



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

**Título “EXPOSICIÓN POR SULFATOS EN EL SUELO A LOS ELEMENTOS
SUPERFICIALES DE HORMIGÓN DE VIVIENDAS DEL CANTÓN CHAMBO,
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Colcha Lescano, Luis Israel
Salazar Quinnancela, Yajaira Belen

Tutor:

Ing./ Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros **Colcha Lescano Luis Israel**, con cédula de ciudadanía **0604061184** y **Salazar Quinnancela Yajaira Belen** con cédula de ciudadanía **0604380709**, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: **“EXPOSICIÓN POR SULFATOS EN EL SUELO A LOS ELEMENTOS SUPERFICIALES DE HORMIGÓN DE VIVIENDAS DEL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí 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, 26 de octubre de 2023



Luis Israel Colcha Lescano
C.I:0604061184



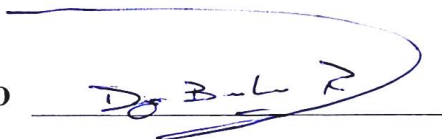
Yajaira Belen Salazar Quinnancela
C.I: 0604380709

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE 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 CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, presentado por Colcha Lescano Luis Israel, con cédula de identidad número 0604061184 y Salazar Quinnancela Yajaira Belen, con cédula de identidad número 0604380709, 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, 26 de octubre de 2023.

Ing./Mg. Diego Javier Barahona Rivadeneira
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



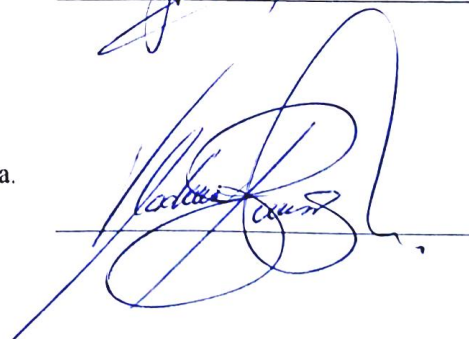
Ing./Mgs. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing./Mgs. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing./Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.
TUTOR



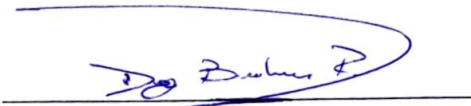
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

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 CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, presentado por, **Colcha Lescano Luis Israel**, con cédula de identidad número **0604061184** y **Salazar Quinnancela Yajaira Belen**, con cédula de identidad número **0604380709**, bajo la tutoría de Ing./Mgs. Vladimir Hernán Pazmiño Chiluiza; 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 26 de octubre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira



Miembro del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez



Miembro del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Jorge Eugenio Nuñez Vivar





CERTIFICACIÓN

Que, **Colcha Lescano Luis Israel**, con cédula de ciudadanía **0604061184** y **Salazar Quinnancela Yajaira Belen**, con cédula de ciudadanía **0604380709**, 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 CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", cumple con el **8%**, 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, 18 de octubre de 2023

Ing./Mgs. **Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza**.
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a Dios por permitirme estar con vida y culminar con una etapa más. A mi padre Washington por ser un ejemplo de superación y sacrificio. A mi madre Elba por aconsejarme y ser un ejemplo de perseverancia. A Dayana y Valentina por formar parte de mi vida y ser parte de esta felicidad.

A mis hermanos Tatiana, Liseth y Leonardo por acompañarme en las buenas y en las malas. A mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Luis Israel Colcha Lescano

AGRADECIMIENTO

En este capítulo tan importante de mi vida quiero agradecer a Dios y la Virgencita que siempre me han guiado para ser un gran hijo y llegar ha este momento que en mi niñez fue un sueño y hoy se convierte en realidad.

A mis padres Washington Colcha y Elba Lescano porque siempre me brindaron su apoyo incondicional para poder cumplir con mis objetivos personales y académicos. A ellos les debo la vida, sus enseñanzas, sus valores inculcados y que mejor manera de agradecerles y que se sientan orgullosos de mi entregándoles este gran logro cumplido.

Ahora tengo mi propia familia, por lo que quiero agradecer a Dayana Paredes por formar parte de mi vida, ser mi compañera de vida y darme lo que más amo en mi vida Valentina. Por compartir mis estudios, por esperar que culmine mis estudios y acompañarme en mi carrera estudiantil.

A mis hermanos Tatiana, Liseth y Leonardo por siempre brindarme su apoyo y cada día darme sus palabras de aliento. A toda mi familia por formar parte de este sueño cumplido y compartir mi felicidad.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por abrirme las puertas y la oportunidad de seguir la prestigiosa Carrera de Ingeniería Civil que junto a sus docentes formaron mi segundo hogar, donde nos formaron y nos guiaron para ser profesionales de bien. A mi compañera de tesis Belén, por confiar en mí y darme la oportunidad de realizar este trabajo. Desearte lo mejor en tu vida y que con la Bendición de Dios y la Virgencita puedas alcanzar este y muchos logros más.

Agradecer a mi tutor de tesis Ing. Vladimir Pazmiño por brindarnos su apoyo, paciencia y sobre todo guiarnos en cada paso de la tesis y hacer posible la culminación de esta.

Luis Israel Colcha Lescano

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mi mami Cecilia por su sacrificio y esfuerzo para darme mi profesión a pesar de muchas veces estar solas y limitarnos de muchas cosas para llegar a este momento de nuestras vidas, a mis hermanas Britany y Nicole por ser mis compañeras incondicionales a pesar de mi forma de ser y muchas veces se quedaron conmigo en las malas noches, espero que ellas junto con mi mami se sientan orgullosas de mí y de lo que hemos logrado juntas las 4, nuestra pequeña familia de solo mujeres, que a pesar de todos los problemas hemos logrado salir a delante y lo seguiremos haciendo, a mi novio Cristian por ser mi apoyo, siempre motivarme a no decaer y jamás dejarme sola, porque gracias a él es posible este sueño, a mi padre Jaime apoyarme en mi vida como estudiante.

A mi abuelita Patricia, mis tías Lucia, Patricia, Paulina y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio supieron brindarme su apoyo y conocimiento, a todas aquellas personas que durante este tiempo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Yajaira Belen Salazar Quinnancela

AGRADECIMIENTO

“Cuanto mayor sea el esfuerzo, mayor es la gloria”

-Pierre Cornelle

Son muchas las personas a las que me gustaría agradecer por su amistad, apoyo y compañía en esta etapa de mi vida, quiero empezar agradeciendo a Dios por permitirme llegar a este momento con salud y mi familia completa, a la Universidad Nacional de Chimborazo por darme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa institución, a mi tutor, Ing. Vladimir Pazmiño por su guía y conocimiento compartido durante el desarrollo del proyecto y demás docentes que nos brindaron su conocimiento durante todos los años de estudio.

Agradezco a mi mamá por haberme apoyado en todo momento, por su consejo y educación, por ser la motivación constante y enseñarme que todo lo bueno nunca es fácil, pero siempre valdrá la pena cada sacrificio, a mis hermanas por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por su compañía y ayuda para lograr alcanzar este sueño, a mi novio por ser esa persona que siempre estuvo a mi lado ayudándome en cada paso y por último pero no menos importante a mi tío Rulis porque a pesar de la distancia supo apoyarme cuando más lo necesitaba.

Yajaira Belen Salazar Quinnancela

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORIA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE ANEXOS	
TABLA DE ACRÓNIMOS	
1. INTRODUCCION.....	15
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo General.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 Tipo de Investigación.....	25
3.2 Diseño de Investigación.....	25
3.3 Descripción del área de estudio.....	25
3.4 Unidad de análisis.....	26
3.5 Población de estudio.....	26
3.6 Técnicas de recolección de datos.....	27
3.7 Métodos de Análisis e interpretación de muestras.....	27
3.7.1 Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2011).....	27
3.7.2 Concentración de los sulfatos (ASTM C1580-20/CP-PEE-005).....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
4.1 Resultados.....	30
4.1.1 Exploración de campo.....	30
4.1.2 Ensayo de granulometría Resultado de ensayos de clasificación SUCS del cantón Chambo.....	33
4.1.3 Concentración de sulfatos Concentración de Sulfatos.....	34
4.2 Descripción de los elementos estructurales en viviendas del cantón Chambo.	39
4.3 Discusión.....	40
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41

5.1	Conclusiones	41
5.2	Recomendaciones	41
6.	BIBLIOGRAFÍA	42

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Normativa Ecuatoria NEC para la clasificación de sulfatos en el suelo.	18
Tabla 2	Normativa Americana ACI para la clasificación de sulfatos en el suelo.	18
Tabla 3	Normativa Británica BSI de clasificación de los sulfatos en el suelo.	19
Tabla 4	Requisitos para mezclas del hormigón con presencia de sulfatos en el suelo.	19
Tabla 5	Criterios para la Clasificación SUCS.	21
Tabla 6	Escala para el muestreo de suelos.....	23
Tabla 7	Tamices ensayo de granulometría	28
Tabla 8	Coordenadas UTM, obtención de muestras en el cantón Chambo.....	30
Tabla 9	Patologías presentes en viviendas del cantón Chambo	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa cantón Chambo	26
Figura 2	Parroquia Urbana y Rural del cantón Chambo	27
Figura 3	Puntos de extracción de muestras, cantón Chambo	32
Figura 4	Resultado de ensayos de clasificación SUCS del cantón Chambo	33
Figura 5	Concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la NEC	34
Figura 6	Concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la ACI.	35
Figura 7	Zonificación de Sulfatos en el cantón Chambo según la ACI.	36
Figura 8	Zonificación de Sulfatos en el cantón Chambo según la ACI.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Tabla clasificación de suelos del cantón Chambo según la SUCS.....	44
Anexo 2	Tabla de concentración de Sulfatos en el cantón Chambo	51
Anexo 3	Toma de muestras dentro del cantón Chambo.....	55
Anexo 4	Ensayo de Clasificación SUCS.....	56
Anexo 5	Viviendas con moderada concentración de Sulfatos	57
Anexo 6	Viviendas con Severa concentración de sulfatos.....	58

TABLA DE ACRÓNIMOS

NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
ACI	American Concrete Institute
BSI	British Standards Institution
SO₄	Sulfatos
SIG	Sistema de Información Geográfica
GM	Grava arenosa con limos
SM	Arena limosa con grava
ML	Limo con Arena
MH	Limo elástico con arena
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

RESUMEN

El cantón Chambo tiene una superficie de 163.4 km² según lo establecido en la Asociación de Municipalidades del Ecuador, sin embargo, en todo el territorio solo se presenta un asentamiento urbano de 118.37 hectáreas, análisis de la concentración de sulfatos en el suelo sin dejar de lado el resto de la superficie del cantón.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general “ Analizar la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Chambo, provincia de Chimborazo , para lo cual en base a la bibliográfica existente empleando un método sistemático se determinó 41 muestras de suelo y se georreferenció la ubicación de los puntos mediante el uso del software ArcGIS, en las zona donde se presentó una mayor concentración de viviendas se densifico para el mejorar el estudio, por lo cual se obtuvo una cantidad total de 53 muestras, luego se procedió a la clasificación mediante en ensayo de Sistema Unificado de Clasificación (SUCS), en el cual se obtuvo suelos como: Limo Elástico (MH), Limo Arenoso (ML), Arena Limosa(SM) y Grava Arcillosa con Arena (GC).

