



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

**Título:**

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

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Naula Cepeda Jessica María  
Vaca Aguayo Wilmer Stalin

**Tutor:**

Mgs. Andrea Natali Zarate Villacrés

**Riobamba, Ecuador 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Jessica María Naula Cepeda**, con cédula de ciudadanía **0150082345** y **Wilmer Stalin Vaca Aguayo**, con cédula de ciudadanía **1720605896**, autores del trabajo de investigación titulado: **EXPOSICIÓN POR SULFATOS EN EL SUELO A LOS ELEMENTOS SUPERFICIALES DE HORMIGÓN DE VIVIENDAS DEL CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, certificamos 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, a los 6 días del mes de noviembre de 2023.



---

Jessica María Naula Cepeda

C.I: 0150082345



---

Wilmer Stalin Vaca Aguayo

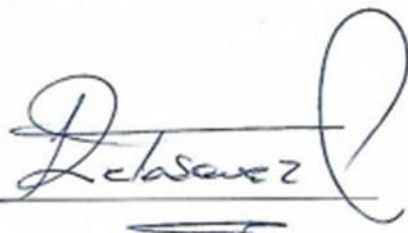
C.I: 1720605896

## 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 COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, presentado por Jessica María Naula Cepeda, con cédula de ciudadanía 015008234-5 y Wilmer Stalin Vaca Aguayo, con cédula de ciudadanía 172060589-6, 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 a los 6 días del mes de noviembre de 2023.

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Cristian Andrés Marcillo Zapata Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés, Mgs.  
**TUTOR**



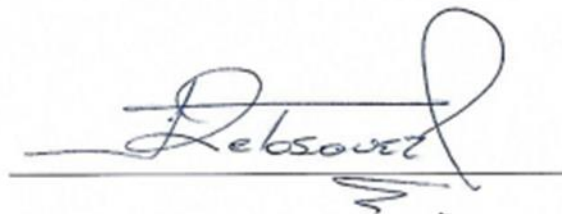
---

## 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 COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** presentado por Jessica María Naula Cepeda, con cédula de ciudadanía 0150082345 y Wilmer Stalin Vaca Aguayo, con cédula de ciudadanía 1720605896, bajo la tutoría de Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés, Mgs; 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 a los 6 días del mes de noviembre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado  
Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides Mgs.



Miembro del Tribunal de Grado  
Ing. Cristian Andrés Marcillo Zapata Mgs.



Miembro del Tribunal de Grado  
Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs



## CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



## CERTIFICACIÓN

Que, **NAULA CEPEDA JESSICA MARÍA** con CC: **015008234-5** y **VACA AGUAYO WILMER STALIN** con CC: **172060589-6**, estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha 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 COLTA, 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, 26 de octubre de 2023

Ing. Andrea Natali Zárate Villacrés Mgs.  
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mi familia y a mi pareja, quienes me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria. Este logro es para ustedes, quienes siempre creyeron en mí, siempre me dieron consejos y palabras de aliento para poder llegar hasta este punto de mi vida. Es un orgullo y un privilegio poder darles una alegría como esta.

A mi abuelito, quien en vida fue Gregorio Naula Silva, este es un logro en su honor pues él me enseñó que el esfuerzo, la honestidad y la dedicación te llevan lejos. Gracias a tus enseñanzas que me siguen guiando día a día. Mi corazón aún anhela tu presencia, pero sé que estarás contento y orgulloso del logro de tu niña donde quiera que estés.

*Jéssica María Naula Cepeda*

Dedico este trabajo a mi padre José, quien me impulso a seguir a delante y me dio la fuerza necesaria para culminar esta meta además de ser mi ejemplo a seguir, a mi madre María, quien siempre estuvo a mi lado apoyándome y alentó a continuar, cuando parecía que e iba a rendir.

A mis hermanas Allison y Helen, por siempre creer en mí y brindándome su apoyo moral. A mi abuelita Clemencia y mi tío Vinicio, por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida.

¡Gracias, por su apoyo!

*Wilmer Stalin Vaca Aguayo*

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera expresar mi agradecimiento a Dios, por la fortaleza, su gracia, su gran amor, su sabiduría ya que con ellos me ha guiado y me ha permitido llegar hasta este momento; en el cual culmino una más de las etapas de mi vida educativa.

A mis padres, Pedro Naula y Elena Cepeda, por darme la vida y por su apoyo para poder cumplir mis metas personales y académicas. Ellos han sido quienes me han inspirado a perseguir mis ideales y no decaer ante cualquier adversidad. Agradezco de todo corazón por todos sus consejos, por su soporte material y económico que me han brindado para que pudiera concentrarme en mis estudios y llegar a ser una profesional.

A mi pareja, Edison Yantalema, por su apoyo incondicional brindada durante la carrera y la realización de este proyecto, por todo el amor que me brinda y la inspiración que me forja para convertirme en la mujer que quiero ser.

Finalmente, pero no menos importante quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo y los docentes quienes me han ayudado en mi formación profesional y a su exigencia en la misma. De manera especial a la Ing. Andrea Zárate, mi tutora de tesis y a Wilmer Vaca, mi compañero de tesis; quienes fueron mis principales colaboradores durante todo el proceso de desarrollo del trabajo investigativo.

*Jéssica María Naula Cepeda*

Agradezco a Dios, por brindarme de salud y sabiduría durante toda mi etapa como estudiante, por permitirme cumplir mis metas y objetivos, que tanto he anhelado y poder ser un profesional más de este País.

Además, a la Universidad Nacional de Chimborazo por permitir unirme a su comunidad estudiantil. A la carrera de Ingeniería Civil y sus docentes por guiarme y estar pendientes en mi formación académica como nuevo profesional.

Un especial agradecimiento a mis padres José Vaca y María Aguayo, quienes gracias a su amor, paciencia, esfuerzo y confianza me permitieron cumplir uno de mis mayores sueños, por lo cual estoy eternamente agradecido por todo su apoyo y tiempo que dedicación hacia mí,

A mis familiares y amigos, que siempre estuvieron aconsejándome y ayudando cuando más lo necesitaba, por lo que estoy completamente agradecido por la confianza que me han brindado.

A mi compañera de trabajo Jessica Naula, por el esfuerzo dedicado para lograr cumplir este trabajo de investigación y por tener la confianza de trabajar conmigo.

A la Mgs. Andrea Zarate agradezco por brindarnos su calidad como tutora y docente, en la colaboración e interés en esta tesis; gracias a su paciencia y observaciones se logró llegar a esta instancia tan anhelada.

