa orgánica de baja plasticidad	OL	Orgánico de baja Plasticidad

Fuente: (ASTM D2487, 2011).

2.11. Sistema de información geográfica (SIG)

SIG o Sistema de información geográfica es un conjunto de softwares, datos geográficos y sistemas organizados para almacenar, analizar y representar todo tipo de información con referencia territorial ya que es una base de datos espacial que permite compartir información geográfica pertinente, el más común es el software ArcGIS (Puerta et al., 2011).

2.12. Delimitación del área de estudio

2.12.1. Mapas de Suelo tipo “Área-polígono”

Para la distribución geográfica de tipos de suelos y sus propiedades se utiliza los mapas “área-polígono”, donde el área de estudio es dividida en polígonos por un límite preciso (líneas), cada polígono es etiquetado con nombre y descrita con una leyenda, pueden ser representados por el modelo vector en un Sistema Información geográfica (SIG) (Rossiter, 2004).

2.12.2. Levantamiento Tipo Grilla

La clase de levantamiento tipo grilla consiste en un esquema de muestreo sistemático considerando el rango de autocorrelación espacial, es decir los puntos de muestreo son ubicados y caracterizados en campo. Métodos estadísticos y de laboratorio son utilizados para conocer su variabilidad y propiedades (Rossiter, 2004).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

En el capítulo III se describe el tipo de investigación y el enfoque empleado para el desarrollo del proyecto, además de plantear y definir parámetros de importancia como: hipótesis, variables, población y muestra de estudio, diseño experimental, en conjunto con las técnicas usadas en la recolección de datos y muestras, la descripción de los materiales empleados y los procesos químicos experimentales aplicados.

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación al que responde el proyecto es del tipo no experimental ya que para el caso de estudio no se controlan variables y se procede únicamente a medirlas.

3.2. Enfoque de la investigación

El proyecto de investigación responde al tipo de enfoque cuantitativo, mediante la recolección de datos podemos probar la hipótesis planteada a través de la medición, resultado de la manipulación de variables independientes en ambientes controlados.

3.3. Pregunta de investigación

¿El ataque químico por sulfatos a las cimentaciones superficiales del cantón Penipe ocasiona deterioros y patologías considerables al hormigón?

3.4. Hipótesis

La presencia de Sulfatos (SO_4) en el suelo del cantón Penipe puede afectar parámetros como: resistencia, durabilidad y desempeño del material hormigón en las cimentaciones superficiales.

3.5. Variables

3.5.1. Variable independiente

Para el caso de estudio establecido, la variable independiente corresponde al porcentaje de sulfatos SO_4 a determinar en el suelo del cantón Penipe y la caracterización física de cada muestra.

3.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente responde al nivel de severidad de cada muestra de suelo analizada, ya que varía de acuerdo con el porcentaje de sulfatos medido.

3.6. Población y muestra

Debido a que la investigación no es de tipo experimental, se planteó una población finita donde el número de muestras a ensayar está basado en la delimitación del área de estudio mediante mapas de suelo tipo “Área-polígono” y el levantamiento por grillas (Figura 1).

En base a la metodología establecida por (Yescas-Coronado et al., 2018) que menciona: con el fin de realizar un muestreo sistemático proponer una cuadrícula de (2500 x 2500 m)

con proyección UTM (Universal Transversa de Mercator), donde cada vértice de la cuadrícula constituye un sitio o punto de muestreo. teniendo así 54 muestras.

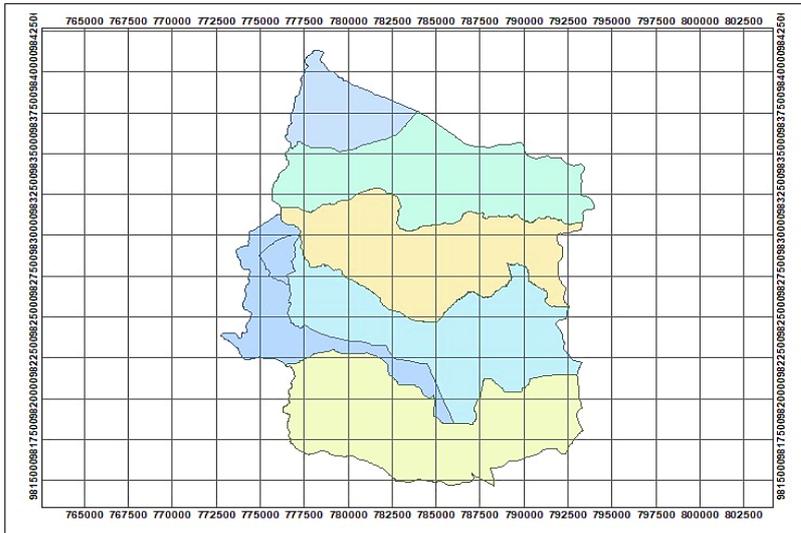


Figura 1: Mapa del cantón Penipe de ArcGIS.
Fuente: Paguay & Sanchez.

La elección final de los puntos de muestreo se definió al analizar el criterio de accesibilidad a los mismo (carreteras, senderos, terracerías), donde utilizando el Software Google Earth se definieron 50 muestras (Figura 2).

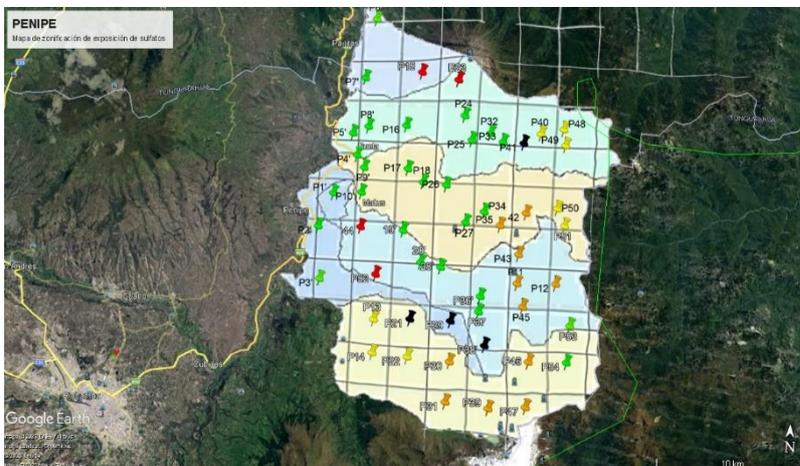


Figura 2: Localización de muestras en Google Earth.
Fuente: Paguay & Sanchez.

3.7. Técnicas de recolección de datos

3.7.1. Obtención de muestras

La recolección de especímenes deberá realizarse mediante visita in situ en la zona de estudio, empleando herramientas adecuadas como barrenas tipo “Regular barrel auger” (Barrena de cilindro hueco), pala, pico, y sustentando el proceso mediante las normas ASTM D1452 M-16 (ASTM D1452M-16, 2021); donde cada perforación deberá llegar a una profundidad de 1.5m luego de retirar la cobertura vegetal.