En el análisis de concentración de sulfatos se presentan resultados según la norma NEC: S0 no aplicable, S2 Severo y S3 Muy Severo. La durabilidad del concreto se ve afectada negativamente por el proceso de ataque de los sulfatos, ya que provoca alteraciones en las características químicas de las pastas de cemento y en las propiedades mecánicas del concreto, enfatizando que la exposición puede variar debido a la presencia de otros elementos aparte de los sulfatos.

Palabras claves: Sulfatos, SUCS, concentración, suelos, patologías, hormigón

Abstract

Chambo Canton has an area of 163.4 km², as established by the Association of Municipalities of Ecuador. However, in the entire territory, there is only one urban settlement of 118.37 hectares, analysis of the concentration of sulfates in the soil without leaving aside the rest of the canton area. The general objective of this research project is to "Analyze the exposure by sulfates in the soil to the superficial concrete elements of houses in the Chambo canton, Chimborazo province. It was determined that 41 soil samples and the location of the points were georeferenced using the ArcGIS software based on the existing bibliography using a systematic method. The areas with a higher concentration of houses were densified to improve the study, for which a total number of 53 samples was obtained. Then the classification was carried out through the Unified Classification System (SUCS) test, in which soils were obtained as Elastic Silt (MH), Sandy Silt (ML), Silty Sand (SM), and Clay Gravel with Sand (GC). In the analysis of sulfate concentration, results are presented according to the NEC standard: S0 not applicable, S2 Severe, and S3 Very Severe. The durability of the concrete is negatively affected by the sulfate attack process since it causes alterations in the chemical characteristics of the cement pastes and the mechanical properties of the concrete, emphasizing that the exposure can vary due to the presence of other substances and elements other than sulfates.

Keywords: Sulfates, SUCS, concentration, soils, pathologies, concrete



Firmado electrónicamente por:
LORENA DEL PILAR
SOLIS VITERI

Reviewed by:

Mgs. Lorena Solís Viteri

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0603356783

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCION.

Este proyecto de investigación actual se enfoca en analizar los niveles de sulfato en el suelo del cantón Chambo, situado en la provincia de Chimborazo. Esta investigación aborda un problema que impacta las estructuras de las viviendas debido a reacciones tanto químicas como físicas.

Para comenzar con este estudio, es fundamental comprender que los sulfatos son sustancias químicas que se encuentran en diversas concentraciones en el suelo, aguas subterráneas, cuerpos de agua superficiales y en el agua del mar (Fuertas et al., 2002). Los componentes de hormigón expuestos a concentraciones elevadas de sulfatos pueden experimentar daños cuyo alcance depende de factores como la composición del hormigón, su calidad, así como el tipo y la cantidad de sulfato presente (Sánchez Mayorga, 2022).

El concreto es ampliamente reconocido como el material de construcción principal debido a su destacada durabilidad. No obstante, presenta ciertas restricciones relacionadas con su diseño, construcción y las condiciones a las que puede estar expuesto, lo que puede resultar en debilitamiento del concreto debido a sus componentes, ocasionando problemas estéticos, funcionales y estructurales. (Monjo Carrió & Maldonado Ramos, 2001)

El deterioro prematuro de estructuras de hormigón armado debido a sulfatos se considera una de las principales causas, junto con la reacción álcali-sílice y la corrosión de las armaduras. A pesar de que los primeros estudios sobre la corrosión causada por sulfatos en el hormigón se remontan a principios de la década de 1990, aún queda mucho por comprender sobre los factores que influyen en este tipo de daño. Constantemente, nuevas investigaciones arrojan luz sobre diversas formas de ataque y las medidas preventivas recomendadas para evitar el deterioro en las estructuras de hormigón.

La exposición de las superficies de hormigón en edificios puede ser problemática, dependiendo del grado de exposición al que estén sujetas, ya que esto puede reducir la durabilidad del hormigón al alterar las propiedades químicas de la matriz de cemento y las propiedades mecánicas del hormigón. (Diaz Malagón, 2019).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Analizar la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la clasificación del suelo en el cantón Chambo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Llevar a cabo análisis de laboratorio para determinar la cantidad de sulfatos ($BaSO_4$) presente en el suelo del cantón Chambo.
- Establecer una zonificación que indique los niveles de exposición de las cimentaciones al deterioro químico basado en la concentración de sulfatos en el suelo del cantón Chambo.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

SULFATOS

Los sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, que existen en la naturaleza, tienen la capacidad de corroer el hormigón; estos sulfatos se hallan en el suelo y también se disuelven en agua. Cuando la sal de sulfato está en solución, tiene la capacidad de infiltrarse en el hormigón y provocar daños en el material cementoso.

Los sulfatos son generalmente sólidos cristalinos blancos o incoloros en condiciones normales de temperatura y presión. La mayoría de ellos son solubles en agua, aunque esta puede variar según el catión al que estén unidos. Los sulfatos son compuestos altamente estables y no son fácilmente descompuestos por calor o reacciones químicas comunes.

La generación de sulfoaluminato tricalcico y yeso (sulfato de calcio dihidratado) son dos resultados del impacto de los sulfatos en los elementos del hormigón. No obstante, debido a la aparición de sulfoaluminato tricalcico, puede producirse una ampliación en el volumen que da lugar a la expansión y la formación de grietas, mientras que la presencia de yeso debilita el hormigón y disminuye su resistencia.

La presencia de sulfoaluminato tricalcico y yeso en el concreto no es una indicación de exposición a sulfatos. Antes de determinar el ataque de sulfatos, se debe verificar mediante análisis químico y petrográfico.

Los sulfatos pueden tener un impacto ambiental importante, particularmente cuando se liberan en grandes proporciones en aguas o suelos, ya que pueden cambiar el equilibrio del ecosistema y afectar perjudicialmente a la vida acuática (Catur Muraña, 2021).

PRESENCIA DE SULFATOS EN EL HORMIGON

Dentro de las propiedades mecánicas, un aspecto significativo del comportamiento del concreto es su durabilidad, la cual puede estar vinculada a la vida útil de la estructura cuando se encuentra expuesta a condiciones o entornos específicos.

Los sulfatos en el hormigón son compuestos químicos que pueden tener un impacto dañino en su durabilidad y resistencia. Cuando el hormigón se encuentra expuesto a los sulfatos, pueden producirse reacciones químicas que alteran sus propiedades físicas y mecánicas, debilitando su estructura y provocando daños.

La resistencia del concreto no se encuentra únicamente influenciada por los materiales empleados, la composición de la mezcla, el proceso de construcción y el tratamiento de curado, sino también por factores como la humedad relativa, la temperatura y la contaminación.

Los factores que afectan la estabilidad pueden clasificarse en dos categorías: físicos y químicos. Entre los factores químicos, encontramos el ataque de carbono, el ataque de cloruro y el ataque de sulfato.

La acción química se deriva de una serie de reacciones entre los iones de sulfato y los productos de hidratación o los componentes del cemento, y puede incluir la presión

ejercida y la degradación de las paredes de los poros debido a la continua cristalización de sales de sulfato en respuesta a ciertos cambios en el entorno. (Izquierdo et al., 2005).

La degradación causada por la exposición a sulfatos externos es resultado de la interacción físico-química entre los minerales presentes en la pasta de cemento hidratada y los iones sulfato del entorno, que se consideran los aniones más perjudiciales para el concreto. (Torres Janneth et al., 2008).

Categorías y clases de exposición

Para realizar un buen diseño de hormigón se debe tomar en cuenta el lugar y las condiciones que va a estar expuesto dicho hormigón, ya que la exposición por sulfatos puede darse de diferentes maneras, este propósito se respalda mediante regulaciones establecidas por entidades como el American Concrete Institute (ACI), la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) y el British Standards Institution (BSI). Estas normativas definen niveles de exposición que consideran las concentraciones de sulfatos en el suelo (expresadas en mg/kg) y en el agua (expresadas en mg/l).

Tabla 1

Normativa Ecuatoria NEC para la clasificación de sulfatos en el suelo

Categorías	Severidad	Clase	Condición	
			Sulfatos solubles en agua (SO_4) en agua, % en masa	Sulfato (SO_4) disuelto en agua, ppm
S Sulfato	No aplicable	S0	$SO_4 \leq 0.1$	$SO_4 < 150$
	Moderada	S1	$0.1 \leq SO_4 < 0.2$	$150 \leq SO_4 < 1500$ Agua marina
	Severa	S2	$0.2 \leq SO_4 < 2.0$	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Muy severa	S3	$SO_4 > 2$	$SO_4 > 10000$

Fuente: (NEC-SE-HM, 2015)

Tabla 2

Normativa Americana ACI para la clasificación de sulfatos en el suelo-

Severidad de la potencial exposición	Sulfato soluble en agua (SO_4)	Sulfato (SO_4) en agua, ppm	w/c en masa, max.	Materiales cementicios requeridos
Exposición Clase 0	0,00 a 0,10	0 a 150	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos
Exposición Clase 1	> 0,10 y 0,20	> 150 y < 1500	0,50	C 150 Tipo II o equivalente
Exposición Clase 2	0,20 a < 0,20	1500 a < 10000	0,45	C 150 Tipo V o equivalente

Exposición Clase 3	≥ 0,20	≥ 10000	0,40	C 150 Tipo V más puzolana o escoria
Exposición al agua de mar	-	-	Ver sección 2.4	Ver sección 2.4

Fuente: (ACI 201, 2012)

Tabla 3

Normativa Británica BSI de clasificación de los sulfatos en el suelo

Características químicas SO_4 mg/l	Método de referencia	Entorno químico Ligeramente agresivo	Entorno químico Modernamente agresivo	Entorno químico Altamente agresivo
SO_4 mg/kg	EN 196-2	Agua Subterránea ≥ 200 y ≤ 600	> 600 y ≤ 3000	> 3000 y ≤ 6000
	EN 196-2	Suelo ≥ 200 y ≤ 3000	> 3000 y ≤ 12000	> 12000 y ≤ 24000

Fuente: (BSI,2013)

Tabla 4

Requisitos para mezclas del hormigón con presencia de sulfatos en el suelo

Clase de exposición	Relación a/c max.	f' c min. Mpa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire	Tipo de Cemento		Limites en los cementantes
			NTE INEN 152 (ASTM C 150)	NTE INEN 490 (ASTM C 595)	NTE INEN 2380 (ASTM C 1157)	Aditivo cloruro de calcio
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo
S1	0,5	28	II	IP (MS), IS (<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0,45	31	V	IP (MS), IS (<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0,45	31	V puzolanas o escorias	IP (HS) y puzolanas o escorias o IS (<70) (HS) y puzolanas o escorias	HS y puzolanas o escorias	No se permite

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

SUELOS

El suelo se origina a partir de la interacción entre la roca madre, el clima, los seres vivos, el relieve y el tiempo, y constituye la capa superior de la corteza terrestre. La formación del suelo es el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos que transforman los materiales geológicos originales en un medio propicio para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de la vida.