*Wilmer Stalin Vaca Aguayo*



## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN ..... 13

ABSTRACT ..... 14

CAPÍTULO I. Introducción..... 15

1.1 Antecedentes ..... 15

1.2 Planteamiento del Problema ..... 16

1.3 Justificación ..... 17

1.4 Objetivos ..... 17

1.4.1 General ..... 17

1.4.2 Específicos ..... 17

CAPÍTULO II. Marco Teórico ..... 18

2.1 Cimentación ..... 18

2.2 Cimentaciones superficiales ..... 18

2.3 Tipos de cimentaciones superficiales..... 19

2.3.1 Zapata aislada..... 19

2.3.2 Zapata corrida o combinada ..... 19

2.3.3 Losa de cimentación..... 20

2.4 Hormigón ..... 20

2.5 Patologías del hormigón ..... 21

2.6 Patologías por procesos químicos ..... 21

2.7 Sulfatos ..... 21

2.8 Ataque de sulfatos en el hormigón ..... 21

2.8.1 Formación de yeso ..... 22

2.8.2 Formación de etringita ..... 22

2.9 Categoría y clase de exposición de sulfato ..... 22

2.10 Hormigón resistente a sulfato ..... 24

2.11 Granulometría ..... 25

2.12	Contenido de humedad .....	25
2.13	Límites de Atterberg .....	25
2.13.1	Limite líquido .....	25
2.13.2	Limite plástico .....	25
2.13.3	Límite de contracción .....	25
2.14	Clasificación SUCS .....	25
2.14.1	Suelo de grano grueso .....	26
2.14.2	Suelo de grano fino.....	26
2.15	ArcGIS .....	27
CAPÍTULO III. Metodología .....		28
3.1	Tipo de Investigación.....	28
3.2	Diseño de Investigación.....	28
3.3	Técnicas de recolección de Datos .....	29
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra .....	29
3.5	Pregunta de investigación .....	31
3.6	Métodos de análisis e interpretación.....	31
3.6.1	Granulometría.....	31
3.6.2	Contenido de humedad.....	32
3.6.3	Límites de Atterberg.....	32
3.6.4	Concentración de Sulfatos.....	32
CAPÍTULO IV. Resultados y Discusión.....		34
4.1	Sondeo de campo .....	34
4.2	Clasificación de suelos.....	37
4.3	Concentración de sulfatos .....	39
4.3.1	Concentración de sulfatos en los distintos tipos de suelo del cantón Colta .....	45
4.4	Descripción de las patologías presentes en las viviendas en el cantón Colta. ....	48
4.5	Discusión .....	52
CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones .....		53
5.1	Conclusiones .....	53
5.2	Recomendaciones .....	53
BIBLIOGRAFÍA .....		55
ANEXOS.....		59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas</i> .....	23
<b>Tabla 2</b> <i>Categorías y clase de exposición según la NEC</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Requisitos para mezclas del Hormigón</i> .....	24
<b>Tabla 4</b> <i>Tamices utilizados en el ensayo de granulometría</i> .....	31
<b>Tabla 5</b> <i>Coordenadas de los puntos de extracción</i> .....	34
<b>Tabla 6</b> <i>Clasificación de suelos según SUCS</i> .....	37
<b>Tabla 7</b> <i>Categorización de las muestras según la concentración de sulfatos.</i> .....	40
<b>Tabla 8</b> <i>Registro de patologías en viviendas del cantón Colta</i> .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Zapata aislada</i> .....	19
<b>Figura 2</b> <i>Zapata combinada</i> .....	20
<b>Figura 3</b> <i>Losa de cimentación</i> .....	20
<b>Figura 4</b> <i>Esquema del diseño de la investigación</i> .....	28
<b>Figura 5</b> <i>Cantón Colta con sus parroquias</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Ejemplo de puntos inaccesibles</i> .....	30
<b>Figura 7</b> <i>Gráfica de los puntos de extracción de la muestra en el cantón Colta.</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Tabulación de los tipos de suelos del cantón Colta</i> .....	39
<b>Figura 9</b> <i>Tabulación de muestras según la categoría de exposición</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Comparación entre tipo de concentración y tipo de suelo en las muestras del cantón Colta</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Concentración de sulfatos en suelo tipo GP-GM del cantón Colta</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Concentración de sulfatos en suelo tipo ML del cantón Colta</i> .....	46
<b>Figura 13</b> <i>Concentración de sulfatos en suelo tipo SM del cantón Colta</i> .....	47
<b>Figura 14</b> <i>Concentración de sulfatos en suelo tipo GP, MH, CH, MH-CH del cantón Colta</i> .....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Evidencia de patología en el punto 6</i> .....	59
<b>Anexo 2</b> <i>Evidencia de patología en el punto 8</i> .....	59
<b>Anexo 3</b> <i>Evidencia de patología en el punto 18</i> .....	59
<b>Anexo 4</b> <i>Evidencia de patología en el punto 24</i> .....	60
<b>Anexo 5</b> <i>Evidencia de patología en el punto 26</i> .....	60
<b>Anexo 6</b> <i>Evidencia de patología en el punto 30</i> .....	60
<b>Anexo 7</b> <i>Evidencia de patología en el punto 33</i> .....	61
<b>Anexo 8</b> <i>Evidencia de patología en el punto 35</i> .....	61
<b>Anexo 9</b> <i>Evidencia de patología en el punto 36</i> .....	61
<b>Anexo 10</b> <i>Evidencia de patología en el punto 37</i> .....	62
<b>Anexo 11</b> <i>Evidencia de patología en el punto 44</i> .....	62
<b>Anexo 12</b> <i>Evidencia de patología en el punto 46</i> .....	62
<b>Anexo 13</b> <i>Evidencia de patología en el punto 47</i> .....	63
<b>Anexo 14</b> <i>Evidencia de patología en el punto 49</i> .....	63
<b>Anexo 15</b> <i>Evidencia de patología en el punto 66</i> .....	63
<b>Anexo 16</b> <i>Evidencia de patología en el punto 74</i> .....	64
<b>Anexo 17</b> <i>Evidencia de patología en el punto 79</i> .....	64
<b>Anexo 18</b> <i>Evidencia de patología en el punto 80</i> .....	64
<b>Anexo 19</b> <i>Clasificación de los suelos en el cantón Colta</i> .....	65
<b>Anexo 20</b> <i>Zonificación según la concentración de sulfatos en el cantón Colta.</i> .....	66

## RESUMEN

Colta es uno de los cantones de la provincia de Chimborazo cuya cabecera cantonal es Cajabamba. La mayor parte del territorio de este cantón está conformado por parroquias rurales, en donde los pobladores no acatan métodos de diseños al momento de planificar la construcción de sus viviendas; pues en su mayoría lo realizan de manera empírica con conocimientos básicos. El hecho de no considerar las normativas vigentes al momento de la construcción, resulta en el deterioro temprano de la misma; reduciendo así la vida útil de la vivienda y presentándose patologías relacionadas al contenido de sulfatos en el suelo (agrietamientos, humedad, asentamientos, desprendimiento de concreto, corrosión del acero de refuerzo y eflorescencia). La presente investigación tiene como objetivo principal el análisis de la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Colta, partiendo por la identificación de los puntos para la extracción de muestras a través del uso del software ArcGIS y del método de muestreo sistemático. Se realizaron los ensayos de granulometría (NTE INEN - 696), contenido de humedad (NTE INEN - 690) y límites de Atterberg: límite líquido (NTE INEN - 691) y límite plástico (NTE INEN - 692) para la posterior clasificación del suelo utilizando el método Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS). Así mismo se realizó el ensayo de concentración de sulfatos del suelo siguiendo la normativa ASTM C1580-20. En base a los resultados de las muestras extraídas se determinó que la mayor parte del territorio de Colta está formada por suelos tipo arenas limosas (SM). Además, se realizó un mapa con una zonificación con los distintos tipos de suelos, así también con las concentraciones de sulfatos que en su mayoría son de severidad “Severa” según la NEC y “Exposición clase 2” según la ACI. Finalmente, se determinó que si existe presencia de sulfatos en todas las muestras analizadas; además se identificaron posibles patologías relacionadas al contenido de sulfatos presente en el suelo.

**Palabras claves:** Sulfatos, suelo, elementos superficiales, hormigón, patologías.

## ABSTRACT

Colta is one of the cities of the province of Chimborazo, which capital is Cajabamba. Most of the territory of this city is made up of rural communities where people don't follow design methods when they plan the construction of their homes. Most of them do it in an empirical way with basic knowledge. Failure to comply with current regulations at the time of construction will result in premature deterioration of the house, reducing its useful life and causing pathologies related to the sulfate content of the soil (cracks, moisture, settlement, concrete detachment, reinforcing steel's corrosion and efflorescence). The main objective of this research was the analysis of sulfate exposure in the soil of the concrete surface elements of houses in the Colta city, for which we started by identifying the points from which samples were taken through the use of ArcGIS software and the systematic sampling method. Tests were carried out for the sieve analysis of fine and coarse aggregates (NTE INEN - 696), moisture content of soil (NTE INEN - 690) and Atterberg limits: liquid limit of soils (NTE INEN - 691) and plastic limit of soils (NTE INEN - 692) tests were performed for subsequent soil classification using the Unified Soil Classification System method (SUCS). The soil sulfate concentration test was also carried out following ASTM C1580-20 standards. Based on the results of the samples collected, it was determined that the majority of the Colta territory consists of silty sand soils (SM). Besides, a map was drawn up zoning the different soil types and sulfate concentrations, most of which are "Severe" according to the NEC and "Exposure Class 2" according to the ACI. Finally, the presence of sulfates was detected in all the samples analyzed and possible pathologies related to the presence of sulfates in the soil were identified.

**Keywords:** Sulfates, soil, superficial elements, concrete, Colta.



JHON JAIRO INCA GUERRERO

Reviewed by:

Msc. Jhon Inca Guerrero.

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604136572

## **CAPÍTULO I. Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

El cantón Colta pertenece a la provincia de Chimborazo, se ubica en la parte noroccidental, colindando al norte, con las parroquias San Juan y Licán perteneciente al cantón Riobamba; al sur, con el cantón Pallatanga y parte del cantón Guamote; al este, con las parroquias Cacha, Punín, Flores perteneciente al cantón Riobamba y la parroquia Cebadas de Guamote; y, al oeste, con la provincia de Bolívar. Es el cuarto cantón con la mayor población en la provincia de Chimborazo pues cuenta con 50.431 habitantes (Gobierno Municipal de Colta, 2018).

Se encuentra a una altitud de 2750 – 3280 m.s.n.m. y posee una extensión de 850 km<sup>2</sup>; estas características hacen posible la existencia de una variedad de microclimas dependiendo de la altura. Partiendo de esta información se sabe que el suelo existente entre los 2500 y 3000 m.s.n.m, es de color pardo grisáceo y posee una textura franco-arenosa; y, entre los 3000 y 3500 m.s.n.m, es de color negro y su textura va entre arenosa y franco-arenosa (Gobierno Municipal de Colta, 2018).