Posterior al muestreo de cada una, se procederá a elaborar una etiqueta de datos que contenga: Codificación de la muestra, coordenadas del lugar de extracción, caracterización física del suelo, descripción breve del lugar.

3.7.2. Método de prueba estándar para sulfato soluble en agua en suelo

Con el propósito de conocer el porcentaje de Sulfatos (SO_4) en las muestras 50 muestras obtenidas de las diferentes parroquias del cantón Penipe, se realizó un proceso de análisis químico establecido por la ASTM C1580-20.

El alcance de dicho método permite la determinación de sulfatos solubles en agua o suelo, fue desarrollado para concentraciones entre 0.02 y 3.33 % de sulfato y puede ser utilizado para determinar si las muestras de suelos poseen una alta concentración del químico provocando una reacción adversa con la mezcla de cemento y generando patologías a corto y largo plazo.

3.8. Método de Análisis e interpretación de las muestras

3.8.1. Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2014), (ASTM C-136, 2015)

Con las muestras de suelo obtenidas y aplicando el ensayo establecido en la norma ASTM C136 se determinó a qué categoría pertenecen los especímenes según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), mediante el siguiente procedimiento:

- Con las muestras de suelo se extrae una proporción aproximada a 5000 gramos, de los cuales se apartarán manualmente y se lavarán para retirar cualquier materia orgánica.
- Las diferentes muestras serán secadas en un horno adecuado para laboratorios a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.
- Seleccionar y ordenar la serie de tamices que serán utilizados, mismos que estarán libres de impurezas y materia orgánica.

Tabla 7: Tipos de Tamices

Tamices	Tamaño de Abertura (mm)
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.100
⅜"	9.5200
4	4.760
10	1.190
40	0.297
200	0.074

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

- El suelo se dispondrá a través de los tamices en orden descendente como se muestra en la Tabla 7. el tamizado del suelo seguirá lo estipulado por la norma (INEN-696, 2014).
- La masa retenida en cada uno de los tamices deberá ser pesada para obtener la suma de todo el material, no debe ser menor al 1% del peso total inicial de la muestra seca.
- Las muestras serán descritas empleando prefijos establecidos en el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (SUCS)” basado en la norma INV E-181-13.

3.8.2. Concentración de Sulfatos (Tex-145-E, 2005), (ASTM C1580-20, 2020).

Para determinar la concentración de sulfatos en las muestras de suelo obtenidas, se aplicó el ensayo de laboratorio basado en la norma ASTM C1580-20, el cual propone el siguiente procedimiento:

- Se toma una proporción de 500 gramos de cada muestra recolectada.
- El material deberá ser secado a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas en un horno para laboratorio, y de ser necesario hasta 36 horas.
- Posterior al secado del material se muele y tamiza por una malla de 0.5mm de abertura.
- Se extraen 10 gramos de muestra seca tamizada, para pesarla en una balanza analítica de legibilidad $d=0.1\text{mg}$.
- Se incorporará 40 ml de agua destilada, diluida con ácido nítrico (HNO_3) al 3%, esta mezcla debe agitarse por un periodo de una hora aproximadamente y a una temperatura de 25°C .
- La decantación se realizará dejando en reposo 30 minutos la mezcla para que las partículas con mayor densidad se decanten, luego del tiempo controlado se procede con el filtrado de la mezcla, para lo cual se usará un embudo de cristal y papel de filtro doblado simulando un matraz Erlenmeyer.
- Utilizando dos frascos de vidrio de 10 ml se filtra la solución para medir con la ayuda del espectrofotómetro la concentración de sulfatos.
- Una vez encendido el espectrofotómetro se calibra para poder utilizarlo a 450 nm con un paso de luz de 4 a 5 cm.
- En una de las muestras deberá añadirse un reactivo en base de cloruro de bario BaCl_2 , luego agitar la solución y cronometrar en un tiempo entre 5 ± 0.5 minutos.
- Para encerrar el equipo de medida, se coloca primero en la celda correspondiente del espectrofotómetro uno de los frascos sin el reactivo.
- Finalmente en el frasco de análisis se coloca la solución de cloruro de bario en el espectrofotómetro para medir la turbidez que genera las partículas del sulfato de bario BaSO_4 y las cuales serán registradas para la lectura correspondiente.