Los suelos están compuestos por partículas minerales como: arena, limo, arcilla, materia orgánica en descomposición, agua, aire. La proporción de estos componentes cambia según el tipo de suelo y su origen. El suelo también presenta un perfil que consta de diferentes capas horizontales denominadas horizontes del suelo, cada horizonte presenta características físicas, químicas y biológicas específicas, y la combinación de estos horizontes determina la calidad y fertilidad del suelo.

Entre las características químicas del suelo se encuentran su nivel de pH (indicativo de su grado de acidez o alcalinidad), su capacidad de intercambio catiónico que influye en la retención de nutrientes, la presencia de elementos esenciales para el desarrollo de las plantas y la disponibilidad de sustancias tóxicas.

Las características biológicas del suelo se refieren a la actividad de seres vivos como bacterias, hongos, nematodos, lombrices y otros microorganismos que tienen la función de descomponer la materia orgánica, liberar nutrientes y contribuir a la creación de la estructura del suelo (Torres-Gonzales et al., 2021).

CIMENTACIONES

Las cimentaciones son estructuras fundamentales que se utilizan para soportar y transmitir las cargas de una edificación o cualquier otro tipo de estructura hacia el suelo. Son elementos de gran volumen en comparación con elementos estructurales, construidos en su mayoría de hormigón armado (Peck et al., 1983).

Antes de emprender la construcción de una estructura sólida, es imperativo poseer una comprensión exhaustiva del suelo o terreno en el cual se llevará a cabo la cimentación.

Clasificación General de las Cimentaciones

Cimentaciones superficiales

Las cimentaciones superficiales se basan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, ya sea porque estas capas tienen la resistencia suficiente o porque se trata de construcciones de menor envergadura o estructuras livianas.

Las cimentaciones profundas se clasifican en:

Cimentaciones ciclópeas

Zapatas

Zapatas aisladas

Zapatas corridas

Zapatas combinadas

Losas de cimentación

Cimentaciones profundas

Estos cimientos deben ser más profundos ya que dependen de las fuerzas de corte entre el suelo y el cemento para superar la carga aplicada. Estos cimientos se utilizan en

circunstancias especiales, como edificios de gran superficie, edificios muy grandes que no reúnen las características necesarias para soportar edificios muy grandes o pesados.

Métodos utilizados en cimentaciones profundas:

Pilas y Cilindros

Pilotes

Pantallas

Pantallas isostáticas

Pantallas hiperestáticas

Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una metodología de clasificación de suelos empleada en ingeniería y geología que facilita la descripción de la textura y el tamaño de las partículas presentes en un suelo específico.

Este sistema se aplica a la mayoría de los materiales sin relación, identificados mediante un símbolo de dos letras. Para llevar a cabo esta clasificación, es necesario realizar una evaluación granulométrica del suelo a través del tamizado. También se conoce como la clasificación modificada de Casagrande. (Melendez Muñoz, 2019).

Límite de plasticidad

Esta es una característica que se determina de manera indirecta y está influenciada por el nivel de humedad presente en el suelo. Dependiendo de la cantidad de agua que contenga, un suelo puede exhibir diferentes estados de consistencia, en un orden de decrecimiento, que se definen mediante los parámetros establecidos por Atterberg.

Estado líquido, con propiedades y apariencia de una suspensión.

Estado semilíquido, con propiedades de un fluido viscoso.

Estado plástico, se comporta plásticamente.

Estado semisólido, en esta condición, el suelo se asemeja a un material sólido, pero su volumen disminuye al someterlo a un proceso de secado.

Estado sólido, en este estado, el volumen del suelo no experimenta cambios al ser sometido al secado.

Atterberg, en su método, formaba un cilindro al rodar una porción de suelo, y el agrietamiento o desmoronamiento de ese cilindro en un punto específico indicaba la llegada al límite plástico, junto con la cantidad de agua presente en ese momento, que marcaba el punto de interés.

Tabla 5

Criterios para la Clasificación SUCS

Criterios para Asignación de Símbolo y Nombre	Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo
Grava fina con más del 12% de finos	GM	Grava arenosa con limos
Arena fina con más del 12% de finos	SM	Arena limosa con grava

Limos y arcillas (Limite menor a 50)	ML	Limo con arena
Linos y arcillas (Limite mayor a 50)	MH	Limo elástico con arena

Adaptado de: (ASTM D2487, 2011)

Análisis granulométrico

Su propósito es calcular de forma precisa la disposición en cantidades de diversas dimensiones de partículas en un suelo y proporciona una explicación detallada del procedimiento empleado para evaluar el porcentaje de suelo que atraviesa una serie de tamices, desde los más grandes hasta el de 75 μm . (No. 200).

HORMIGON

El concreto, resultado de la combinación de ingredientes como agua, agregado fino y grueso, es un material ampliamente empleado en la construcción de infraestructuras en Ecuador y a nivel global. Para determinar las proporciones de cada componente del concreto, existen enfoques tanto convencionales como innovadores, en un proceso denominado diseño de mezcla.

La mayoría de los métodos tradicionales se basan en la experiencia y el uso de tablas empíricas. Por ejemplo, el enfoque de cálculo de mezcla del American Concrete Institute (ACI) se fundamenta en tablas empíricas que establecen las proporciones de concreto necesarias para lograr una resistencia a la compresión específica. Sin embargo, los tipos de cemento y agregados utilizados en Estados Unidos y Ecuador presentan diferencias en cuanto a sus características y calidad, lo que limita la aplicabilidad de este método en nuestro país. (Santamaría et al., 2018).

El concreto armado es el principal material de construcción en Ecuador. Las características mecánicas del concreto se derivan principalmente de la calidad de sus ingredientes y de la cantidad en la mezcla. La proporción entre agua y cemento también juega un papel crucial, ya que una menor relación agua-cemento resulta en una mayor resistencia a la compresión (Sánchez Oñate et al., 2020).

Patologías del hormigón

Las patologías del hormigón son problemas, deterioros o defectos que pueden presentarse en estructuras de hormigón con el tiempo debido a diferentes causas. Estas patologías pueden afectar a la integridad, durabilidad y capacidad portante de las construcciones.

El hormigón se comporta satisfactoriamente en una amplia gama de condiciones atmosféricas, cuando se expone a suelos que contienen la mayoría de agua y productos químicos, y cuando se expone a otros tipos de productos químicos. Hay ambientes químicos donde el mejor concreto tiene una vida muy corta a menos que se tomen precauciones especiales. Cuando el hormigón se expone a estas radiaciones, se producen

patologías, con mayor frecuencia en el hormigón, las más usuales que se presentan en el concretos:

Las grietas que son fisuras que se forman en el hormigón debido a tensiones internas, cambios de temperatura, asentamientos diferenciales, sobrecargas o problemas en el proceso de fraguado. La carbonatación es un proceso químico donde el dióxido de carbono del aire reacciona con los componentes alcalinos del hormigón disminuyendo el pH del hormigón, esto afecta la pasivación de las armaduras de acero en el hormigón provocando su corrosión y debilitando la estructura. El ataque químico por agentes químicos agresivos, como sulfatos, ácidos u otros elementos, que reaccionan con los componentes del hormigón debilitándole y causando desintegración. La eflorescencia se presenta en la superficie del hormigón en forma de manchas de color blanco debido a la concentración de sales solubles en el agua hacia la superficie. Deficiencias en el proceso constructivo por problemas en la preparación, colocación o curado del hormigón pueden reducir la resistencia y durabilidad del material (Rollano Quintana, 2019).

SIG ARCGIS

Se refiere a un sistema que incluye componentes de hardware, software, datos y utilidades de usuario que tienen la capacidad de recopilar, almacenar, gestionar y analizar información en formato digital. Además, este sistema permite la creación de representaciones visuales, como gráficos y mapas, a partir de datos alfanuméricos.

ArcGIS es una colección de utilidades que posibilita la observación y control de elementos geoespaciales, y presenta una estructura adaptable que admite la inclusión de funciones adicionales. Entre las extensiones populares se encuentran Spatial Analyst (para análisis de datos ráster), 3D Analyst (para análisis en tres dimensiones y del terreno) y Geostatistical Analyst (para aplicaciones de geoestadística) (Pucha et al., 2017).

Metodologías de levantamiento de Suelos

El levantamiento de suelos implica la identificación y análisis del patrón de la cubierta terrestre, con el fin de describir sus características y presentarlas de manera clara e interpretable para diferentes usuarios. El manual del levantamiento de suelos de USDA, menciona ordenes o niveles de intensidad, donde se toma en cuenta el área mínima legible y el área mínima de decisión, la escala se toma según la necesidad del estudio a realizarse (Rossiter, 2004).

Tabla 6

Escala para el muestreo de suelos

NIVEL DE INTENSIDAD	ORDEN	DENSIDAD DE INSPECCION	ESCALA	TAMAÑO MINIMO DE DELINEACION	TIPO DE UNIDAD DE MAPEO	OBJETIVOS
Muy alto (1) “Intensivo”	1 °	>4 por ha, (>1 por 2500m ²)	1:2500	0.025ha=2500m ²	Simple, detallada	Evaluación de tierras para planificación a nivel sitio,

						trabajos de ingeniería
Alto (2) “Intensivo”	1°	1 por 0.8 a 4ha (25 a 125 por km ²)	1:10000	0.4ha=4000m ²	Simple, menos detalle	Evaluación de tierras para usos intensivos al nivel de parcela. Trabajos de ingeniería.
Moderadamente Alto (3) “Detallado”	2°	1 por 5 a 25 ha (4 a 20 por km ²)	1:25000	2.5ha=25000m ²	Principalmente simple, algún compuesto, mod. detalle	Evaluación de tierras para usos mod. Intensivos a nivel de parcela. Planificación de proyectos a detalle
Medio (4) “Semi-detallado”	3°	1 a 5 por km ² (1 por 20 a 100 ha)	1:50000	10ha	Principalmente compuesto, algún simple, detalle mod.	Evaluación de tierras para uso mod intensivos al nivel de finca, proyectos de planificación semi-detalle. PLUS departamentales
Bajo (5) “Semi-detalle”	4°	¼ a 1 por km ² (a por 100 a 400ha)	1:100000	40ha	Casi siempre compuesto o simple general	Evaluación de tierras para usos extensivos, factibilidad de proyectos. PLUS departamentales
Muy bajo (6) “Reconocimiento”	5°	<1 por km ² (<1 por 100ha)	1:250000	250ha=2.5km ²	Compuesto o simple dominante	Inventarios nacionales. PLUS departamentales
Exploratorio		Ninguna	1:1000000 1:5000000	40km ² =1000km ²	categoricamente general	Idea general del tipo de suelos que existen en un área desconocida

Adaptado de: (Rossiter, 2004)

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

En este capítulo, se proporciona una explicación acerca de la categoría de investigación, el grado de confiabilidad, las técnicas de adquisición de datos, así como una detallada presentación de los equipos, materiales y procedimientos de laboratorio empleados para examinar las muestras de suelo extraídas en el cantón Chambo.