El suelo presente en el cantón Colta es de origen piroclásticos, por ende este cuenta con altos niveles de contenido orgánico (Regalado et al., 2015), lo que incide en la posible existencia de sulfatos en el suelo. Este ataque de sulfatos se manifiesta en el concreto de distintas formas. Mientras la pasta de la mezcla se combina con el sulfato al momento de secarse, se forman un nuevo elemento, etringita y a su vez este ocupa el espacio vacío y a medida que continúan formándose, hacen que la pasta se agriete generando daños más significativos en el concreto (Jiménez & Lozano, 2018).

Según Cargua (2022), el crecimiento poblacional hace que la demanda de viviendas sea mayor dentro del cantón Colta, provocando un aumento en la construcción informal. Donde la mayoría de las edificaciones se construyen a través de mano de obra no calificada (mingas, peones, albañiles y maestros mayores), con conocimientos adquiridos empíricamente acerca de técnicas de construcción y a su vez la escasa información existente en el país sobre la acción de los sulfatos en el concreto hace que la edificación sea vulnerable al ataque del mismo.

La cimentación al ser un elemento de la subestructura se encuentra en contacto directo con el suelo y por ende está expuesto al ataque químico por sulfatos, por lo que es importante conocer la concentración del mismo; permitiéndonos identificar el nivel de severidad a la que está expuesta y de esta manera establecer requisitos de durabilidad en el diseño de mezcla del concreto (ACI, 2005).

Pire (2013) menciona que el ataque de sulfatos al concreto tiene lugar cuando la solución de sulfato penetra en el concreto y reacciona químicamente con sus constituyentes,

principalmente con la matriz de cemento. Así pues, los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son solamente aquellos que influyen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y la calidad total del concreto.

El ataque por sulfatos es un tema crítico para la durabilidad de estructuras de hormigón expuesto a medios ricos en sales y entornos cíclicos; tales como los elementos superficiales. El mecanismo de daño de ataque de sulfatos sobre cemento significa un proceso fisicoquímico complejo, incluyendo varias producciones perjudiciales como la formación de etringita y yeso que generan la expansión del material, presentándose desprendimientos, agrietamientos que pueden afectar al elemento estructural (Catur, 2021).

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo de este trabajo de investigación es el análisis de la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas en función de la concentración del  $SO_4$  en el suelo en el cantón Colta, provincia de Chimborazo. Generando una base de datos y una zonificación a nivel local, de los niveles de sulfatos en el suelo, de esta manera brindado datos reales para el correcto diseño de mezclas y el posterior cumplimiento de los requisitos necesarios de durabilidad establecidos en el reglamento para concreto estructural.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

A través de una visita exploratoria y un análisis visual de las viviendas dentro de la cabecera cantonal, Cajabamba, se pudo evidenciar ciertas patologías como el agrietamiento de la mampostería, presencia de humedad en la parte inferior de las paredes y desprendimiento de hormigón en la base de algunas columnas; lo que genera el debilitamiento estructural de la vivienda y la reducción de la vida útil para el cual fue diseñada.

Considerando que los suelos del cantón Colta en su mayoría son arenoso y franco arenoso según el Gobierno Municipal de Colta (2018) se puede mencionar que son suelos que poseen gran susceptibilidad a movimientos sísmicos debido a que se densifica y por ende produce daño en las cimentaciones; además, durante la inspección visual se identificó que la mayoría de los pobladores del cantón cuentan con pozo séptico y esto sumado a la permeabilidad del suelo se deduce que hay concentraciones relativamente altas de sulfatos debido a la combinación de minerales presentes en el suelo y de aguas fecales (Coronel et al., 2011).

Planteamos que los daños expuestos si son producidos por el ataque de sulfatos, tomando en cuenta a Londoño (2022), quien menciona que las consecuencias del ataque de sulfatos no solo producen degradación por expansión y fisuración, también, una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento, lo anterior también conlleva a una pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas de los agregados.



### **1.3 Justificación**

En el Ecuador existe poca información concerniente al ataque de sulfatos en cimentaciones superficiales, por lo que en la fase de diseño no se toman en cuenta dichos parámetros, resultando en la reducción la vida útil de la obra; por lo que es necesario un estudio de suelos, incluyendo dentro de ella el estudio de concentración de sulfatos para poder determinar la relación con el deterioro de las viviendas del cantón Colta.

El cantón Colta no cuenta con una base de datos referente al contenido de sulfatos presente en el suelo, motivo por el cual la investigación tiene como propósito la medición de la concentración de sulfatos en el suelo con el fin de que en proyectos futuros se tome en cuenta esta información al momento de diseñar el hormigón de las cimentaciones.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 General**

Analizar la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas en función de la concentración del SO<sub>4</sub> en el suelo en el cantón Colta, provincia de Chimborazo.

#### **1.4.2 Específicos**

- Clasificar el suelo del cantón Colta según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Medir la concentración de SO<sub>4</sub> (sulfatos) en el suelo del cantón Colta mediante ensayos de laboratorio.
- Realizar una zonificación de la exposición de los elementos superficiales de las viviendas al ataque químico por la concentración de SO<sub>4</sub> en el cantón Colta.

## CAPÍTULO II. Marco Teórico

### 2.1 Cimentación

La cimentación forma parte de la subestructura en una edificación, este soporta todo el peso de la superestructura distribuyéndolo uniformemente hacia el suelo debido a que se encuentra en contacto directo con el mismo (NEC, 2014).

Esta se divide en dos partes, el elemento estructural encargado de transmitir las cargas al terreno, o cimiento, y la zona del terreno afectada por dichas cargas, o terreno de cimentación. Donde esta debe resistir las cargas y sujetar la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del suelo, la forma y tamaño de los cimientos y la flexibilidad de la estructura (Yepes, 2020).

El tipo de cimentación que se necesita en una edificación depende de las características mecánicas del terreno, el ángulo de fricción interno, posición del nivel freático. A partir de la información del suelo se determina la capacidad portante, que conjuntamente con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo cimentación u otros diferentes, donde es posible el uso de cimentaciones superficiales o profundas dependiendo las necesidades (Universidad autónoma de Baja California, 2023). La capacidad portante se define como el esfuerzo que tiene una masa de suelo para soportar peso sobre ella, esto varía dependiendo del suelo, si es rocoso, la capacidad de ese suelo será mucho mayor a la de un suelo blando (Cevaconsult, 2022).

### 2.2 Cimentaciones superficiales

Son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo. Por lo general estas cimentaciones se utilizan en terrenos rocosos o de muy buena resistencia (Montoya & Pinto, 2010). Cuando la profundidad a la que se encuentra la cimentación esta entre 0.50 y 4 metros también se la conoce como superficial. La reacción del suelo equilibra la fuerza transmitida por la edificación si se trata de una cimentación superficial y se presenta entre el suelo y la sección transversal (Paucar, 2016).

NEC (2014), menciona que las cimentaciones superficiales se definen cuantitativamente de forma aproximada y arbitraria como aquellas en las que la relación entre su empotramiento (D) y su ancho (B) verifica:

$$\frac{D}{B} < 4$$

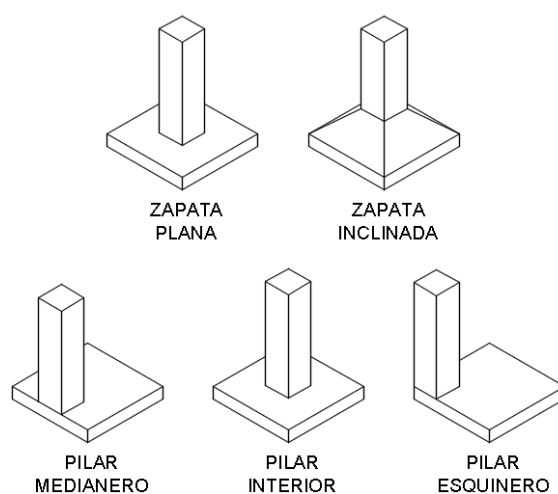
## 2.3 Tipos de cimentaciones superficiales

### 2.3.1 Zapata aislada

Las zapatas aisladas se utilizan para soportar cargas en un terreno firme. Estas pueden soportar un pilar aislado, interior, medianero o de esquina. Su forma en planta puede ser cuadrada, cuando se le transmite una carga con excentricidad o rectangular si se conoce la dirección de la excentricidad. Las zapatas aisladas forman una losa gruesa que puede ser plana o inclinada, tal como se lo aprecia en la **Figura 1** (Maldonado, 2020).