3.9. Diseño experimental

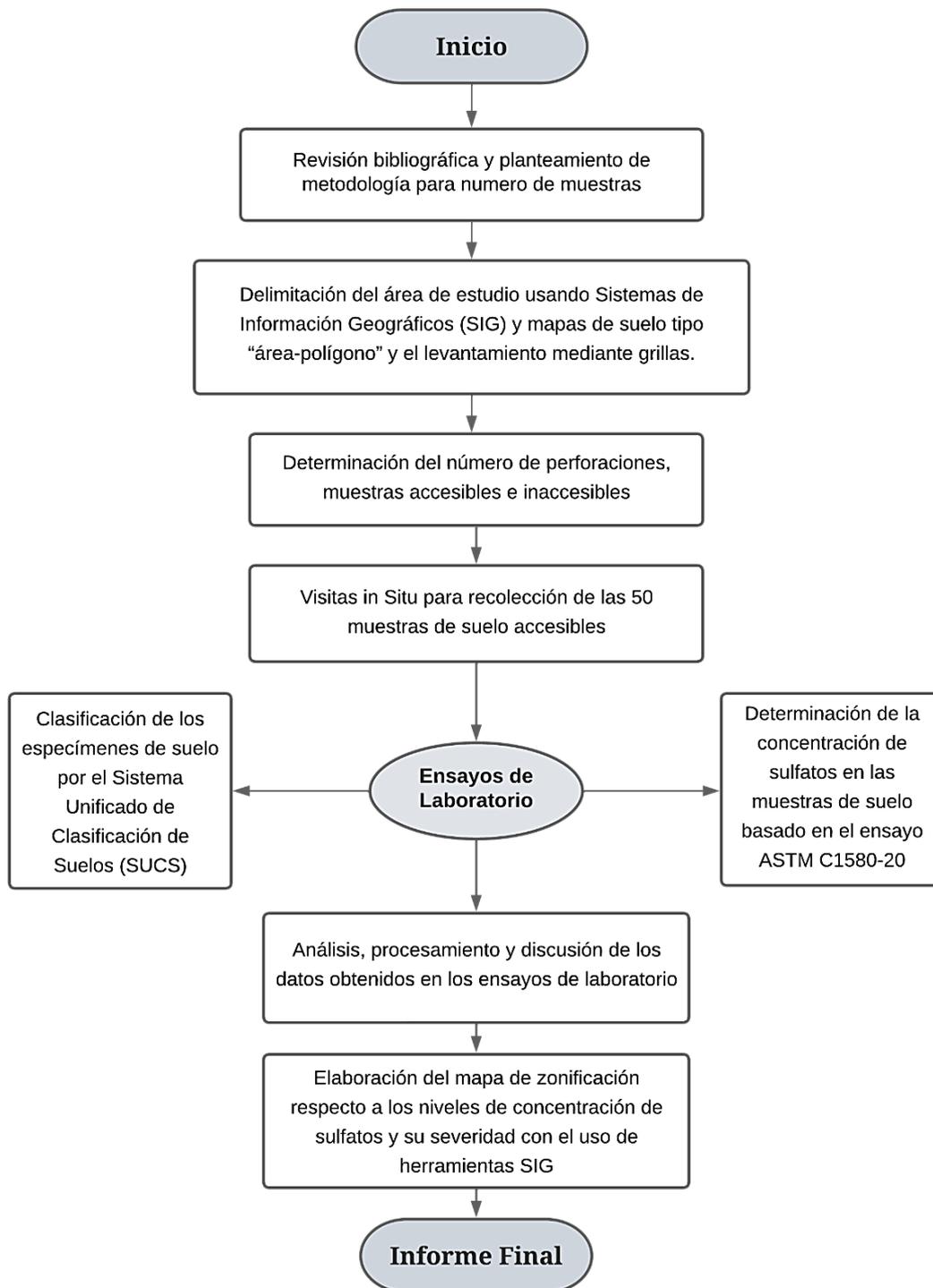


Ilustración 1: Flujo de trabajo.

Fuente: Paguay & Sanchez.

3.9.1. Descripción de materiales

Tabla 8: Herramientas para obtención de muestras

Descripción	Ilustración
<p>Barrenadora manual Herramienta usada para la excavación requerida de 1.5 a 2 metros y toma de muestra de suelo.</p>	
<p>Pico Herramienta usada para limpieza de la capa vegetal.</p>	
<p>Pala Herramienta usada en la remoción de material superficial.</p>	
<p>Fundas Ziploc Fundas herméticas para la recepción y sellado de la muestra de suelo extraída.</p>	

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

Tabla 9: Materiales para ensayo de Sulfatos.

Descripción	Ilustración
<p>Agitador Magnético Es un dispositivo electrónico que emplea un campo magnético para realizar la mezcla de manera automatizada un solvente y uno o más solutos.</p>	
<p>Espectrofotómetro Es un equipo usado en análisis de laboratorio que permite conocer las propiedades de la luz sobre la superficie de una muestra.</p>	
<p>Celdas de medición Parte del espectrofotómetro, dentro de las cuales se coloca el líquido para encerrarlo y en otra el contenido a medir.</p>	
<p>Solución acondicionadora para sulfatos / Hidróxido de sodio</p>	

Se usa como forma de acondicionamiento proporcionando un medio adecuado para que los iones de sulfato se mantengan en suspensión a la hora de lectura en el espectrofotómetro.



Recipientes

Utensilios donde se puede colocar los solutos y disolventes para cada proceso del ensayo.



Papel filtro, Vaso de precipitación, embudo de cristal

Instrumentos usados para la retención de partículas más gruesas que han sobrepasado el tamizado previo.



Cloruro de Bario

El Cloruro de bario reacciona con iones de sulfato para producir un precipitado blanco espeso de sulfato de bario.



Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

En la Tabla de resultados (Tabla 12) se da a conocer las leyendas o nombres de los puntos, las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) pertenecientes a las muestras establecidas, de dónde se extraerán los especímenes para posteriormente analizarlos en laboratorios adecuados realizando cada ensayo requerido.

En la ilustración zonal del cantón se puede identificar la localización de las 50 muestras (Figura 3), las cuales tuvieron una perforación con profundidad 1.50 m, con el fin de retirar la cobertura vegetal, escombros y elementos que pueden dificultar la obtención de resultados adecuados.

Cada muestra recolectada puede ser evidenciada con la ilustración que se muestra al final de la Tabla 12, además de las 4 muestras inaccesibles: puntos P15, P23, P44, P52, de los cuales no se pudieron obtener por falta de accesibilidad a los mismos.

4.1.1. Ensayo de Granulometría (SUCS)

Mediante el ensayo correspondiente al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) basados en la norma ASTM C136, se pudo determinar que las 50 muestras de suelo tomadas del cantón Penipe son una variedad de suelos finos y gruesos entre los que se encuentran los grupos: Arena Limosa (**SM**) con 27 muestras, Limo de baja plasticidad (**ML**) 11 muestras, Arena arcillosa (**SC**) 8 muestras, Limos orgánicos (**OL**) 4 muestras, detalladas en la Tabla 12.

4.1.2. Concentración de Sulfatos

Aplicando el ensayo para terminar la concentración de sulfatos en base a la Norma ASTM C1580-20, de las 50 muestras se obtuvo como resultado dos tipos de categorías y clases de exposición del hormigón a los sulfatos, donde en varios polígonos pertenecientes a las 7 parroquias de Penipe se encuentran niveles de Sulfatos que se encuentran entre los 150 y 1500 ppm catalogadas como Severas y zonas donde la concentración de sulfato superan los 1500 ppm siendo catalogadas como zonas Moderadas, esto acorde a los valores presentados por la normativa (NEC-SE-HM, 2015) y detalladas en la Tabla 11.

4.1.3. Tabla de Resultados

Tabla 10: Parroquias y numero de muestra tomadas del cantón Penipe

	Parroquia	N.º muestras	Color
1	Penipe	2	
2	Bayushig	1	
3	Puela	11	
4	Bilbao	2	
5	El Altar	12	
6	Matus	11	
7	La Candelaria	11	
8	Inaccesibles	4	

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

Tabla 11: Severidad y condición de sulfatos establecidas por la NEC

Severidad	Condición		Color
	Sulfato (SO4) disuelto en agua ppm		
Moderada	150	$\leq SO_4 <$ 1500	
Severa	1500	$\leq SO_4 <$ 10000	

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

Tabla 12: Matriz de resultados

Punto	Parroquia	Elevación m.s.n.m	Coordenadas UTM WGS-84		Uso de Suelo	Humedad Natural %	Simbología de grupo SUCS	Concentración total de sulfatos	Concentración total de sulfatos	NEC-SE-HM (2015) y Norma Americana (ACI 201.2R,2016)	Fotografía
			Este	Norte				mg/kg	% por masa		
P1	Bayushig	2752.1	775969.00	9828743.00	Asentamiento Humano	10.05	SM	940	0.094	Moderada	
P2	Penipe	2512.7	775056.33	9826641.52	Asentamiento Humano	15.18	SM	675	0.068	Moderada	

P3	Penipe	2700.7	775311.00	9823373.00	Agrícola	16.85	SM	2220	0.222	Severa	
P4	El Altar	2512.4	777373.00	9831203.00	Asentamiento Humano	14.68	SM	260	0.026	Moderada	
P5	Puela	2388.6	777049.00	9832566.00	Agrícola	15.10	SM	540	0.054	Moderada	