3.1 Tipo de Investigación

El enfoque de investigación del proyecto es de naturaleza experimental, en el cual se obtienen datos en función de la concentración de sulfatos presentes en cada punto del suelo en el cantón Chambo, con el fin de evaluar cómo podrían verse afectadas las bases de las construcciones, en caso de considerarse la edificación de viviendas o estructuras en el futuro.

3.2 Diseño de Investigación

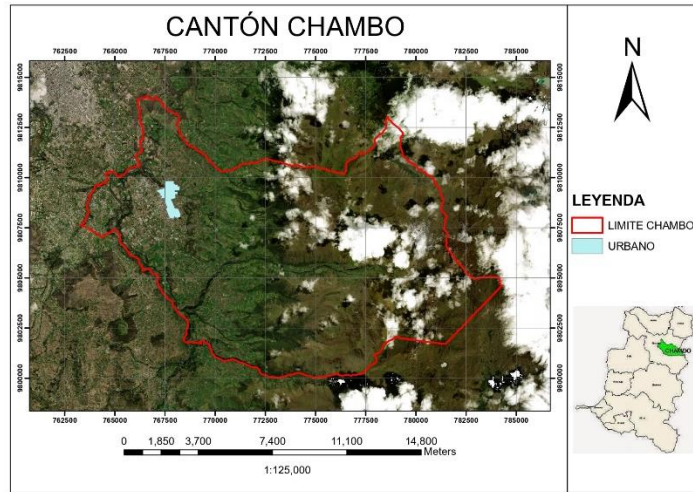
Para llevar a cabo la investigación, se implementó un proceso organizado en cinco etapas. En la primera etapa, se realizaron la identificación de los lugares donde se recogerían las muestras. La segunda etapa involucró la extracción de las muestras en el terreno. La tercera etapa comprendió la clasificación de los tipos de suelos utilizando el sistema SUCS. La cuarta etapa se centró en la determinación de la concentración de sulfatos mediante el empleo del método de ensayo ASTM C1580-20. Por último, la quinta etapa implicó el análisis y la interpretación de los resultados, los cuales se utilizarían en la elaboración del proyecto de investigación.

3.3 Descripción del área de estudio

En el análisis del proyecto de investigación titulado "Exposición de sulfatos en elementos superficiales de hormigón en viviendas del cantón Chambo, provincia de Chimborazo," se establece que el cantón abarca una superficie de 163 km². Aunque no cuenta con parroquias definidas, se reconoce la existencia de zonas tanto urbanas como rurales dentro de su territorio (AME, 2022).

Figura 1

Mapa cantón Chambo



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

3.4 Unidad de análisis

En el cantón Chambo existe una amplia concentración poblacional, la mayoría de la localidad está ubicada en una pequeña parte que se le conoce como la zona urbana del cantón, se analizó muestras de todo el territorio para la construcción de viviendas en un futuro, la concentración de personas en un solo sector se debe a que es un cantón en el cual las características climáticas, geográficas y tipos de suelos hacen que se dé una buena producción agrícola la misma que es el sustento del Cantón.

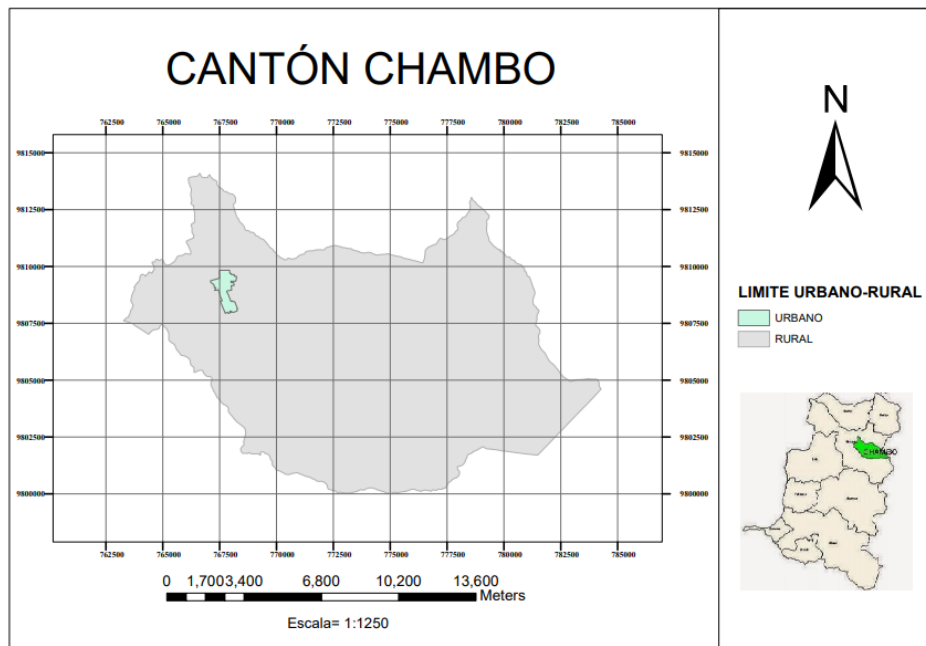
El 55.6% del terreno total en el cantón se destina a la preservación y salvaguardia de áreas de páramo, bosques naturales y praderas, mientras que el 21.5% se utiliza para la cría de ganado. El 12.9% se emplea para actividades agrícolas mixtas y de cultivo. Además, el 9.9% comprende áreas no productivas, de conservación y protección, zonas afectadas por la actividad humana y cuerpos de agua. Los asentamientos humanos en el cantón ocupan alrededor de 118.37 hectáreas de terreno (GADM Chambo, 2019).

3.5 Población de estudio

Para el estudio de la concentración de sulfatos se analiza la superficie de todo el cantón dividiéndolo en bloques mediante el uso de una grilla a escala en el software ArcGIS para establecer el número de muestras, al existir más cantidad de viviendas en la zona urbana del cantón se determinó la extracción de más muestras en esos sectores para mejorar el estudio, según el censo del último año, en el cantón Chambo existen 3 585 viviendas, (INEC, 2001).

Figura 2

Parroquia Urbana y Rural del cantón Chambo



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

3.6 Técnicas de recolección de datos

Para determinar la cantidad de muestras de suelo del cantón Chambo se apoyó en el artículo “Metodologías para el levantamiento del recurso del suelo”, donde establece medios de levantamiento de suelos, detallados en una tabla con diferentes escalas a utilizarse, donde se determinan 5 órdenes o también denominadas niveles de intensidad, además se toma en cuenta el área mínima legible y el área mínima de decisión, para el estudio del presente proyecto investigativo se tomó el nivel de intensidad Muy Alto “Intensivo” a una escala de 1:2500, con una unidad de mapeo simple y detallada cuyos objetivos es la evaluación de tierras para planificación a nivel de sitio, ideal para trabajos de ingeniería, dando una cantidad de 53 muestras dentro de todo el cantón, considerando que en el sector urbano se densifico la cantidad para un mejor estudio.

La extracción de campo de las muestras se la realizo mediante campañas de exploración en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo de acuerdo con la norma ASTM D420-18 en la cual establece una profundidad de 1 a 5m (ASTM D420, 2018), para la investigación se consideró una profundidad de 1m.

3.7 Métodos de Análisis e interpretación de muestras

3.7.1 Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2011)

Al fijar la escala para dividir el cantón en secciones para la obtención de los ejemplares a estudiar, se estableció una cantidad de 53 puntos, en la exploración de campo para la extracción de suelos, en los bloques M17, M18, M19, M20 y M29 no se pudo acceder debido a la ubicación geográfica como se puede observar en la Tabla 8, las cuales no

contaban con vías de acceso lo que dificultaba el ingreso, quedando una cantidad total de 48 puntos de extracción.

Obtenidas las 48 muestras de suelo de los diferentes puntos dentro del cantón y teniendo en cuenta lo que establece la norma ASTM C136 se clasificó según las categorías que determina el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Siguiendo el orden que se detalla a continuación: Se pesa una cantidad de 500gr de la muestra limpia de cualquier material orgánico que pudiese estar presente al momento de la extracción de la muestra en campo, se procede con el sacado de las muestras en un horno a una temperatura de 110°C +/- 5°C durante 24 horas, en la tabla 6 se muestra el orden y el número de tamices utilizados para el ensayo, los cuales fueron previamente limpiados y se encuentran libre de cualquier impureza que pueda alterar el resultado del ensayo.

Tabla 7

Tamices ensayo de granulometría

Tamices	Tamaño de abertura (mm)
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.5
3/8"	9.52
4	4.76
10	1.19
40	0.29
200	0.07

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

El proceso de tamizado del suelo se lleva a cabo siguiendo las directrices establecidas en la normativa INEN-696 de 2014. Una vez que se ha completado el tamizado, se procede a pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz con el propósito de calcular la suma total de dicho material. Este total no debe ser inferior al 1% del peso inicial de la muestra en estado seco. Para describir las muestras obtenidas, se emplearán los prefijos especificados en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

3.7.2 Concentración de los sulfatos (ASTM C1580-20/CP-PEE-005)

Para determinar la concentración de sulfatos se realiza el ensayo basado en la norma (ASTM-C1580, 2020), el cual fue realizado en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ya que en la Universidad no se cuenta con los equipos para el desarrollo del estudio.

El ensayo implica la aplicación del siguiente procedimiento para determinar la concentración de sulfatos en las muestras de suelo recogidas en el campo: Se selecciona una muestra de 300 gramos para el ensayo de concentración de sulfatos. Al igual que en el ensayo de granulometría, se procede a secar estas muestras en un horno de laboratorio a

una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un período de 24 horas. Una vez que la muestra está completamente seca, se somete a un proceso de trituración y se pasa a través de un tamiz con una abertura de 0.5 mm. Luego, se pesan 10 gramos de la muestra tamizada en una balanza analítica con una legibilidad de $d=0.1$ mg.

Se añaden 40 ml de agua destilada diluida con Ácido Nítrico (HNO_3) al 3% y se agita la muestra durante aproximadamente una hora a una temperatura de 25°C . Posteriormente, se deja en reposo para que se realice el proceso de decantación. Luego, se procede a filtrar la mezcla utilizando un embudo de cristal y papel filtro, simulando un matraz Erlenmeyer.

En frascos de vidrio de 10 ml, se filtra la solución y se utiliza un espectrofotómetro para medir la concentración de sulfatos. El espectrofotómetro se enciende y calibra para funcionar a una longitud de onda de 450 nm con un paso de luz de 4 a 5 cm. Se agrega un reactivo basado en cloruro de bario (BaCl_2) a una de las muestras, luego se agita la solución y se cronometra durante 5 ± 0.5 minutos. Se coloca en la primera celda del espectrofotómetro un frasco sin el reactivo para calibrar el equipo.