#### Figura 1

*Zapata aislada*



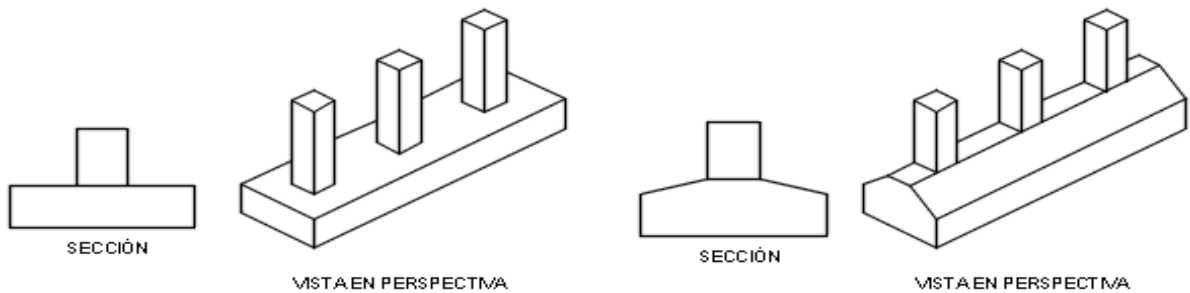
*Nota.* En la figura se puede visualizar los diferentes tipos de zapatas aisladas.

### 2.3.2 Zapata corrida o combinada

La zapata combinada o corrida admite tres o más columnas alineadas o un muro, Figura 2. Estas se utilizan cuando las columnas se encuentran muy cercanas y que sus cimientos aislados se superponen, este tipo de zapata puede ser rectangular o trapezoidal y tiene la ventaja de que distribuye las cargas uniformemente (Maldonado, 2020). Este tipo de zapatas se utilizan cuando la capacidad portante del suelo es ligeramente baja como para emplear una zapata aislada.

La Universidad Politécnica de Cataluña (2012) menciona que las zapatas combinadas se utilizan en el caso en que la distancia entre zapatas adyacentes es menor que las dimensiones de dichas zapatas, ya que en este caso resulta más económico excavar y hormigonar una sola zanja continua, que trabajar en un gran número de excavaciones individuales.

**Figura 2**  
Zapata combinada

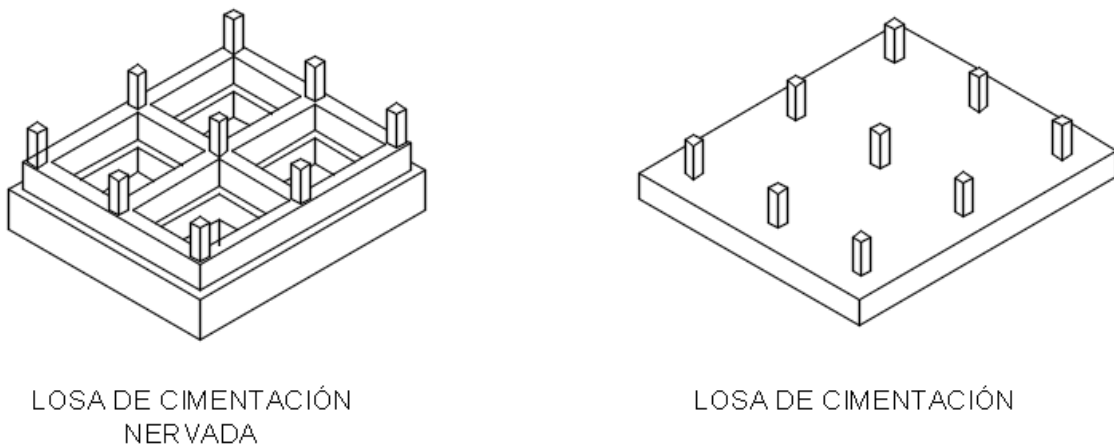


*Nota.* En cuanto a zapatas combinadas existen dos tipos y estos según la sección tal como se muestra en la imagen.

### 2.3.3 Losa de cimentación

Este tipo de cimentación superficial se lo emplea cuando la capacidad portante del suelo es relativamente baja, o en edificaciones en donde las zapatas están tan cerca que podrían solaparse. Además, cubre toda el área que queda debajo de una estructura y que soporta todos los muros y columnas (Montoya & Pinto, 2010). Existen dos tipos de losas de cimentación: losas aligeradas o nervadas y losas macizas, **Figura 3**.

**Figura 3**  
Losa de cimentación



## 2.4 Hormigón

Es un materia artificial compuesto de cemento portland o algún otro tipo de conglomerante hidráulico, además de agregados pétreos y agua (NEC, 2015).

## **2.5 Patologías del hormigón**

El hormigón es un material resistente y duradero, capaz de soportar el peso de la estructura, pero este también es propenso a sufrir diversas patologías generando daños a lo largo de su vida útil ya sea por un mal diseño de la mezcla, su falta de mantenimiento o agentes externos que ocasione la reducción de la vida útil, estas se pueden dividir en varias categorías que son las siguientes (Cordero, 2021).

## **2.6 Patologías por procesos químicos**

Los ataques químicos por medios externos afectan severamente al hormigón, debido a que este es un material alcalino y es vulnerable a ataques de sustancias ácidas. Los lugares con mayor vulnerabilidad a estos tipos de ataques son zonas industriales, áreas mineras debido a la contaminación del agua por extracción de los minerales, cuencas de agua en zonas montañosas, suelos con contenido de sulfato y pasos vehiculares que producen gases sulfurosos (Cordero, 2021).

Estos ataques se presentan por la interacción de dos agentes que crean una reacción química, en donde el primero es un agente agresivo que se encuentra en el ambiente y se penetra el hormigón más vulnerable, el que no cuenta con un revestimiento que proteja contra estos agentes. Por esta razón es recomendado seguir las normas vigentes en el diseño del hormigón y conocer las condiciones en las que se encontrara el material expuesto (Culma & Forero, 2021).

Las patologías por procesos químicos se dividen en los siguientes ataques:

- ataques por cloruros
- ataques por sulfatos
- reacción árido-álcali (Culma & Forero, 2021).

## **2.7 Sulfatos**

Los sulfatos se encuentran naturalmente en el suelo, en el agua como ríos o cuencas y en los agregados; estos también se encuentran en zonas industriales relacionadas a la fabricación de químicos, bacterias aluminio y minería; este agente es soluble con el agua y logran penetrar las estructuras que se encuentran expuestas al mismo (Pire Garzon, 2013).

## **2.8 Ataque de sulfatos en el hormigón**

Según nos comenta (Culma & Forero, 2021) que, al reaccionar los iones de sulfato con el aluminato tricálcico del cemento en presencia del agua, se produce el sulfato aluminato tricálcico, que cristaliza la estructura molecular del hormigón generando una

expansión ya que el volumen es de 2.5 veces superior al aluminato recomendado, esto conlleva a la segregación total del hormigón y quedar suelto el árido.

Este dependerá de la velocidad y el grado de ataque según la cantidad de sulfato soluble disponible, la presencia de agua, la composición del cemento y de la permeabilidad del hormigón; de esta manera produciendo la pérdida gradual en la resistencia de la pasta de cemento endurecida, este ataque se puede evidenciar con la exudación de zonas blanquecinas y agrietamiento del mortero o recubrimiento en las partes externas del hormigón (Tomadin, 2019).

El ataque de sulfatos en el hormigón se considera dos tipos de reacciones químicas; la primera cuando se combina el sulfato con hidróxido de calcio libre, durante la hidratación del cemento y formándose el yeso o sulfato de calcio; la segunda es cuando se combina la solución de sulfato con el aluminato cálcico hidratado y forma sulfoaluminato de calcio o etringita (Tomadin, 2019).

### **2.8.1 Formación de yeso**

Este reacciona con la capa exterior del hormigón produciendo ablandamiento del material y en el interior se mantiene cohesivo, esta afectación deteriora las esquinas y bordes del material, pero altera la resistencia mecánica (Tomadin, 2019).

### **2.8.2 Formación de etringita**

Esta forma un incremento del volumen o expansión de la pasta endurecida, por lo cual crea fisuras, incrementos de porosidad y pérdida de la resistencia mecánica del hormigón (Tomadin, 2019).

## **2.9 Categoría y clase de exposición de sulfato**

Existen algunas normativas que han establecido niveles de exposición de acuerdo con la cantidad de concentración de los sulfatos tanto en el suelo (mg/kg) como en el agua (mg/l); estas son: ACI (American Concrete Institute) y NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción). *Tabla 1* y *Tabla 2*, respectivamente.