P6	Bilbao	2277.9	778276.00	9839810.00	Agrícola	12.58	SM	1636.667	0.164	Severa	
P7	Bilbao	2411.93	777709.00	9836057.00	Asentamiento Humano	16.16	SM	1076.667	0.108	Moderada	
P8	Puela	2474.7	778039.00	9833012.00	Agrícola	17.10	SM	415	0.042	Moderada	

P9	El Altar	2472.3	777865.00	9830433.00	Asentamiento Humano	16.25	SM	630	0.063	Moderada	
P10	El Altar	2563.2	777761.00	9828867.00	Asentamiento Humano	15.35	SM	220	0.022	Moderada	
P11	Matus	3529.82	787898.00	9823624.00	Agrícola	22.13	ML	390	0.039	Moderada	

P12	Matus	3535.95	790365.16	9823686.45	Agrícola	25.45	ML	1296.667	0.130	Moderada	
P13	La Candelaria	3725.1	779678.10	9820454.77	Asentamiento Humano	18.30	SC	4022.500	0.402	Severa	
P14	La Candelaria	3820.1	779442.25	9819814.30	Agrícola	20.11	SC	3007.500	0.301	Severa	

P15	BILBAO	MUESTRA INACCESIBLE									
P16	Puela	2579.8	780477.00	9833159.00	Asentamiento Humano	10.53	SM	415	0.042	Moderada	
P17	El Altar	3079.00	780691.00	9830422.00	Asentamiento Humano	15.20	SM	1236.667	0.124	Moderada	

P18	El Altar	3300.05	781685.00	9829603.00	Agrícola	16.35	SM	580	0.058	Moderada	
P19	Matus	3238.85	780540.00	9826582.00	Asentamiento Humano	15.25	SM	1753.333	0.175	Severa	
P20	Matus	3468.14	781730.00	9824674.00	Agrícola	16.10	SM	510	0.051	Moderada	

21	La Candelaria	3336.12	780599.23	9820583.31	Asentamiento Humano	13.25	OL	680	0.068	Moderada	
22	La Candelaria	3989.36	781247.35	9819683.71	Agrícola	10.25	SC	310	0.031	Moderada	
23	Puela	MUESTRA INACCESIBLE								Moderada	

24	Puela	3449.4	784124.22	9833742.78	Agrícola	25.42	SM	340	0.034	Moderada	
25	Puela	2440.0	784647.18	9832303.93	Agrícola	26.32	SM	760	0.076	Moderada	
26	El Altar	3305.03	783165.00	9829502.00	Agrícola	26.35	SM	260	0.026	Moderada	

27	El Altar	3545.06	784456.00	9827242.00	Agrícola	27.62	SM	515	0.052	Moderada	
28	Matus	3447.4	782996.00	9824442.00	Agrícola	40.42	SM	1143.333	0.114	Moderada	
29	La Candelaria	4172.36	782714.21	9820263.97	Agrícola	75.20	OL	1313.333	0.131	Moderada	

30	La Candelaria	4092.36	782831.91	9819445.92	Asentamiento Humano	23.85	ML	260	0.026	Moderada	
31	La Candelaria	4350.93	782837.08	9815660.59	Reserva Natural	24.15	ML	1566.667	0.157	Severa	
32	Puela	2870.48	785799.46	9832756.08	Agrícola	20.35	SM	200	0.020	Moderada	

33	Puela	2864.48	786641.00	9832292.00	Agrícola	17.49	SM	220	0.022	Moderada	
34	El Altar	3654.39	785598.00	9827935.00	Agrícola	33.63	SM	380	0.038	Moderada	
35	El Altar	3625.20	786640.00	9827147.00	Agrícola	28.42	ML	1163.333	0.116	Moderada	

36	Matus	3514.24	785535.00	9822784.00	Agrícola	38.54	SM	230	0.023	Moderada	
37	Matus	3507.43	785494.52	9821823.68	Agrícola	53.10	SM	1305	0.131	Moderada	
38	Matus	3535.33	785930.39	9819797.13	Agrícola	115.20	OL	993.333	0.099	Moderada	

39	La Candelaria	4458.60	785291.15	9815574.09	Reserva Natural	224.07	ML	1436.667	0.144	Moderada	
40	Puela	2924.73	789032.42	9832887.32	Agrícola	36.45	SC	240	0.024	Moderada	
41	Puela	2948.67	787970.13	9832283.29	Agrícola	50.61	OL	355	0.036	Moderada	

42	El Altar	3200.25	788315.00	9827984.00	Agrícola	49.38	ML	1393.333	0.139	Moderada	
43	Matus	3460.39	787908.00	9825420.00	Agrícola	52.20	ML	1913.333	0.191	Severa	
44	Matus	MUESTRA INACCESIBLE									

45	Matus	3454.43	788280.77	9822218.34	Agrícola	38.25	ML	1683.333	0.168	Severa	
46	La Candelaria	4289.05	787820.00	9817878.00	Agrícola	36.32	ML	1426.667	0.143	Moderada	
47	La Candelaria	4957.36	787625.63	9816024.56	Reserva Natural	228.32	ML	1493.333	0.149	Moderada	

48	Puela	2982.16	790454.00	9833218.00	Agrícola	26.12	SC	260	0.026	Moderada	
49	Puela	2995.48	790616.99	9832244.52	Agrícola	26.98	SC	345	0.035	Moderada	
50	El Altar	3198.50	790284.85	9828342.97	Agrícola	37.35	SC	1130	0.113	Moderada	

51	El Altar	3280.08	790772.37	9827291.27	Agrícola	48.32	SC	340	0.034	Moderada	
52	Matus	MUESTRA INACCESIBLE									
53	La Candelaria	3394.75	790151.23	9820297.22	Asentamiento Humano	48.35	SM	1413.333	0.141	Moderada	

54	La Candelaria	3760.89	790439.43	9818768.31	Agrícola	49.45	SM	220	0.022	Moderada	
----	---------------	---------	-----------	------------	----------	-------	----	-----	-------	----------	---