Se introduce la solución de BaCl_2 en el espectrofotómetro para medir la turbidez generada por las partículas de sulfato de bario (BaSO_4), y se registran las lecturas correspondientes.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados

4.1.1 Exploración de campo

En la Tabla 8 se detalla la ubicación de los puntos de cada muestra de suelo que se tomó en el cantón Chambo para su posterior estudio en los laboratorios, cada muestra se obtuvo a 1m de profundidad.

Tabla 8

Coordenadas UTM, puntos de aforo en el cantón Chambo

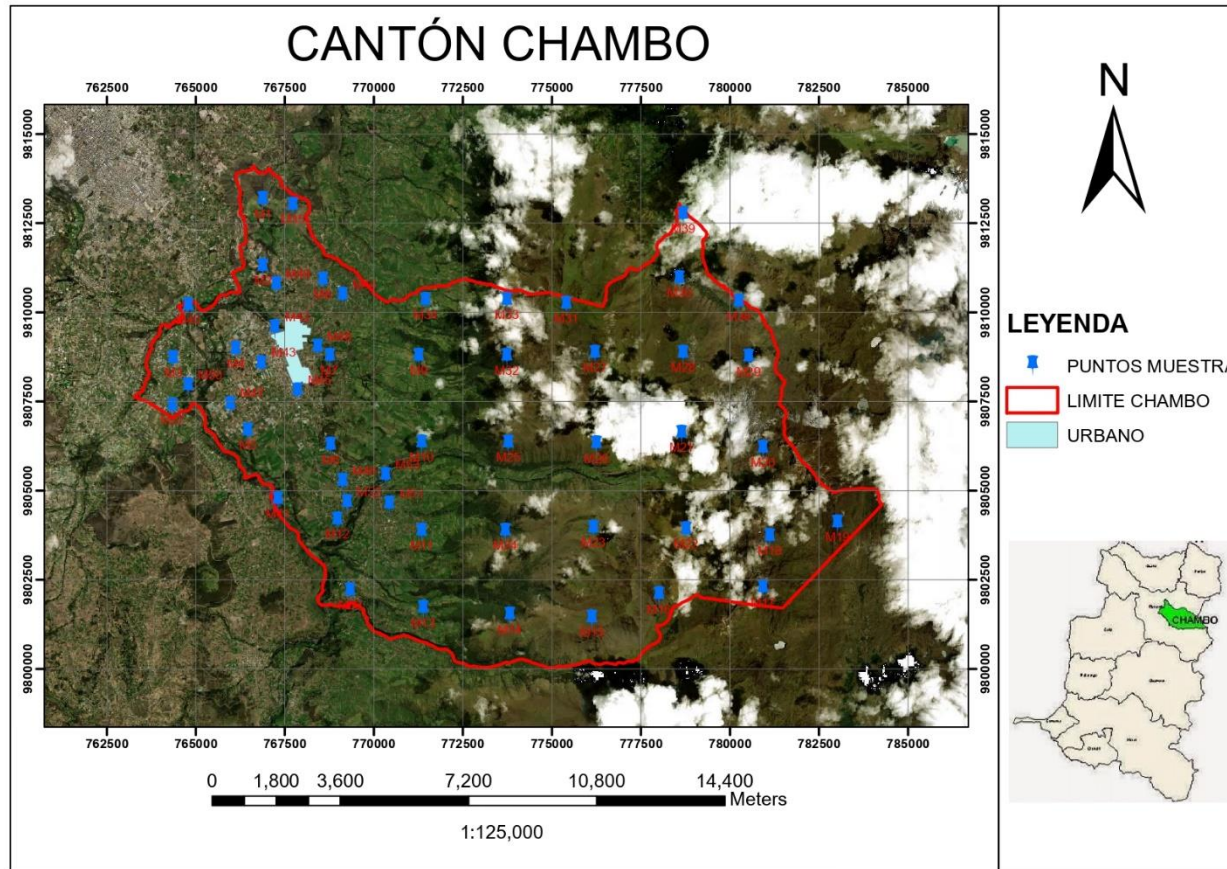
Punto	Elevación m.s.n.m.	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
M1	2713	767200	9812848
M2	2744	767200	9810764
M3	2700	764714	9808278
M4	2766	766652	9808424
M5	2764	766944	9806341
M6	2991	769174	9805902
M7	2940	769174	9808424
M8	3012	768919	9810545
M9	3241	771697	9808351
M10	3123	771697	9805829
M11	3271	771770	9803452
M12	2936	769467	9803635
M13	3137	771770	9801295
M14	3819	774183	9801039
M15	4127	776596	9801039
M16	3872	778498	9801697
M17	4336	781313	9801844
M18	4139	781569	9803489
M19	4082	783470	9803854
M20	4286	781276	9805756
M21	4024	779156	9805865
M22	3875	779156	9803525
M23	4080	776633	9803452
M24	3716	774220	9803452

M25	3708	774147	9805938
M26	3784	776706	9805975
M27	4322	776560	9808351
M28	4339	779119	9808351
M29	3957	780984	9808351
M30	3892	778936	9810545
M31	4033	777401	9810143
M32	3699	774147	9808278
M33	4019	773818	9809997
M34	3424	772063	9809997
M35	2826	768187	9812556
M36	2940	769869	9801844
M37	2725	764714	9806962
M38	3643	780655	9809887
M39	3485	779046	9812410
M40	2586	765116	9809887
M41	2667	767639	9804366
M42	2759	767229	9809516
M43	2778	766847	9808516
M44	2803	767855	9807745
M45	2981	769119	9805199
M46	2840	768422	9808971
M47	2807	767258	9810725
M48	2997	769125	9810424
M49	2765	765963	9807372
M50	2700	764786	9807887
M51	3271	770435	9804566
M52	2940	769247	9804603
M53	3220	770325	9805375

Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Figura 3

Puntos de extracción de muestras, cantón Chambo

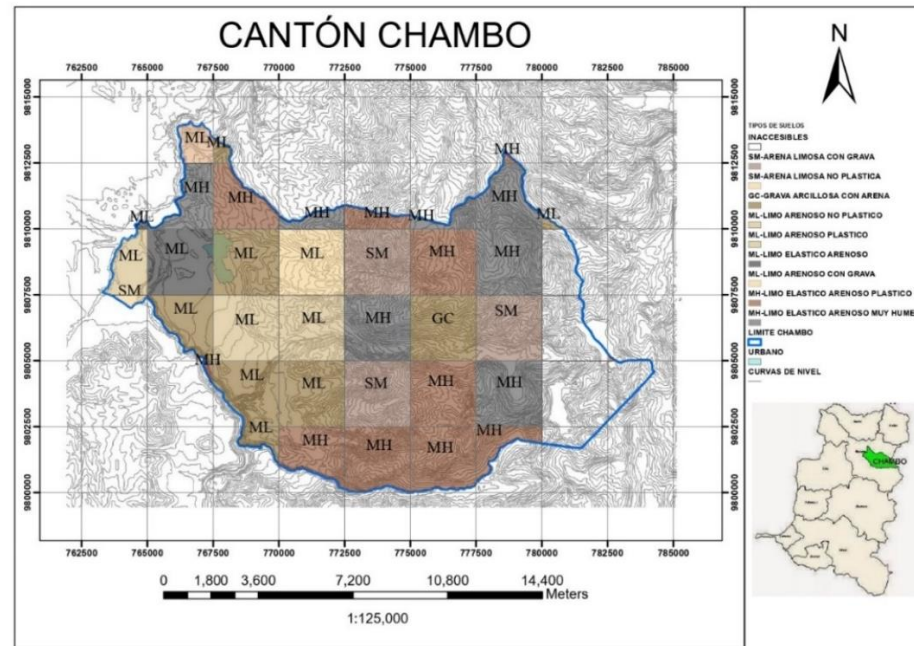


Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

4.1.2 Ensayo de granulometría

Figura 4

Tipos de suelos presentes en el cantón Chambo



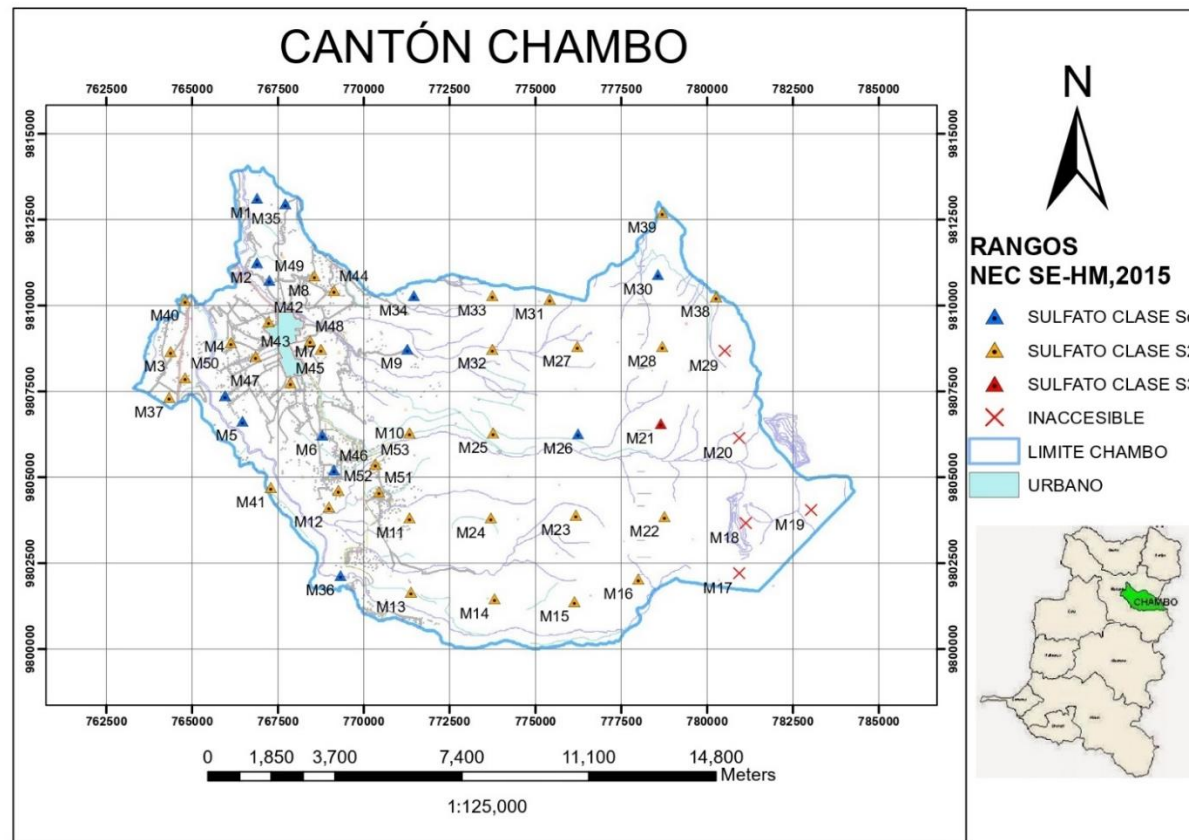
Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Del resultado de la clasificación de SUCS en la cual se realizan ensayos de granulometría (ASTM S422), humedad natural (ASTM D2212), limite liquido (ASTM D4318), limite plástico (IP), índice plástico, índice de grupo, obteniendo los siguientes resultados: 19 muestras son Limo elástico arenoso, 24 son Limo arenoso con grava, 4 Arena limosa con grava y grava arcillosa con arena.