**Tabla 1**

*Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas*

<b>Severidad de la potencial exposición</b>	<b>Sulfato soluble en agua (SO4)</b>	<b>Sulfato (SO4) en agua, ppm</b>	<b>w/c en masa, máx.</b>
Exposición Clase 0	0.00 a 0.10	0 a 150	Ningún requisito especial para resistencia a los sulfatos
Exposición Clase 1	> 0.10 y < 0.20	> 150 y < 1500	0.50
Exposición Clase 2	0.20 a < 2.00	1500 a < 10000	0.45
Exposición Clase 3	≥ 2.00	≥ 10000	0.40
Exposición al agua de mar	-	-	Ver sección 2.4, ACI 201

*Nota.* Fuente: (ACI, 2014)

**Tabla 2**

*Categorías y clase de exposición según la NEC*

<b>Categoría</b>	<b>Severidad</b>	<b>Clase</b>	<b>Condición</b>	
			Sulfatos solubles en agua (SO <sub>4</sub> ) en el suelo, % en masa	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) disuelto en agua, ppm
S	No aplicable	S0	SO <sub>4</sub> < 0.10	SO <sub>4</sub> < 150
Sulfato	Moderada	S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> < 1500
	Severa	S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 2.00	1500 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO <sub>4</sub> > 2.00	SO <sub>4</sub> > 10000

*Nota.* Fuente: (NEC, 2015)

## 2.10 Hormigón resistente a sulfato

La Norma Ecuatoriana de la Construcción determina ciertos criterios para una mezcla de hormigón resistente a sulfatos entre otras clases de exposición, tal como se lo puede evidenciar en la **Tabla 3**.

**Tabla 3**

*Requisitos para mezclas del Hormigón*

Clase de exposición	Relación a/c máx.	f'c mín. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire		Límites en los cementantes	
			Tipo de cemento			
			NTE	NTE	NTE	Aditivo
			INEN 152 (ASTM C 150)	NTE INEN 490 (ASTM C 595)	INEN 2380(ASTM C 1157)	cloruro de calcio
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	28	II	IP (MS), IS (<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V	IP (HS), IS (<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V Puzolanas o escorias	IP (HS) y puzolanas o escoria o IS (<70) (HS) y puzolanas o escoria	HS y puzolanas o escoria	No se permite

Fuente: (NEC, 2015)



## **2.11 Granulometría**

Método de ensayo normalizado que cubre la determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos (ASTM, 2019). El tamaño total de las partículas se determina utilizando un tamiz de alambre con orificios cuadrados.

## **2.12 Contenido de humedad**

Consiste de una muestra con una masa normalizada y en estado natural la cual es secada hasta eliminar el contenido de humedad en el árido tanto superficial y en los poros de las partículas, el contenido de humedad es expresada en porcentaje con respecto de la masa seca (ASTM-D-2216, 2019).

## **2.13 Límites de Atterberg**

En suelos cohesivos, originalmente, Albert Atterberg definió seis "límites de consistencia" de suelos de grano fino: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite pegajoso, el límite de cohesión. El límite plástico, y el límite de contracción. En el uso actual de ingeniería, el término usualmente se refiere solo al límite líquido, al límite plástico y, en algunas referencias, al límite de contracción (ASTM, 2017).

### **2.13.1 Limite líquido**

La ASTM (2017) menciona que el LL se presenta cuando el suelo pasa de un estado plástico a un líquido. La copa de Casagrande se ocupa para la determinación de este límite.

### **2.13.2 Limite plástico**

Se presenta en el suelo cuando pasa de un estado semisólido a un estado plástico (ASTM, 2017).

### **2.13.3 Límite de contracción**

ASTM (2017) define al límite de contracción como la etapa en el que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

## **2.14 Clasificación SUCS**

En 1942 Arthur Casagrande planteó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) como un método de clasificación de suelos usados principalmente en aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial. En años posteriores fue ligeramente modificado y adoptado por el ASTM como método normalizado de clasificación (Arízaga, 2014).

La norma a la cual se rige esta clasificación es a la ASTM D-3282 del 2015. En esta se contemplan dos grandes grupos: suelo de grano grueso y suelo de grano fino.

### **2.14.1 Suelo de grano grueso**

Se dice que el suelo es de grano grueso cuando más de la mitad del material es retenido en el tamiz número 200. Este a su vez se subclasifica en: Gravas y arenas.

#### **2.14.1.1 Grava**

Se determina como grava cuando más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en el tamiz número 4 (4.76mm). Esta se subdivide en:

- GW: Gravas bien graduadas.
- GP: Gravas mal graduadas.
- GM: Gravas limosas.
- GC: Gravas arcillosas (ASTM, 2015).

#### **2.14.1.2 Arena**

Se determina como arena cuando más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4.76mm). Esta se subdivide en:

- SW: Arenas bien graduadas.
- SP: Arenas mal graduadas.
- SM: Arenas limosas.
- SC: Arenas arcillosas (ASTM, 2015).

### **2.14.2 Suelo de grano fino**

Se dice que el suelo es de grano fino cuando más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200. Este a su vez se subclasifica en: limos y arcillas con  $LL < 50$  y limos y arcillas con  $LL > 50$ .

### **2.14.2.1 Limos y arcillas con LL < 50**

Esta se subdivide en:

- ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media.
- OL: Limos orgánicos y arcillas orgánicas de baja plasticidad (ASTM, 2015).

### **2.14.2.2 Limos y arcillas con LL > 50**

Esta se subdivide en:

- MH: Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica, limos elásticos.
- CH: Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
- OH: Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos.
- PT: Turba y otros suelos de alto contenido orgánico (ASTM, 2015).

## **2.15 ArcGIS**

ArcGIS es un software geoespacial que nos permite ver, editar, administrar y analizar datos geográficos. Este programa fue desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas (Esri) para mapeo en escritorio, móvil y web. El enfoque de ArcGIS está en la inteligencia y el análisis de la ubicación (GIS Geography, 2023).

Es un sistema útil que permite la organización y clasificación de información a través de un ordenador y puede compartir la información por medio de la red, ArcGIS Desktop es un programa que cuenta con tres aplicaciones principales; ArcMap, es la aplicación principal del software dedicada a la cartografía digital, permitiendo el análisis y edición de mapas; la segunda aplicación es ArcCatalog, esta permite el acceso y manejo de los datos geoespaciales, como crear nuevas coberturas, búsqueda de datos, visualizarlos y modificación de los metadatos; y la última aplicación es ArcToolbox, esta desarrolla las operaciones de geo procesamiento (Paucar, 2016).

## CAPÍTULO III. Metodología

### 3.1 Tipo de Investigación

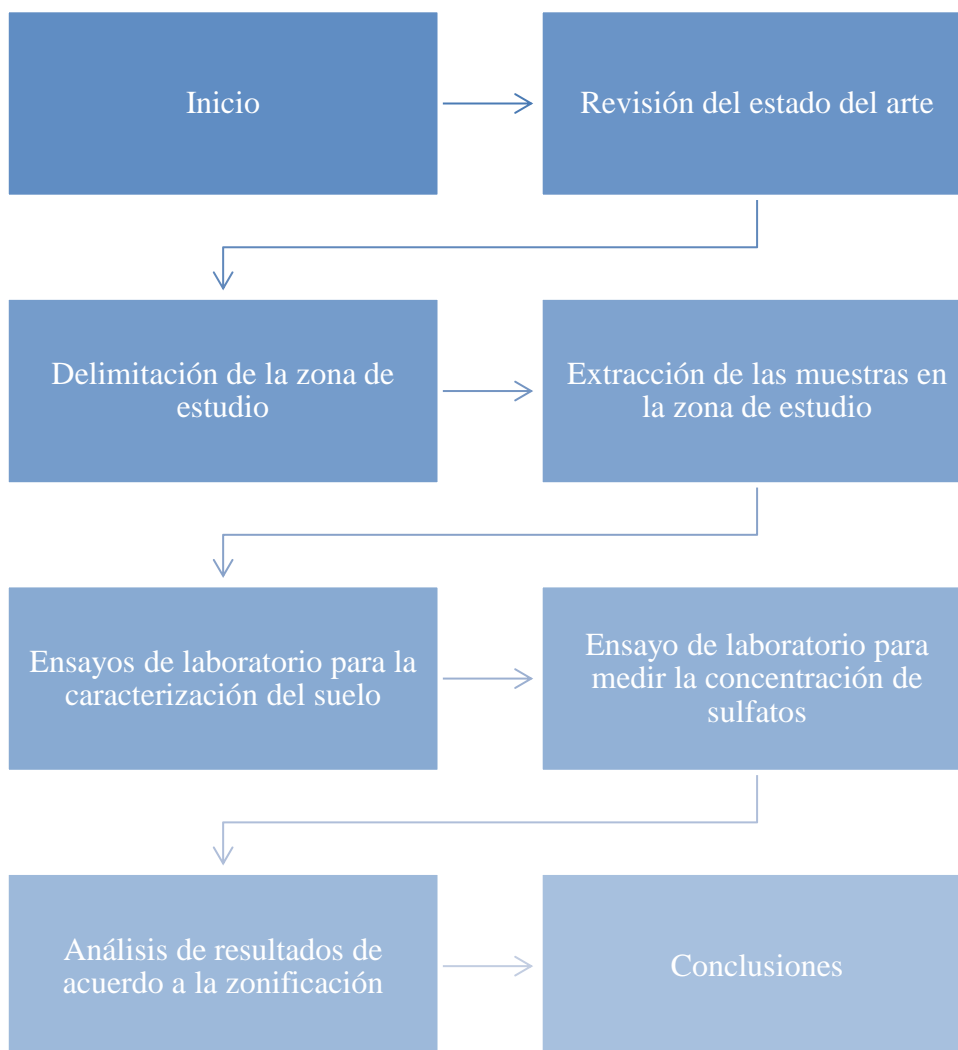
La investigación tiene carácter experimental; además posee un alcance exploratorio y un enfoque cuantitativo; debido a que se determinarán las características y el nivel del sulfato presente en el suelo en cada una de las muestras tomadas de las diferentes parroquias del cantón Colta provincia de Chimborazo.