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

4.1.4. Delimitación del mapa “Área-Polígono”

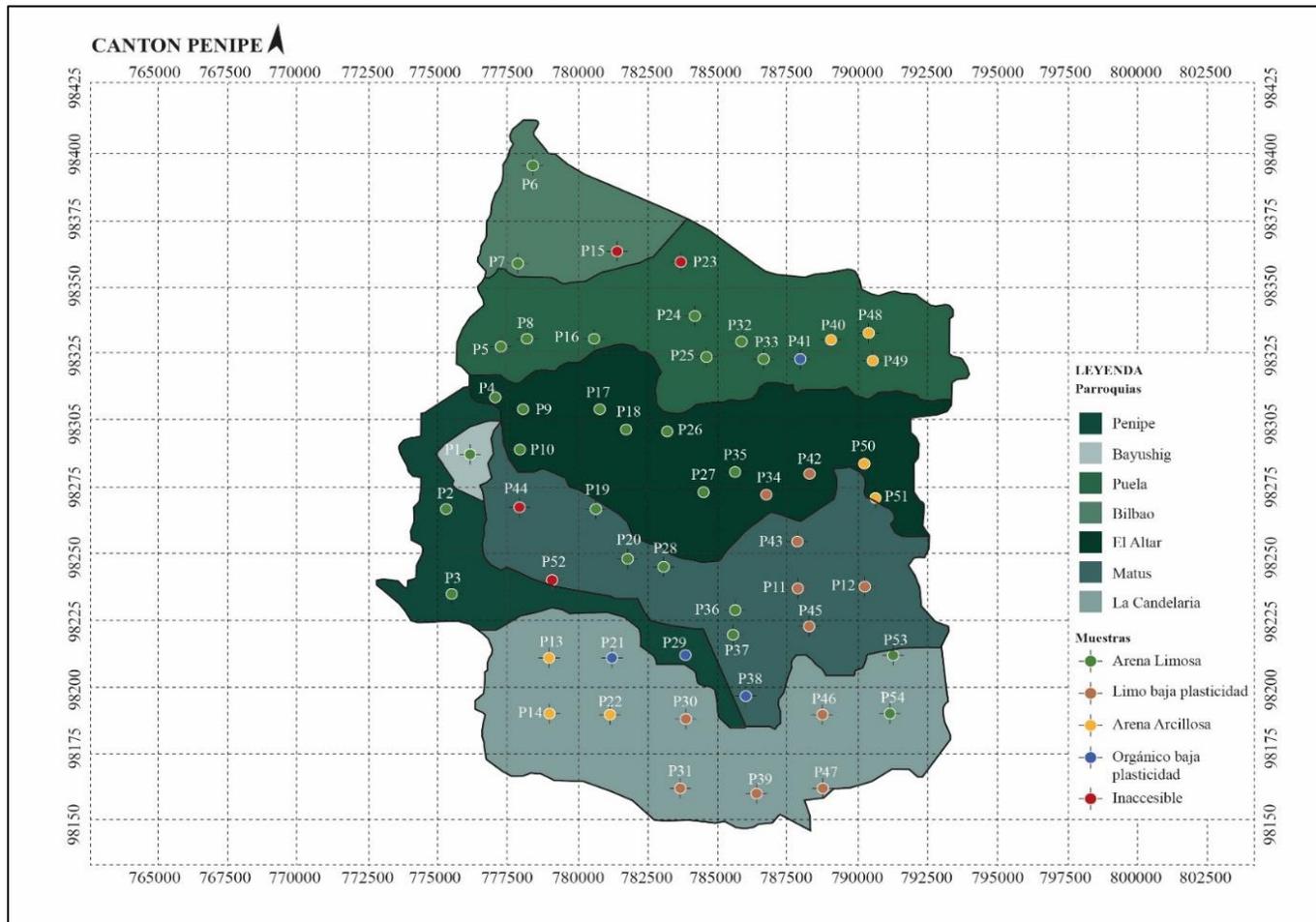


Figura 3: Mapa de localización de muestras.

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

4.1.5. Mapa de Zonificación a la exposición de sulfatos y tipos de suelos según la (SUCS)

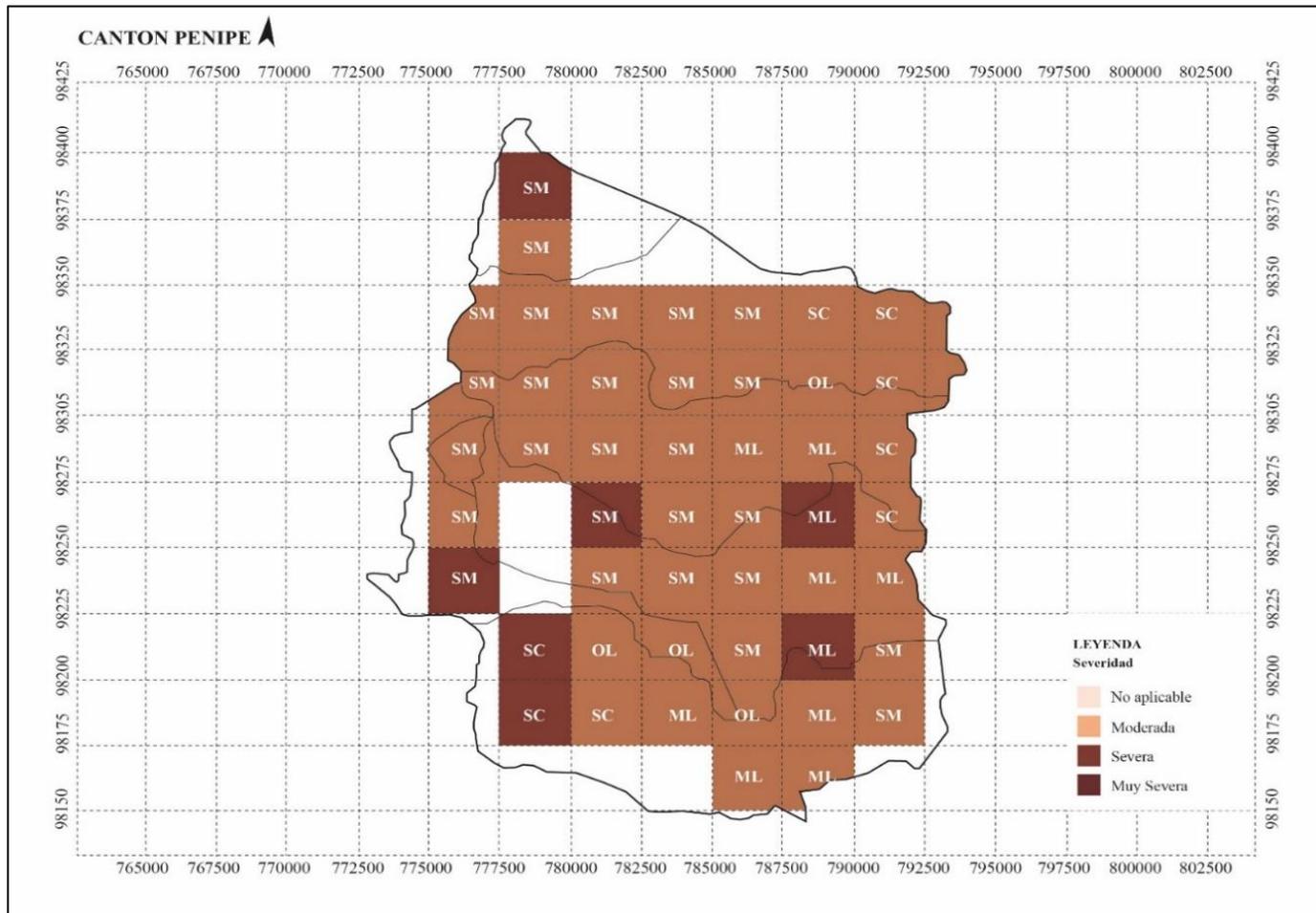


Figura 4: Mapa de zonificación de exposición por sulfatos y prefijo SUCS.