4.1.3 Concentración de sulfatos

Figura 5

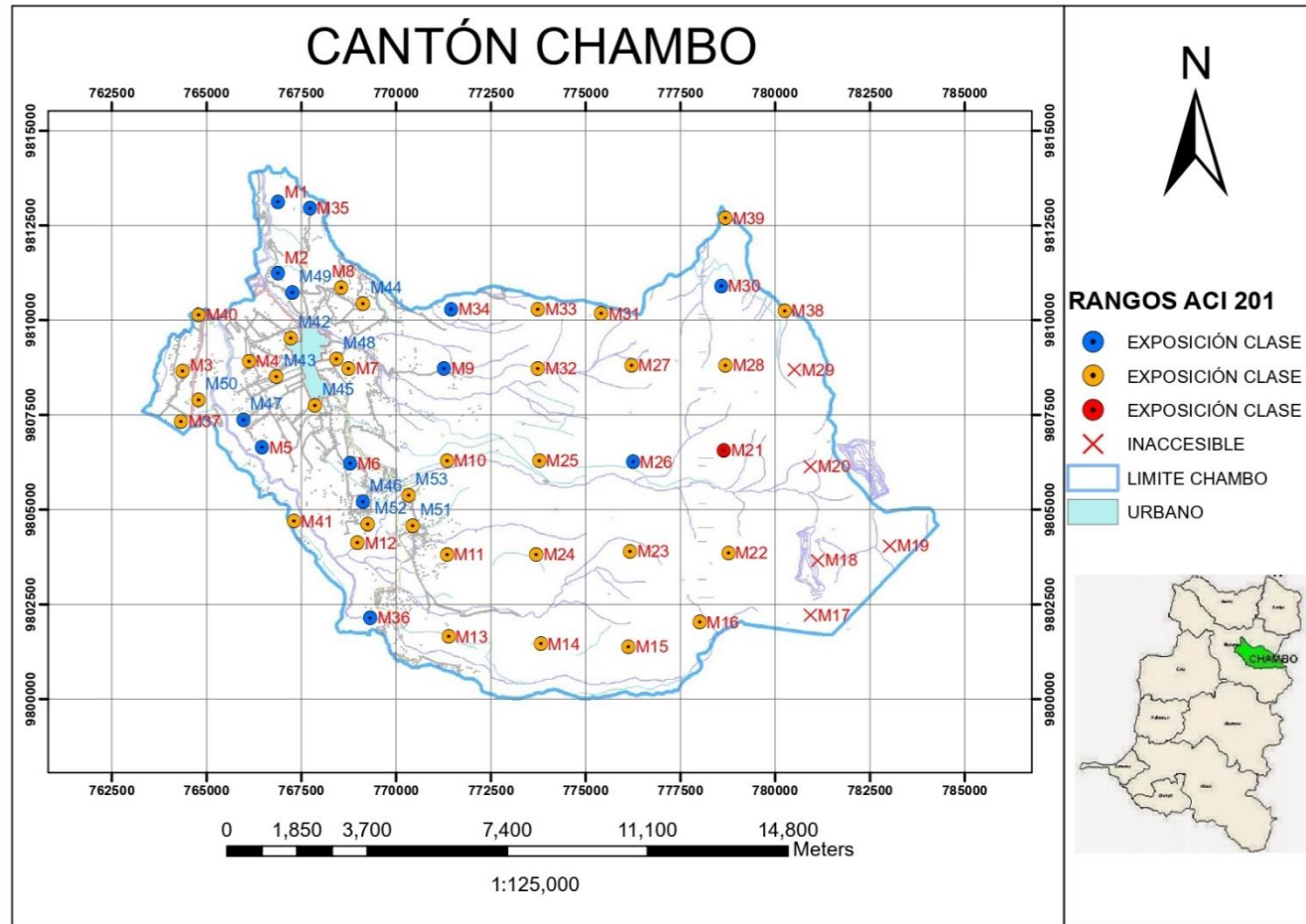
Concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la NEC.



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Figura 6

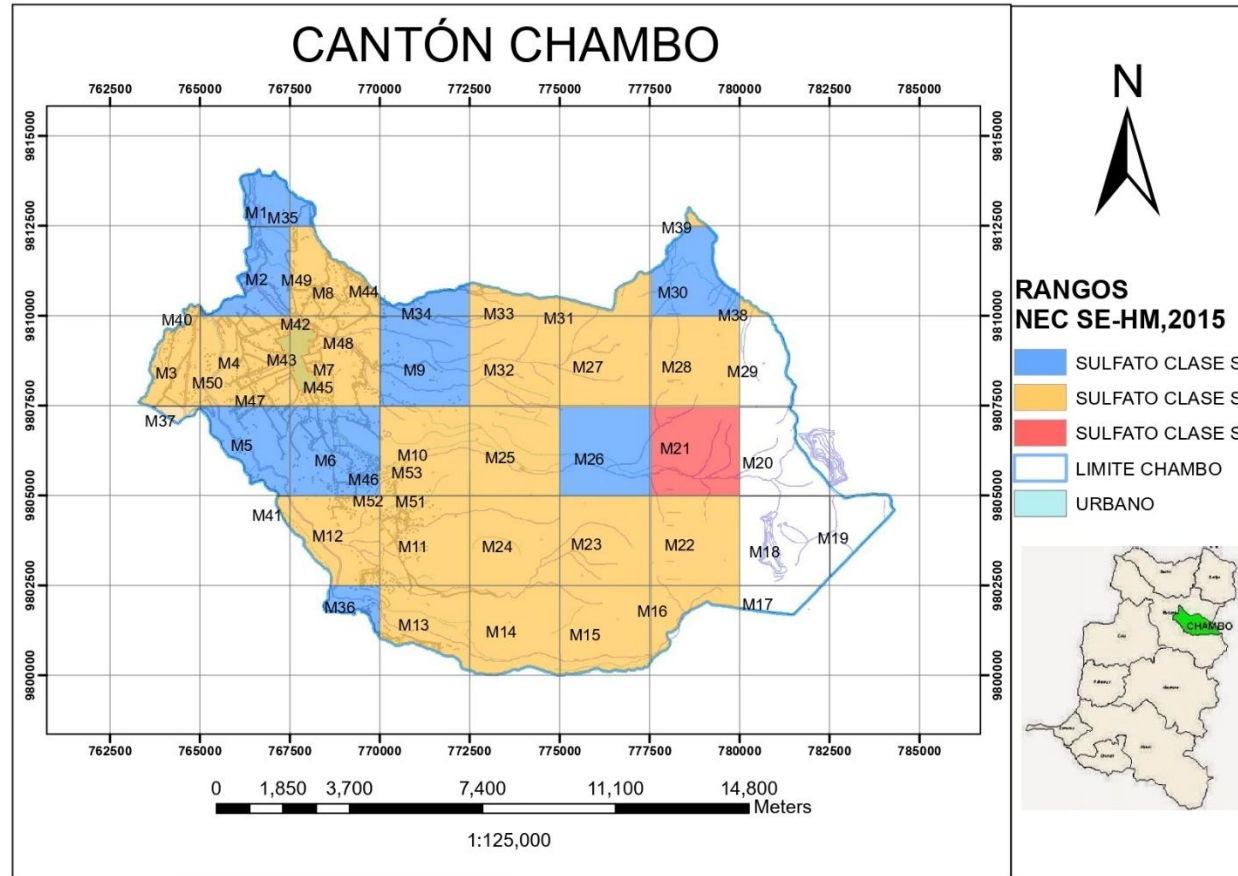
Concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la ACI.



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Figura 7

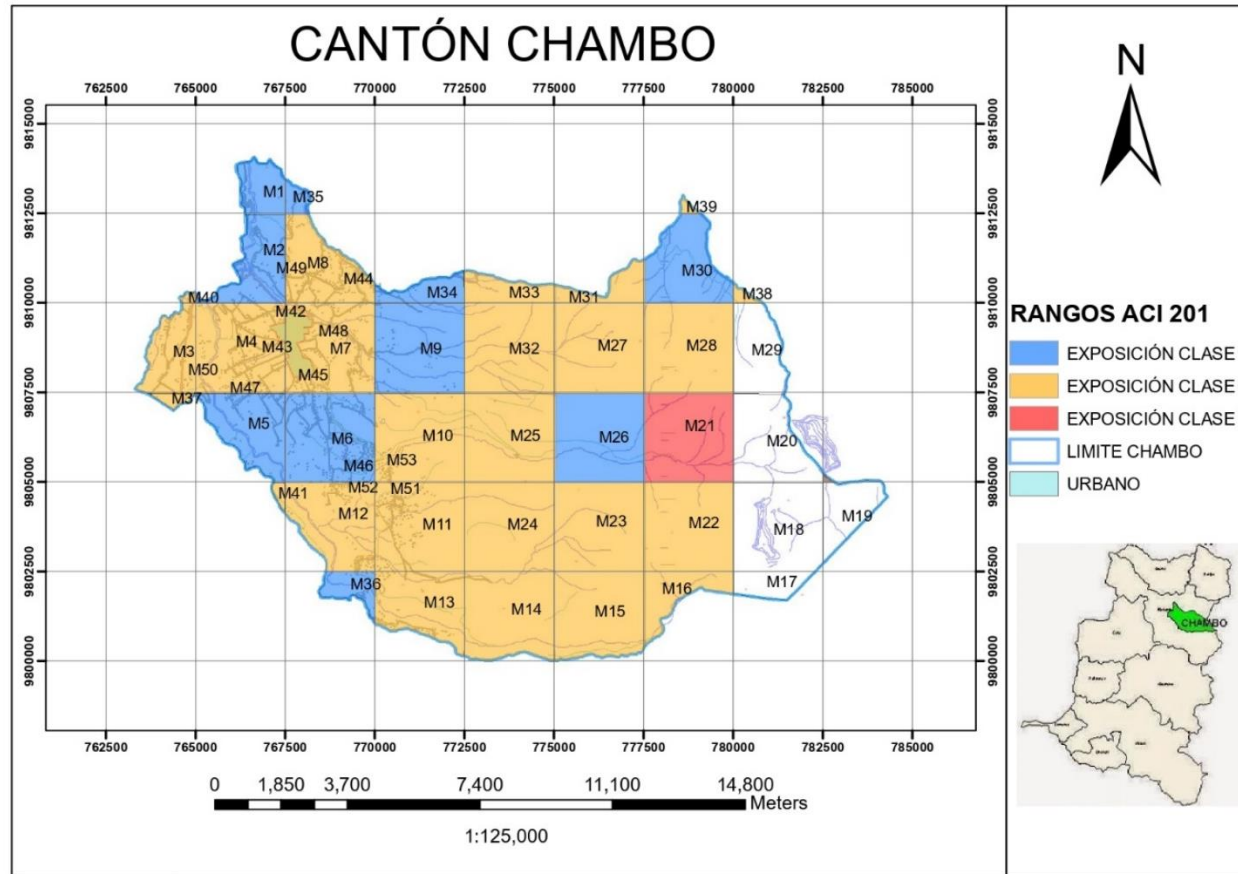
Zonificación de la concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la NEC.