### 3.2 Diseño de Investigación

En el siguiente esquema se presenta el diseño a seguir para llevar a cabo el trabajo de investigación.

**Figura 4**

*Esquema del diseño de la investigación*



Se inició con una búsqueda bibliográfica con el fin de encontrar toda la información relacionada al tema de investigación; determinando que existen pocos datos a nivel nacional y a nivel cantonal.

Con la aplicación del muestreo sistemático y el uso del software ArcGIS se obtuvo el número de muestras necesarias y su ubicación en el mapa, delimitando la zona de estudio; con el cual se procedió a la extracción de muestras para seguidamente llevarlas al laboratorio y realizar los ensayos correspondientes.

Una vez que se recolectaron los resultados de los laboratorios se los analizaron para continuamente ingresarlos en una base de datos teniendo en cuenta las zonificaciones, y así finalmente determinar los tipos de suelos y los índices de concentración de sulfatos presentes en el cantón Colta.

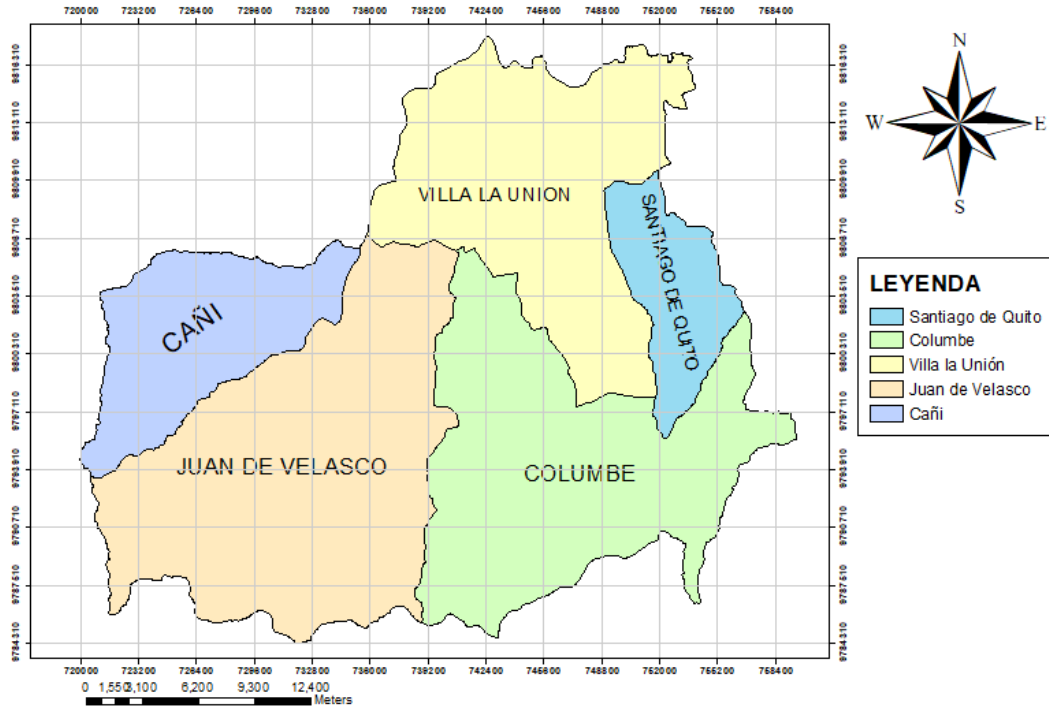
### **3.3 Técnicas de recolección de Datos**

Para determinar la medida del mallado, primero se analizó el área de estudio en relación con un número de muestras inicial con el cual se trabajaría en la investigación; planteándose la idea de extraer el criterio principal del muestreo sistemático para que en función del tamaño de la muestra y el área de la población, sea posible determinar la amplitud del salto sistemático y construir una cuadrícula sobre la base de esta longitud conocida como distancia del mallado (Dávila, 2018). Una vez obtenida la distancia entre grillas se lo ingresó al programa ArcGIS con el propósito de determinar la ubicación exacta de extracción de cada muestra; permitiendo de esta manera obtener un ejemplar de cada cuadrícula.

### **3.4 Población de estudio y tamaño de muestra**

La población de estudio de la investigación es el área que comprende al cantón Colta, 836.397 km<sup>2</sup>; véase *Figura 5*; mientras que el tamaño de la muestra se determinó mediante una distancia entre grillas inicial de 2500m obteniendo 130 muestras, las cuales posteriormente se redujeron a 85 muestras con una distancia entre grilla de 3200m, debido a que con el primer tamaño de la muestra se excedió con el presupuesto planificado para el desarrollo de los ensayos por lo que se optó por una reducción en el tamaño de la muestra.

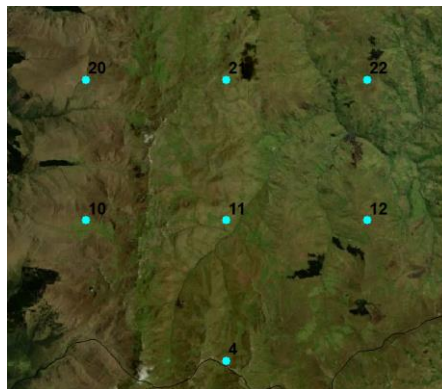
**Figura 5**  
*Cantón Colta con sus parroquias*



*Nota.* En la figura se muestra la distancia entre grilla que se utilizó en el mado, además de las parroquias que conforman el cantón Colta.

Durante la recolección de muestras se obtuvieron solamente 60, esto debido a la inaccesibilidad a los sitios por la topografía del mismo. Lo anterior mencionado se lo puede corroborar en la **Figura 6**.

**Figura 6**  
*Ejemplo de puntos inaccesibles*



*Nota.* Los puntos que se visualizan en la imagen determinan los puntos a los que no se pudo acceder debido a la geografía del sitio.

### 3.5 Pregunta de investigación

¿Existe relación entre el deterioro de los elementos superficiales de hormigón y los niveles de sulfato presentes en el suelo de las viviendas del cantón Colta, provincia de Chimborazo?

### 3.6 Métodos de análisis e interpretación

#### 3.6.1 Granulometría

Para determinar la distribución granulométrica de los suelos por tamizado se basó en la norma NTE INEN-696, la cual menciona el siguiente procedimiento:

- Tomar una muestra mínima de 300 gr.
- Secar la muestra en un horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener una masa constante.
- Registrar los pesos secos de las muestras.
- Ordenar los tamices en forma ascendente según el tamaño de la abertura (INEN, 2011).

**Tabla 4**

*Tamices utilizados en el ensayo de granulometría*

Tamiz	
ASTM C 136	NTE INEN 696
3"	75.00 mm
1 1/2"	37.5 mm
1"	25.00 mm
3/4"	19.00 mm
1/2"	12.50 mm
3/8"	9.50 mm
No. 4	4.75 mm
No. 10	2.00 mm
No. 40	0.425 mm
No. 200	0.075 mm

*Nota.* Se pueden visualizar los tamaños de las aberturas de los tamices según la normativa NTE INEN 696 y ASTM C 136. Fuente:(INEN, 2011); (ASTM, 2019).

- Colocar los tamices sobre el agitador mecánico y depositar la muestra en el tamiz superior.
- Agitar los tamices.
- Pesar el material que es retenido en cada tamiz y realizar los cálculos correspondientes (INEN, 2011).