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

4.1.6. Comparación de Normativas

Para el análisis de los resultados de la concentración de sulfatos de las muestras tomadas, se presenta la siguiente tabla comparativa entre los valores obtenidos en base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y la American Concrete Institute (ACI), British Standards Institution (BSI) y Deustcher Industrie Normen (DIN) que establecen una diferente representación y rango de agresividad y de severidad de las diferentes concentraciones de sulfatos en agua y suelo (Tabla 13).

Tabla 13: Comparación de severidad entre normativas.

Punto	Concentración total de sulfatos mg/kg	Concentración de sulfatos ppm	NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)	ACI (American Concrete Institute)	BSI (British Standards Institution)	DIN (Deutsches Institut für Normung)
P1	940	0.094	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P2	675	0.068	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P3	2220	0.222	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P4	260	0.026	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P5	540	0.054	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P6	1636.667	0.164	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P7	1076.667	0.108	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P8	415	0.042	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P9	630	0.063	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P10	220	0.022	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P11	390	0.039	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P12	1296.667	0.130	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P13	4022.500	0.402	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Moderadamente agresivo	XA2
P14	3007.500	0.301	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Moderadamente agresivo	XA2
P15			Muestra Inaccesible			
P16	415	0.042	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1

P17	1236.667	0.124	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P18	580	0.058	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P19	1753.333	0.175	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P20	510	0.051	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P21	680	0.068	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P22	310	0.031	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P23			Muestra Inaccesible			
P24	340	0.034	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P25	760	0.076	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P26	260	0.026	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P27	515	0.052	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P28	1143.333	0.114	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P29	1313.333	0.131	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P30	260	0.026	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P31	1566.667	0.157	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P32	200	0.020	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P33	220	0.022	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P34	380	0.038	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P35	1163.333	0.116	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P36	230	0.023	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P37	1305	0.131	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P38	993.333	0.099	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P39	1436.667	0.144	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P40	240	0.024	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1

P41	355	0.036	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P42	1393.333	0.139	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P43	1913.333	0.191	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P44			Muestra Inaccesible			XA1
P45	1683.333	0.168	S2	Exposición Clase 2	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P46	1426.667	0.143	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P47	1493.333	0.149	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P48	260	0.026	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P49	345	0.035	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P50	1130	0.113	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P51	340	0.034	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P52			Muestra Inaccesible			
P53	1413.333	0.141	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1
P54	220	0.022	S1	Exposición Clase 1	E.Q. Ligeramente agresivo	XA1

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

De acuerdo con la tabla expuesta podemos comparar los valores obtenidos de la concentración de sulfatos con diferentes normativas, entre la NEC (Tabla 1) y ACI (Tabla 2) se obtuvieron dos clasificaciones bajo el criterio de severidad: Clase **S1** de 150 a 1500 ppm y **S2** de 1500 a 10000 ppm, y para la norma ACI Exposición **Clase 1** que va de 150 a 1500 ppm y Exposición **Clase 2** de 1500 a 10000.

La comparación realizada entre la normativa británica BSI (Tabla 3) y alemana DIN (Tabla 4), que determinan los rangos de concentración de sulfatos, se obtuvieron dos clasificaciones: **Entorno Químico Ligeramente Agresivo** de 2000 a 3000 ppm y **Entorno Químico Moderadamente Agresivo** de 3000 a 12000 ppm, y para la norma DNI XA1 que va de 2000 a 3000 ppm y XA2 de 3000 a 12000.

En la Ilustración 2 se puede evidenciar que la concentración de sulfatos es elevada en zonas con suelos tipo SC o Arenas Arcillosas como son el caso de las muestras P13 y P 14 pertenecientes a la parroquia La Candelaria, la cual es la parroquia más cercana al nevado El Altar y que posee características biofísicas y la presencia de lagos o ríos y agua subterránea proveniente del nevado que justifican la concentración de sulfatos.

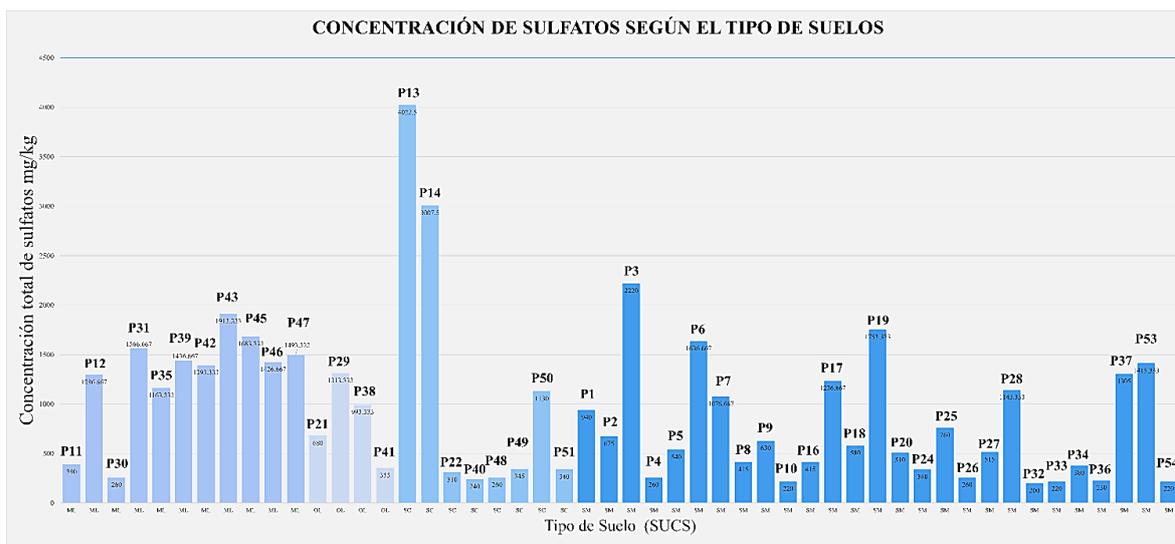


Ilustración 2: Concentración de sulfatos según el tipo de suelos
Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

4.1.7. Estados de las viviendas del cantón Penipe

De las observaciones encontradas en la recolección de muestras y los resultados de los ensayos de laboratorio respectivos, se encontraron zonas con viviendas que presentan patologías evidentes (Tabla 13) que se aprecian desde la parte inferior, base o cimentación de la estructura hasta una altura determinada en las paredes pertenecientes a las fachadas de las viviendas (Anexos 1,2,3 y 4).

Este tipo de patologías pueden afectar directamente la resistencia del material y de otros elementos estructurales como muros, los cuales mantienen un contacto directo con suelos que poseen elevada concentración de sulfatos.