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Figura 8

Zonificación de concentración de Sulfatos en el cantón Chambo según la ACI.



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Podemos llegar a caracterizar la concentración de sulfatos mediante las comparaciones de las normativas existentes, en las normativas NEC (**Tabla 1**) y ACI (**Tabla 2**) se analizan concentraciones comprendidas entre los 150 a 10000 sulfatos (SO_4) en agua, ppm.

Según los parámetros establecidos en la ACI se obtuvo como resultados:

- 13 muestras son de exposición **Clase 1** ($150 < \text{SO}_4 < 1500$).
- 34 muestras son de exposición **Clase 2**. ($1500 \leq \text{SO}_4 \leq 10000$)
- 1 muestra es de exposición **Clase 3** ($\text{SO}_4 \geq 10000$).

Con lo descrito anteriormente se realizó un mapa de zonificación (Ver Ilustración 7) con las muestras en las cuales existe una mayor concentración de sulfatos para una mejor interpretación.

Según los parámetros establecidos en la NEC se obtuvo como resultados:

- 13 muestras son **S1 (Moderadas)** con una concentración de $150 < \text{SO}_4 < 1500$
- 34 muestras son **S2 (Severa)** con una concentración de $1500 \leq \text{SO}_4 \leq 10000$.
- 1 muestras de **S3 (Muy Severa)** con una concentración de $\text{SO}_4 > 10000$.

Se detalla la ubicación de las muestras con su concentración de sulfatos en el mapa de zonificación según la normativa NEC (Ver Ilustración 8).

La norma BSI (Tablas 3) se obtuvo en los resultados muestras que se encuentran en la clasificación de **Entorno Químico Ligeramente Agresivo** 2000 a 3000 ppm y **Entorno Químico Moderadamente Agresivo** de 3000 a 12000 ppm.

4.2 Descripción de los elementos estructurales en viviendas del cantón Chambo.

En las zonas donde los ensayos de laboratorio evidenciaron la presencia de un alto contenido de sulfatos se pudo observar que si se presentan patologías desde la parte inferior edificaciones hasta una altura determinada.

El tipo de patologías presentes en las viviendas empieza con la presencia de sales, cambio de coloración seguido de la aparición de fisuras entrecruzadas y va aumentando el espesor provocando que el hormigón superficial sufra una delaminación de las capas producidas por la expansión debido a las reacciones químicas que se originan por la presencia de sulfatos al entrar en contacto con los componentes del cemento.

Tabla 9

Patologías presentes en viviendas del cantón Chambo

Patologías de las viviendas en el cantón Chambo	
Muestras	Patología
Concentración Moderada de Sulfatos	
M2, M5, M6, M45, M47, las paredes de las viviendas, M49	Poca presencia de humedad en poco o modera desprendimiento de material. (Ver Anexo 5)
Concentración Severa de Sulfatos	
M4, M7, M8, M10, M11, M12, M40, M41, M42, M43, M44, M48, M51, M52, M53	Presencia de humedad, desprendimiento del material, presencia de sales y cambio en la coloración de los elementos superficiales. (Ver Anexo 6)

Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

4.3 Discusión

Con los resultados que se obtuvo mediante el ensayo de granulometría basado en el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” especificados en la Tabla 8, se puede decir que dentro del cantón se determinó que el 47.91% son suelos Limo Elástico Arenoso, 41.67 % son suelos Limo Arenoso con Grava, 8.33% son suelos de Arena Limosa con Grava y el 2.08% son suelos de Grava Arcillosa con Arena.

En la concentración de sulfatos tenemos como resultados analizando los parámetros establecidos en la norma NEC y la ACI con los resultados obtenidos con el ensayo tenemos que ambas normas tienen límites de clasificación similares encontrándose dentro de los rangos: Según la NEC So y según la ACI Clase 0 (0 a 150) no existe muestras dentro de este rango, Moderada S1 y Clase 1 (150 a 1500) un total de 13 muestras, Severa S2 y Clase 2 (1500 a 10000) un total de 34 muestras, Muy Severa S3 y Clase 3 ($SO_4 \geq 10000$) 1 muestra dentro del cantón y con la norma BSI se obtuvo en los resultados muestras que se encuentran en la clasificación de Entorno Químico Ligeramente Agresivo 2000 a 3000 ppm y Entorno Químico Moderadamente Agresivo de 3000 a 12000 ppm siendo la mayoría de resultados altos los que se encuentran dentro del rango de concentración de sulfatos en el suelo.

El ataque por sulfatos en las estructuras de hormigón es el más perjudicial en la zonificación realizada con los resultados de la presencia de los sulfatos con la norma NEC la clasificación más predominante dentro del cantón con un 71% dentro del territorio es la S2 Severa en la norma NEC y en la norma ACI predomina la Exposición de Clase 2, un 27% del territorio es de exposición es de Clase S1 y solo el 2% es de Clase S3 muy Severa.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con los resultados obtenidos de la clasificación SUCS de cada una de las muestras obtenidas del suelo del Cantón Chambo se pudo demostrar que los suelos del Cantón Chambo están constituidos en su mayoría por suelos limosos arenosos plásticos con grava. Esto se debe a que la mayoría de sus terrenos son utilizados para la agricultura. También se puede mencionar que presentan esta clasificación por la ubicación geográfica del Cantón ya que se encuentra en una zona con altos índices climáticos además que cruzan tres ríos y cuenta con una laguna.

En conclusión, dentro del cantón se determinó que el 47.91% son suelos Limo Elástico Arenoso, 41.67 % son suelos Limo Arenoso con Grava, 8.33% son suelos de Arena Limosa con Grava y el 2.08% son suelos de Grava Arcillosa con Arena.

Mediante los ensayos realizados en el laboratorio para medir la concentración de SO_4 . se pudo determinar que el Cantón Chambo si presenta un riesgo considerable ya sea para futuras construcciones o construcciones existentes. Al obtener los resultados y según las Normativas utilizadas en esta investigación como la NEC, ACI y BSI, el Cantón Chambo presenta tres clases de exposiciones: S1 (moderada), S2 (severa) y S3 (muy severa), siendo la S2 la más predominante del cantón, siguiéndole la exposición S1.

Se determinó mediante la investigación y con los resultados obtenidos que Chambo si presenta suelos con gran cantidad de concentración por sulfatos y esto también se pudo evidenciar al analizar las diferentes viviendas dentro de las zonas de concentración de sulfatos son severas, los elementos superficiales presentaban patologías, así como desprendimiento de material, manchas de color blanco.

El análisis de patologías en viviendas relacionadas con la exposición de sulfatos permite establecer que dentro del cantón tiene una severa concentración debido a que el cantón está ubicado en el páramo donde existe una constante presencia de lluvias.

5.2 Recomendaciones

El Cantón Chambo si presenta riesgos considerables por concentraciones de sulfatos en el suelo por lo que se puede recomendar al momento de realizar una edificación que se realice un cambio de suelo de por lo menos un metro de profundidad.

Se recomienda utilizar materiales de alta calidad como el tipo de cemento como es el Tipo V: Alta resistencia a los Sulfatos o a su vez utilizar barreras impermeables para que el suelo no esté en contacto directo con la cimentación evitando que los sulfatos se filtren y dañen la construcción.

Para las viviendas que evidencian patologías relacionadas con la alta exposición de sulfatos se recomienda realizar inspecciones periódicas y contar con un mantenimiento adecuado para detectar cualquier patología del hormigón.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 201. (2012). Guía para la durabilidad del hormigón. www.udocz.com
- AME. (2022). Cantón Chambo _ Asociación de Municipalidades Ecuatorianas.
- ASTM D420. (2018). Standard Guide for Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes. In ASTM.
- ASTM D2487. (2011). Práctica estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos).
- ASTM-C1580. (2020). Standard test method for water-soluble sulfate in soil.
- BSI. (2013). BSI Standards Publication Concrete-Specification, performance, production and conformity. British Standards Institution.
- Catur Muraña, F. J. (2021). Valoración del hormigón ante ataque de sulfatos. *Revista Ingeniería*, 5(12), 180–192. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.83>
- Díaz Malagón, J. (2019). Alteraciones que producen el ciclo hielo – deshielo y los ataques por sulfato en el concreto. Universidad Santo Tomás.
- Fuertas, F., Gutiérrez, R., Fernández, A., Delvasto, S., & Maldonado, J. (2002). Morteros de cemento alcalinos. Resistencia química al ataque por sulfatos y agua de mar. <https://www.researchgate.net/publication/45404288>
- GADM Chambo. (2019). Actualización del plan estratégico y Ordenamiento Territorial del cantón Chambo. Gobierno Autónomo Descentralizado Del cantón Chambo.
- Catur Muraña, F. J. (2021). Valoración del hormigón ante ataque de sulfatos. *Revista Ingeniería*, 5(12), 180–192. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.83>
- INEC. (2001). Cantón Chambo. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Izquierdo, S., Díaz, J., Gutiérrez, R. M. De, & Torres, J. (2005). Durability of FCC - blended mortar exposed to sodium and magnesium sulfate Durabilidad de morteros adicionados con FCC expuestos a sulfato de magnesio y sulfato de sodio. 31, 183–190.
- INEC. (2001). Cantón Chambo. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Catur Muraña, F. J. (2021). Valoración del hormigón ante ataque de sulfatos. *Revista Ingeniería*, 5(12), 180–192. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.83>
- INEC. (2001). Cantón Chambo. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Izquierdo, S., Díaz, J., Gutiérrez, R. M. De, & Torres, J. (2005). Durability of FCC - blended mortar exposed to sodium and magnesium sulfate Durabilidad de morteros adicionados con FCC expuestos a sulfato de magnesio y sulfato de sodio. 31, 183–190.
- Melendez Muñoz, M. (2019). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Facultad De Ingeniería. Cerro de Pasco, 92. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1654>
- Monjo Carrió, J., & Maldonado Ramos, L. (2001). Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónica.
- 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>
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1983). Ingeniería de cimentaciones (Peck-Hanson-Thornburn).pdf (p. 564).

- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., & Oñate, F. (2017). Fundamentos de SIG Water Resources Master Program-UTPL View project Land use and land abandonment View project (Issue July).
- Rollano Quintana, M. E. (2019). Influencia de corrosión del acero bajo los elementos de hormigón armado con adiciones anticongelantes. *Revista Ingeniería*, 3(6), 127–148. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v3i6.38>
- Rossiter, D. G. (2004). Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. https://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/soils/_static/files/pdf/SSM_LectureNotes2_E.pdf.
- Sánchez Oñate, D. M., Chiliquinga Cando, J. P., Flores Montalvo, E. P., & Orosco Tacuri, M. K. (2020). Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador. *Revista Politécnica*, 46(1), 29–38. <https://doi.org/10.33333/rp.vol46n1.03>.
- Santamaría, J., Morales, L., & Pilaluisa, J. (2018). Modelo para dosificación de mezclas de hormigón utilizando lógica difusa. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 54–61. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.815>
- Torres-Gonzales, Y., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 25–36. <https://doi.org/10.53942/srjcid.v1i1.43>
- 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(1), 0–6. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevin/article/view/14875/15680>

ANEXOS

Anexo 1

Tabla clasificación de suelos del cantón Chambo según la SUCS.

N de muestra	% PASA								Limite Líquido	Limite Plástico	Indice Plástico	w%	SUCS	DESCRIPCION SUCS
	1	3/4	1/2	3/8	4	10	40	200						
M1	100	100	100	100	98	97	91	63	0	0	0	12	ML	
M2	100	100	100	100	100	100	96	72	99	79	20	39	MH	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M3	100	100	100	100	100	100	98	70	0	0	0	14	ML	LIMO ARENOSO, NO PLASTICO, LIGERAMENTE HÚMEDO, COLOR CAFÉ CLARO.
M4	100	100	100	100	97	94	89	51	0	0	0	16	ML	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M5	100	100	100	100	100	100	99	82	33	27	6	31	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M6	100	100	100	100	100	100	98	62	0	0	0	31	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ CLARO.

M7	100	100	100	100	92	92	89	71	39	27	12	28	ML	LIMO ARENOSO CON GRAVA, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M8	100	100	100	100	100	100	98	85	50	30	20	24	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M9	100	100	100	100	88	84	80	52	0	0	0	14	ML	LIMO AREOSO CON GRAVA, NO PLASTICO, LIGERAMENTE HÚMEDA, COLOR CAFÉ CLARA AMBAR.
M10	100	100	100	100	100	98	95	85	42	30	12	33	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ CLARA.
M11	100	100	100	100	100	99	87	41	41	30	11	27	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ OSCURO.
M12	100	100	100	100	100	100	99	81	45	35	10	33	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M13	100	100	100	100	100	100	99	88	61	44	17	35	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.

M14	100	100	100	100	100	100	99	82	70	54	16	52	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO CON RAICES, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M15	100	100	100	100	100	100	98	81	76	56	20	50	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M16	100	100	100	100	100	100	99	86	63	45	18	36	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO CON RAICES, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M17	NO EXISTEN DATOS													
M18	NO EXISTEN DATOS													
M19	NO EXISTEN DATOS													
M20	NO EXISTEN DATOS													
M21	100	100	100	100	84	64	43	26	0	0	0	11	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA, NO PLASTICA, HUMEDA, COLOR CAFÉ CLARO.
M22	100	100	100	100	99	99	98	82	107	71	38	67	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO CON GRAVA, PLASTICO, MUY HÚMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M23	100	100	100	100	100	100	98	77	95	73	22	62	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, MUY HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.

M24	100	100	100	100	84	68	51	33	0	0	0	16	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA, NO PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ CLARO.
M25	100	100	100	100	100	99	98	87	98	75	23	67	MH	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M26	100	100	100	100	68	61	57	45	48	27	21	27	GC	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ OSCURO.
M27	100	100	100	100	100	100	99	89	87	60	27	67	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, MUY HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M28	100	100	100	100	67	67	66	54	135	100	35	93	MH	LIMO ELATICO ARENOSO CON GRAVA Y RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M29	NO EXISTEN DATOS													
M30	100	100	100	100	100	100	97	72	86	71	15	61	MH	LIMO ELATICO ARENOSO, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M31	100	100	100	100	100	100	98	82	112	87	25	79	MH	LIMO ELATICO ARENOSO, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.

M32	100	100	100	100	89	67	43	25	0	0	0	12	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA, NO PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ CLARO.
M33	100	100	100	100	99	97	95	87	75	46	29	50	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO CON GRAVA, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M34	100	100	100	100	100	100	97	75	94	67	27	67	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M35	100	100	100	100	100	99	98	74	0	0	0	23	ML	LIMO ARENOSO, NO PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M36	100	100	100	100	96	93	83	63	35	31	4	27	ML	LIMO ARENOSO CON GRAVA, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M37	100	100	100	100	89	83	71	41	0	0	0	4	SM	ARENA LIMOSA, NO PLASTICA, LIGERAMENTE SECA, COLOR CAFÉ CLARO AMBAR.
M38	100	100	100	100	100	100	99	73	45	36	9	31	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.

M39	100	100	100	100	100	100	96	75	97	74	23	68	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M40	100	100	100	100	100	100	99	74	44	32	12	33	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M41	100	100	100	100	100	99	97	81	60	37	23	38	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M42	100	100	100	100	98	96	90	50	0	0	0	15	ML	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M43	100	100	100	100	97	90	88	52	0	0	0	18	ML	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M44	100	100	100	100	100	100	97	86	50	28	19	20	MH	LIMO ELASTICO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M45	100	100	100	100	100	100	97	60	0	0	0	34	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ CLARO.
M46	100	100	100	100	100	100	98	62	0	0	0	31	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ CLARO.

M47	100	100	100	100	100	100	97	80	35	25	8	34	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M48	100	100	100	100	90	92	87	72	40	29	10	30	ML	LIMO ARENOSO CON GRAVA, PLASTICO, HÚMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M49	100	100	100	100	100	100	95	73	98	80	19	38	MH	LIMO ELATICO ARENOSO CON RAICES, MUY HUMEDO, COLOR NEGRUZCO.
M50	100	100	100	100	100	100	96	72	0	0	0	16	ML	LIMO ARENOSO, NO PLASTICO, LIGERAMENTE HÚMEDO, COLOR CAFÉ CLARO.
M51	100	100	100	100	100	97	85	40	40	32	14	29	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ OSCURO.
M52	100	100	100	100	100	100	98	82	42	36	12	35	ML	LIMO ARENOSO, HUMEDO, COLOR CAFÉ OSCURO.
M53	100	100	100	100	100	98	95	85	42	30	12	33	ML	LIMO ARENOSO, PLASTICA, HÚMEDA, COLOR CAFÉ CLARA.

Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Anexo 2

Tabla de concentración de Sulfatos en el cantón Chambo

N de muestras	Concentración total de sulfatos mg/kg	Concentración total de sulfatos mg/l	Concentración de sulfatos ppm	% en masa de sulfatos	NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)	ACI (American Concrete Institute)	BSI (British Standards Institution)
M1	270	270	270	0.027	S1 Moderada	CLASE 1	
M2	360	360	360	0.036	S1 Moderada	CLASE 1	
M3	3495	3495	3495	0.3495	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M4	2065	2065	2065	0.2065	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M5	640	640	640	0.064	S1 Moderada	CLASE 1	
M6	1015	1015	1015	0.1015	S1 Moderada	CLASE 1	
M7	2740	2740	2740	0.274	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M8	1863.33	1863.33	1863.33	0.1863333	S2 Severa	CLASE 2	
M9	460	460	460	0.046	S1 Moderada	CLASE 1	
M10	2005	2005	2005	0.2005	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M11	2715	2715	2715	0.2715	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M12	3995	3995	3995	0.3995	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M13	4025	4025	4025	0.4025	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO

M14	1795	1795	1795	0.1795	S2 Severa	CLASE 2	
M15	3175	3175	3175	0.3175	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M16	3540	3540	3540	0.354	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M17	NO EXISTEN DATOS						
M18	NO EXISTEN DATOS						
M19	NO EXISTEN DATOS						
M20	NO EXISTEN DATOS						
M21	11626.67	11626.67	11626.67	1.1626667	S3 Muy Severa	CLASE 3	MODERADAMENTE AGRESIVO
M22	2210	2210	2210	0.221	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M23	2415	2415	2415	0.2415	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M24	2065	2065	2065	0.2065	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M25	1930	1930	1930	0.193	S2 Severa	CLASE 2	
M26	1423.33	1423.33	1423.33	0.1423333	S1 Moderada	CLASE 1	
M27	3960	3960	3960	0.396	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M28	1920	1920	1920	0.192	S2 Severa	CLASE 2	
M29	NO EXISTEN DATOS						
M30	1243.33	1243.33	1243.33	0.1243333	S1 Moderada	CLASE 1	
M31	2480	2480	2480	0.248	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO

M32	1945	1945	1945	0.1945	S2 Severa	CLASE 2	
M33	1676.67	1676.67	1676.67	0.1676667	S2 Severa	CLASE 2	
M34	620	620	620	0.062	S1 Moderada	CLASE 1	
M35	1460	1460	1460	0.146	S1 Moderada	CLASE 1	
M36	880	880	880	0.088	S1 Moderada	CLASE 1	
M37	2680	2680	2680	0.268	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M38	3820	3820	3820	0.382	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M39	2776.67	2776.67	2776.67	0.2776667	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M40	2500	2500	2500	0.25	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M41	5570	5570	5570	0.557	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M42	2055	2055	2055	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M43	2085	2085	2085	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M44	1880	1880	1880	0.557	S2 Severa	CLASE 2	
M45	2675	2675	2675	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M46	1486.67	1486.67	1486.67	0.557	S1 Moderada	CLASE 1	
M47	1490	1490	1490	0.557	S1 Moderada	CLASE 1	
M48	2730	2730	2730	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO

M49	370	370	370	0.557	S1 Moderada	CLASE 1	
M50	3055	3055	3055	0.557	S2 Severa	CLASE 2	MODERADAMENTE AGRESIVO
M51	2655	2655	2655	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M52	2505	2505	2505	0.557	S2 Severa	CLASE 2	LIGERAMENTE AGRESIVO
M53	1710	1710	1710	0.557	S2 Severa	CLASE 2	

Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Anexo 3

Toma de muestras dentro del cantón Chambo



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Anexo 4

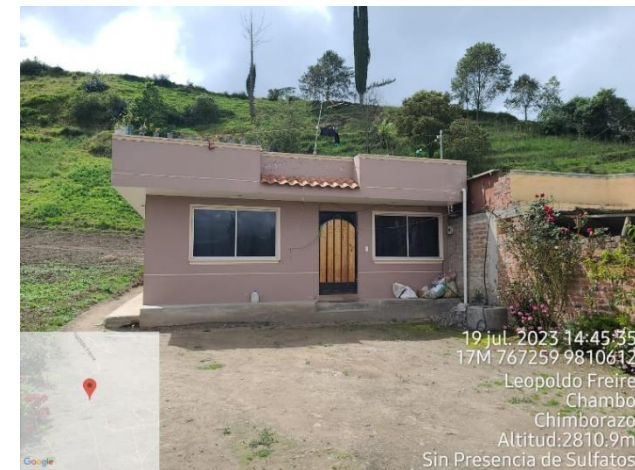
Ensayo de Clasificación SUCS



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Anexo 5

Viviendas con moderada concentración de Sulfatos



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)

Anexo 6

Viviendas con Severa concentración de sulfatos.



Fuente:(Colcha & Salazar, 2023)