### **3.6.2 Contenido de humedad**

Para determinar el contenido de humedad del suelo se basó en la normativa NTE INEN-690; el cual menciona lo siguiente:

- Pesar y registrar la masa del recipiente vacío,  $m_1$ .
- Colocar la muestra húmeda en el recipiente vacío y registrar la nueva masa,  $m_2$ .
- Colocar el recipiente con la muestra húmeda y secarlo en un horno a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , hasta obtener una masa constante.
- Después de sacar del horno el recipiente con la muestra de suelo seca, pesar y registrar su masa,  $m_3$  (INEN, 1982a).

### **3.6.3 Límites de Atterberg**

Para determinar el límite líquido del suelo se basó en la normativa NTE INEN-691, el cual menciona al método de Casa Grande INEN (1982b).

Para determinar el límite plástico del suelo se basó en la normativa NTE INEN-692 (INEN, 1982c).

### **3.6.4 Concentración de Sulfatos**

Para la determinación de concentración de sulfatos del suelo se adoptó la norma ASTM C1580-20, esta norma menciona el siguiente proceso:

- Recoger una muestra como mínima de 100 gr.
- Secar la muestra a una temperatura de  $110^\circ\text{C}$ , durante un lapso de 18 a 24 horas.
- Triturar la muestra seca y pasarla por un tamiz con malla de 0.6 mm de abertura.
- Pesar dos muestras una de 30gr y otra de 3gr.



- Etiquetar un vaso de precipitados como MA y otra como MB; en estas se colocaran las muestras de 30 y 3 gr, respectivamente.
- Agregar 250 mL de agua destilada a cada vaso de precipitados y agitarlo con un agitador magnético durante 1 o 1 hora y media.
- Filtrar la extracción a través de dos papeles de filtro secos de textura media bajo succión. Repetir si la filtración si la solución no es clara.
- Verificar el pH del filtrado usando papel de pH. Si es el caso corregir el pH con hidróxido de sodio, NaOH.
- Usar una muestra de 10 mL para la muestra A1, 20 mL para la muestra A2, 10 mL para la muestra B1 y 20 mL para la muestra B2. Diluir a un volumen de 100 mL en un matraz volumétrico.
- Verter los 100 mL en un vaso de precipitados de 250 mL.
- Agregar y mezclar 5 mL de reactivo acondicionador.
- Agregar 0,3 g de los cristales de Cloruro de Bario, BaCl.
- Agitar la muestra durante 1 min a la misma velocidad constante para todas las muestras.
- Retirar el vaso de precipitados del agitador y verter la solución en una celda de cristal.
- Se utilizará primero en una de las celdas sin el reactivo en el espectrofotómetro para poder comenzar a usar el aparato.
- Colocar la celda con la solución en el espectrofotómetro y registrar la turbidez a los 4 min después de verter la solución en la celda (ASTM, 2020).

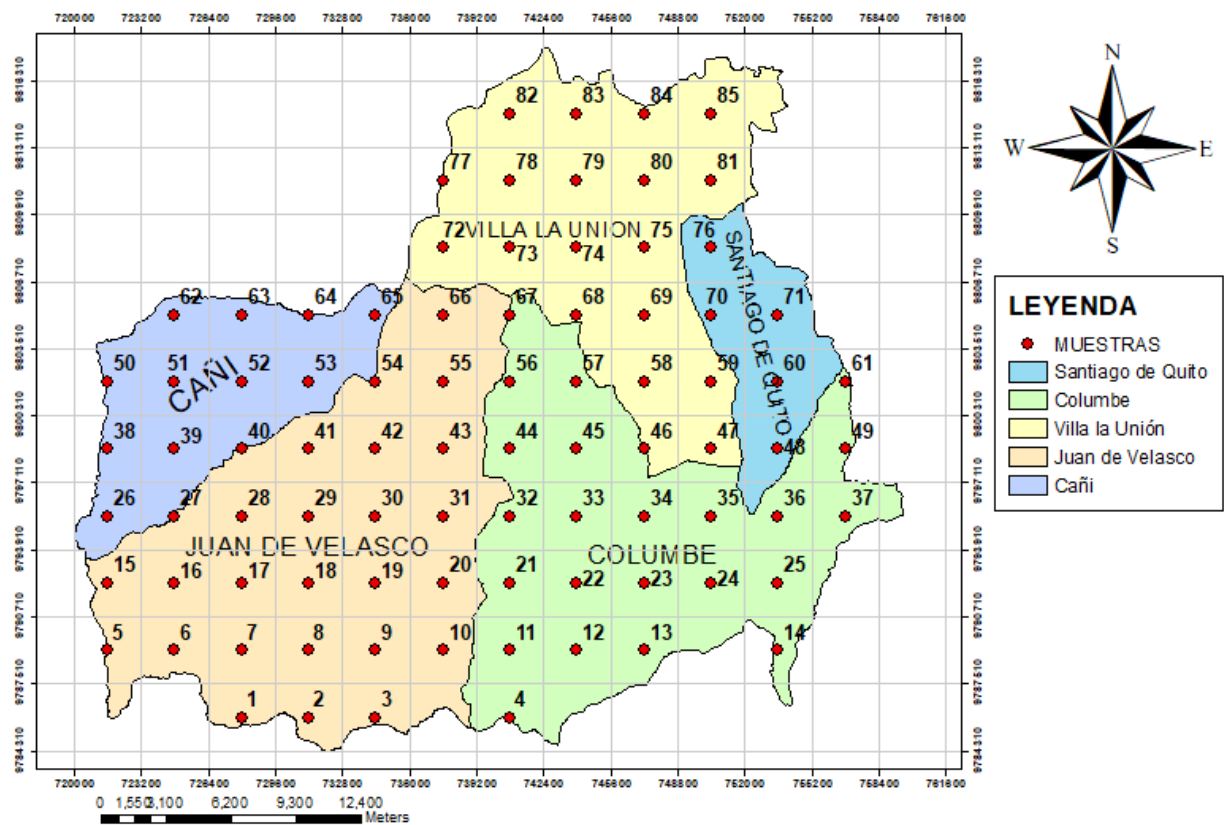
## CAPÍTULO IV. Resultados y Discusión

### 4.1 Sondeo de campo

A través del mallado en el software de ArcGIS, se determinaron los puntos de los que se extrajeron las muestras a una profundidad de 1.00 metro, tal como se lo puede visualizar en la **Figura 7**. Además se obtuvieron las coordenadas con las que se trabajó en la exploración y recolección de las muestras; véase **Tabla 5**.

**Figura 7**

*Gráfica de los puntos de extracción de la muestra en el cantón Colta.*



**Tabla 5**

*Coordenadas de los puntos de extracción*

Nombre del punto	Este	Norte	Parroquia
C1*	728006.13	9785912.92	Juan de Velasco
C2	730949.00	9786187.00	Juan de Velasco
C3*	734406.13	9785912.92	Juan de Velasco
C4*	740806.13	9785912.92	Columbe

---

C5	722161.00	9789174.00	Juan de Velasco
C6	724096.00	9788965.00	Juan de Velasco
C7*	728006.13	9789112.92	Juan de Velasco
C8	731910.00	9788862.00	Juan de Velasco
C9	732962.00	9788597.00	Juan de Velasco
C10*	737606.13	9789112.92	Juan de Velasco
C11*	740806.13	9789112.92	Columbe
C12*	744006.13	9789112.92	Columbe
C13*	747206.13	9789112.92	Columbe
C14	754008.00	9789315.00	Columbe
C15	721789.00	9792103.00	Juan de Velasco
C16	723763.00	9792645.00	Juan de Velasco
C17*	728006.13	9792312.92	Juan de Velasco
C18	732972.00	9792213.00	Juan de Velasco
C19	734407.00	9792301.00	Juan de Velasco
C20*	737606.13	9792312.92	Juan de Velasco
C21*	740806.13	9792312.92	Columbe
C22*	744006.13	9792312.92	Columbe
C23	747203.00	9792308.00	Columbe
C24	750441.00	9792362.00	Columbe
C25	753610.00	9792319.00	Columbe
C26	721823.00	9795584.00	Cañi
C27	723477.00	9794907.00	Juan de Velasco
C28*	728006.13	9795512.92	Juan de Velasco
C29*	731206.13	9795512.92	Juan de Velasco
C30	734390.00	9795475.00	Juan de Velasco
C31*	737606.13	9795512.92	Juan de Velasco
C32*	740806.13	9795512.92	Columbe
C33	744731.00	9796117.00	Columbe
C34	747215.00	9795234.00	Columbe
C35	750410.00	9795650.00	Columbe
C36	753727.00	9795364.00	Columbe
C37	756810.00	9795521.00	Columbe
C38	722526.00	9798844.00	Cañi
C39	723581.00	9799252.00	Cañi
C40*	728006.13	9798712.92	Cañi
C41*	731206.13	9798712.92	Juan de Velasco
C42	734369.00	9798593.00	Juan de Velasco
C43	736562.00	9799598.00	Juan de Velasco
C44	741782.00	9799915.00	Columbe
C45	743872.00	9798668.00	Columbe
C46	747249.00	9798568.00	Columbe