Tabla 14: Estado de las viviendas del cantón Penipe.

Punto [ID]	m.s.n.m	Coordenadas UTM		Sulfatos SO ₄ (ppm)	Patología	Parroquia
		Este	Norte			
VIVIENDAS SIN PATOLOGÍAS						
P3	2700.7	775311.00	9823373.00	2220	SP	Penipe
P4	2512.4	777373.00	9831203.00	260	SP	El Altar
P9	2472.3	777865.00	9830433.00	630	SP	El Altar
P10	2563.2	777761.00	9828867.00	220	SP	El Altar
P16	2579.8	780477.00	9833159.00	415	SP	Puela
P53	3394.75	790151.23	9820297.22	1413.333	SP	La Candelaria
VIVIENDAS CON PATOLOGÍAS						
P13	2752.1	775969.00	9828743.00	940	Presencia de humedad en paredes laterales, desprendimiento del material.	La Candelaria
P17	3725.1	779678.10	9820454.77	4022.500	Agrietamiento desprendimiento del recubrimiento.	El Altar

P21	3079.00	780691.00	9830422.00	1236.667	Desprendimiento del recubrimiento, agrietamiento.	La Candelaria
P30	3238.85	780540.00	9826582.00	1753.333	Eflorescencia. Agrietamiento.	La Candelaria

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.

4.2. DISCUSIÓN

En la variedad de relieves y formaciones geológicas que se encuentran en el cantón Penipe, como menciona el GADM Catón Penipe, (2016) es un conglomerado de cenizas volcánicas, depósito coluvial (desprendimiento de macizos rocosos), lavas y tobas, sedimentos del río Chambo entre otros.

Mediante la clasificación Soil Taxonomy (Taxonomía del suelo) la cual presenta 12 órdenes, en el cantón Penipe se puede encontrar: AQUEPTS (constituido por materia orgánica), ANDEPTS (suelos arenosos, con materia orgánica de estructura granular), además pueden estar constituidos por material negro pseudo-limoso muy suave, ANDEPTS-PSAMMENTS (suelos oscuros, arenosos, de ceniza, poco granular), PSAMMENTS (suelos de ceniza arenoso media gruesa de 0.5 mm o más), FLUVENTS (granulometría arenosa irregular, arena media o gruesa en capas de agua a menos de 2 m de profundidad), ORTHENTS (suelos negros mezclado con graves y piedras volcánicas duras) (GADM Catón Penipe, 2016).

De los resultados obtenidos del ensayo de granulometría basado en el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (Tabla 12) mediante el cual se ha podido clasificar las muestras de suelo del cantón Penipe, se determinó que: de las 54 muestras el 54% (27 muestras) pertenecen a la clasificación SM o Arena Limosa, el 22% (11 muestras) son ML o Limo de Baja Plasticidad, 16% (8 muestras) son SC o Arena Arcillosa, el 8% (4 muestras) son OL u orgánicas de baja plasticidad, coincidiendo con los tipos de suelos y las características que presenta el GADM Catón Penipe, (2016) mediante la clasificación Soil Taxonomy, demostrando que el contenido de sulfatos es elevado en tipos de suelo que no drenan ni desecan fácilmente y que están expuestos a agentes biofísicos considerables.

Respecto al contenido de sulfatos y su severidad, en base a la (NEC-SE-HM, 2015) se determinó que de las 7 parroquias del cantón Penipe, todas cuentan con polígonos donde los niveles de Sulfatos se encuentran entre los 150 y 1500 ppm, siendo catalogadas como zonas Moderadas, de igual manera todas las parroquias a excepción de la parroquia Puela, cuentan con lugares donde las condiciones de sulfatos (SO_4) disueltas en suelo superan los 1500 ppm siendo zonas catalogadas como Severas, lo cual es comprensible por varios factores que presenta el cantón como: humedad natural del suelo, nivel freático del lugar, precipitación anual, temperatura y pisos climáticos.

Como se refiere (Torres & Acevedo, 2008) la salinidad del agua y la existencia de un nivel freático a poca profundidad genera niveles salinos muy altos cercanos a la superficie que dan lugar a la acumulación de iones de sulfatos y cloruros, presentándose como un

limitante en el desarrollo de la construcción y la agricultura. Estas características se pueden apreciar en muestras como la P13 Y P17 que poseen valores de 4022.50 y 3007.50 ppm respectivamente, estando localizadas en parroquias donde las precipitaciones oscilan entre 100 a 1750 mm y en zonas altas de 1750 a 2500 mm provocando una humedad relativa del 65 al 85% según GADM Catón Penipe, (2016).

El ataque químico por sulfatos en elementos estructurales de hormigón es evidenciado por presencia de yeso y/o etringita. Como lo menciona (Tulliani et al., 2002) este ataque químico puede provocar porosidad, agrietamiento y frecuentemente crecimiento de cristales de yeso en zonas cercanas a la cimentación de la estructura, ya que al estar en contacto directo con el suelo, por capilaridad afecta a elementos cercanos causando pérdida de resistencia y desprendimiento parcial o total de la pasta en la zona afectada, comprobado en la etapa de recolección de muestras donde se evidenció de manera visual en muestras como la P13 (Anexo 1), P17 (Anexo 2), P21 (Anexo 3) y P30 (Anexo 4) el desprendimiento del recubrimiento, la humedad y la exposición del acero de refuerzo a los agentes externos en el área de influencia de estos puntos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los resultados de la investigación demuestran que las 7 parroquias del cantón Penipe poseen una diversidad de factores biofísicos, que afectan su composición geológica, dando como resultado una variedad de suelos con características físicas únicas y concentraciones de sulfatos que varían su severidad entre Moderada y Severa resultando una amenaza para las estructuras de hormigón armado que es el principal material de construcción en el cantón.
- Mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo o (SUCS) se determinó que el cantón Penipe está formado por suelos finos catalogados por la carta de plasticidad como: ML o limos de baja plasticidad con un total de 11 muestras (22%), OL u orgánicos de baja plasticidad con 4 muestras (8%) y suelos gruesos: SM o arena limosa 27 muestras (54%) y SC o arena arcillosa 8 muestras (16%).
- La concentración de sulfatos obtenidas mediante el espectrofotómetro muestra que los niveles de sulfato (SO_4) en el cantón Penipe, se presentan como un riesgo moderado en 42 muestras de suelo, resultando arenas limosas o SM para el caso del 57% de las mismas, limos de baja plasticidad o ML en 19%, arenas arcillosas o SC en 14% y orgánicos de baja plasticidad u OL en 10%. Y como un riesgo severo en 8 muestras de suelos, siendo limosos de baja plasticidad ML y arenas limosas o SM en un 38% en ambos casos y en arenas arcillosas o SC en 25%, en toda la extensión del cantón.
- En base a los resultados se zonificó el cantón Penipe de acuerdo con la concentración y severidad del ataque químico por sulfatos en rangos (Severo) y (Moderado), donde las diferentes zonas presentan el tipo de suelo y el entorno químico al que se enfrentan con concentraciones más altas de SO_4 y por consiguiente la afectación y degradación del hormigón en cimentaciones.

5.2. Recomendaciones

- Ante el ataque de sulfatos en cimentaciones superficiales para cualquier rango de severidad se recomienda alternativas de cuidado y prevención por ataques químicos, conociendo el uso de cementos preferentes y alternativos con puzolana que sea apta para mejorar la resistencia al ataque de sulfatos.
- Se recomienda en proyectos que estén en inicio de construcción, aislar la cimentación con el uso de polietileno colocado en la parte inferior, aislando el material de agentes externos como humedad, sales y sulfatos, los cuales son aportes en el desarrollo de patologías.

- Previo a la construcción de cualquier proyecto en las diferentes parroquias del cantón Penipe se recomienda una actualización del estudio de suelos para conocer a fondo las características físicas y químicas que se presentan y si está expuesto a diferentes químicos que puedan afectar el desempeño del material que servirá de cimentación.
- Para controlar el deterioro por ataque químico de Sulfatos se recomienda mejorar la resistencia del hormigón produciendo una mezcla impermeable y densa, con una baja relación agua-cemento siendo vertido, compactado y curado adecuadamente y usando aditivos reductores de agua que disminuyen el ataque reduciendo la permeabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, G., & Citlaly, A. (2020). *Análisis granulométrico por mallas*. https://www.academia.edu/35178079/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos_SUCS_Pr%C3%A1ctica_4_An%C3%A1lisis_granulom%C3%A9trico_por_mallas
- Duque, J., González, S., Andrade, X., Garzón, Ó., del Val, J., Reina, J., San, M., Corderroure, S. B., Navarro, J., Pedraza, O., Piedra, L., Pibernat, A., Pérez, I., Olivos, K., Andrade, S., Avilés, L., Bordetas, A., Calle, L., Corderroure, B., ... Yaguana, J. (2015). *FISCALIZACIÓN realizada por la Asociación ACOTECNIC-INGEOMATICA*.
- Francisco, E., & Mayorga, S. (2022). *Análisis de la exposición de cimentaciones al ataque químico por sulfatos en el suelo de la parroquia de San Gerardo, Riobamba*.
- Geoxnet, E. (2019, agosto 4). *Clasificación de suelos*. Geología Publicaciones. <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Penipe. (2016a). *Datos Generales del GAD Penipe*. <https://www.dropbox.com/s/z7czvce3sqa9a24/1.%20DATOS%20GENERALES%20GAD.pdf?dl=0>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Penipe. (2016b). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Penipe - Diagnóstico asentamientos humanos*. <https://www.dropbox.com/s/b2pp0gfa8ppc2is/2.4.%20COMPONENTE%20ASENTAMIENTOS%20HUMANOS.pdf?dl=0>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Catón Penipe. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Penipe - Diagnóstico Biofísico*. <https://www.dropbox.com/s/c0io1fft2410w8q/2.1.%20COMPONENTE%20BIOFISICO.pdf?dl=0>
- Jiang, X., Mu, S., Yang, Z., Tang, J., & Li, T. (2021). Effect of temperature on durability of cement-based material to physical sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120936>
- Jiménez, K., & Lozano, H. (2018). Analisis de la influencia de sulfatos y cloruros en el deterioro de estructuras en concreto en zonas del Atlántico Colombiano. *RIUCaC*. <https://hdl.handle.net/10983/22815>
- Liao, K. X., Zhang, Y. P., Zhang, W. P., Wang, Y., & Zhang, R. L. (2020). Modeling constitutive relationship of sulfate-attacked concrete. *Construction and Building Materials*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119902>
- Londoño Elizabeth. (2022, julio 22). *Lo que debes saber sobre el ataque de sulfato en el concreto*. 360 en Concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>
- Montoya, J., & Pinto Francisco. (2010). *Cimentaciones y Fundaciones*. 0–34. <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/cimentaciones-y-fundaciones.pdf>
- NEC-SE-HM. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Estructuras de Hormigón Armado*. <http://cici.org.ec/wp-content/uploads/2017/12/NEC-SE-HM.pdf>

- Nilson, A. H., & Darwin, David. (2007). *Design of concrete structures*. McGraw-Hill.
<https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>
- Platt Gálvez, & Gloria Alma. (2016). Bondades de las puzolanas en las reacciones degradantes del concreto. En *Biblioteca Digital* (pp. 0–26).
<http://www.bidi.uson.mx/tesisindice.aspx?tesis=8650>
- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo. Nino. (2011). *Manual Básico ArcGIS 10*.
<https://actswithscience.com/Descargas/ManualArcGis.pdf>
- Rossiter, D. G. (2004). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*.
<http://www.itc.nl/~rossiter>
- Torres, A., & Acevedo, E. (2008). El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *IDESIA*, 26, 2–3. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292008000300004>
- Torres Janneth, Mejia de Gutiérrez Ruby, & Gutiérrez Constanza. (2008). Desempeño de morteros adicionados con metacaolín frente a la acción de sulfatos. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 28, 0–6.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingev/article/view/14875/15680>
- Traversa, L. P., & Zaccardi, V. (2010). *INTRODUCCION A LA DURABILIDAD y PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO*.
<https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/1d2f78f7-6c77-4ac2-9588-7f7087cd0300/content>
- Tulliani, J.-M., Montanaro, L., Negro, A., & Collepardi, M. (2002). *Sulfate attack of concrete building foundations induced by sewage waters*.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00752-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00752-9)
- Ulusu, H., Aruntas, H. Y., & Gencil, O. (2016). Investigation on characteristics of blended cements containing pumice. *Construction and Building Materials*, 118, 11–19.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.030>
- Varón Jiménez, Camila María, & Gustavo Adolfo. (2020). ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES. *RIUCaC*, 0–83.
<https://repository.ucatolica.edu.co/items/bc4dbf4d-8fe1-4b7b-9d16-b05823b2e243>
- Yescas-Coronado, P., Álvarez-Reyna, V. de P., Segura-Castruita, M. Á., García-Carrillo, M., Hernández-Hernández, V., & González-Cervantes, G. (2018). Variabilidad espacial del carbono orgánico e inorgánico del suelo en la Comarca Lagunera, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3), 591–610.
<https://doi.org/10.18268/BSGM2018v70n3a2>

ANEXOS

Anexo Fotográfico 1.- Muestras con presencia de patologías a causa de Sulfatos (SO4)



Muestra 13 con evidencia de humedad en paredes



Muestra 17 con desprendimiento de material



Agrietamiento y eflorescencia en paredes, muestra 21



Agrietamiento considerable en paredes principales, muestra 30.

Fuente: Paguay & Sánchez, 2023.