---

C47	750395.00	9798644.00	Villa La Unión
C48	753655.00	9798705.00	Santiago de Quito
C49	756546.00	9798929.00	Columbe
C50	723008.00	9801731.00	Cañi
C51	723828.00	9801915.00	Cañi
C52*	728006.13	9801912.92	Cañi
C53*	731206.13	9801912.92	Cañi
C54	735775.00	9801559.00	Juan de Velasco
C55	737396.00	9802134.00	Juan de Velasco
C56	742186.00	9801588.00	Columbe
C57	743734.00	9802128.00	Columbe
C58	746929.00	9801877.00	Villa La Unión
C59	750338.00	9802170.00	Villa La Unión
C60	753483.00	9802195.00	Santiago de Quito
C61	756880.00	9801846.00	Columbe
C62	723991.00	9804981.00	Cañi
C63	727980.00	9805001.00	Cañi
C64	730987.00	9805114.00	Cañi
C65*	734406.13	9805112.92	Cañi
C66	738485.00	9805238.00	Juan de Velasco
C67	740166.00	9805433.00	Juan de Velasco
C68	744014.00	9805575.00	Villa La Unión
C69	747523.00	9805101.00	Villa La Unión
C70	750356.00	9805110.00	Santiago de Quito
C71	753702.00	9805171.00	Santiago de Quito
C72*	737606.13	9808312.92	Villa La Unión
C73	742223.00	9808376.00	Villa La Unión
C74	743994.00	9808315.00	Villa La Unión
C75	747144.00	9808198.00	Villa La Unión
C76	750390.00	9808343.00	Santiago de Quito
C77*	737606.13	9811512.92	Villa La Unión
C78*	740806.13	9811512.92	Villa La Unión
C79	744007.00	9811513.00	Villa La Unión
C80	747201.00	9811506.00	Villa La Unión
C81	750207.00	9811639.00	Villa La Unión
C82*	740806.13	9814712.92	Villa La Unión
C83	745104.00	9814155.00	Villa La Unión
C84	747194.00	9814684.00	Villa La Unión
C85	750408.00	9814703.00	Villa La Unión

Nota. \* Puntos inaccesibles, sin muestra de estudio.

## 4.2 Clasificación de suelos

Una vez ensayada las muestras se obtuvieron los valores de la gradación granulométrica, límites de Atterberg (LL, LP y IP), contenido de humedad (w); con los cuales se pudo clasificar el suelo según la normativa SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos); véase *Tabla 6*.

**Tabla 6**

*Clasificación de suelos según SUCS*

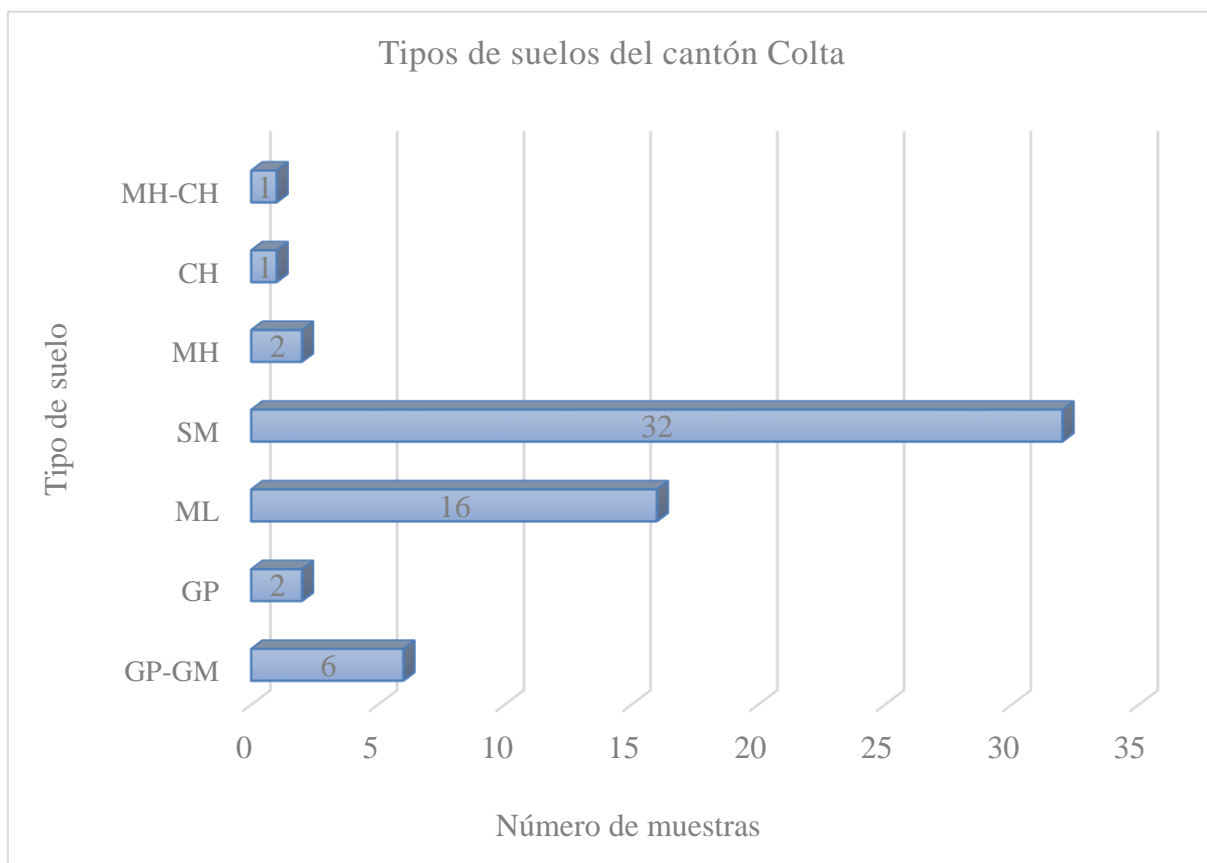
No. Muestra	Humedad Natural (%)	Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	Índice de Plasticidad IP	SUCS (Norma D 2487)	Color de Muestra
C2	22.61				GP-GM	Café oscuro
C5	73.90	87.00	70.98	16.02	GP	Café oscuro
C6	28.93	21.00	13.33	7.67	GP-GM	Café oscuro
C8	16.62				GP-GM	Café oscuro
C9	12.56				GP-GM	Café oscuro
C14	8.75				ML	Café oscuro
C15	14.43				SM	Café claro
C16	82.35	89.50	75.73	13.77	MH	Café claro
C18	24.66				SM	Café oscuro
C19	20.34	30.20	24.62	5.58	SM	Café oscuro
C23	30.19				SM	Café oscuro
C24	22.26				SM	Café oscuro
C25	14.46				GP-GM	Café oscuro
C26	72.62				SM	Café oscuro
C27	12.94				SM	Café claro
C30	13.33				SM	Café oscuro
C33	35.50				ML	Café oscuro
C34	32.79				SM	Café negro
C35	14.30				SM	Café oscuro
C36	15.68				ML	Café oscuro
C37	22.65	42.80	33.33	9.47	ML	Café oscuro
C38	66.55	95.32	75.77	19.55	MH	Café oscuro
C39	70.55	87.00	75.67	13.33	ML	Café claro
C42	19.67	44.70	33.63	11.07	SM	Café oscuro
C43	13.71				ML	Café oscuro
C44	37.62				SM	Café negro
C45	41.32				SM	Café oscuro
C46	50.75				SM	Café oscuro
C47	18.80				SM	Café oscuro

C48	20.51				SM	Café claro
C49	39.69				ML	Café negro
C50	25.61	52.00	31.24	20.76	GP	Café obscuro
C51	20.53	26.77	49.42	14.50	SM	Café obscuro
C54	5.40				SM	Café obscuro
C55	11.79				SM	Café obscuro
C56	54.41	65.20	46.36	18.84	CH	Café obscuro
C57	71.64				SM	Café obscuro
C58	49.24				SM	Café negro
C59	19.11				ML	Café obscuro
C60	25.36				ML	Café obscuro
C61	29.34				ML	Café negro
C62	54.69	56.00	35.06	20.94	MH-CH	Café obscuro
C63	23.36				ML	Café obscuro
C64	48.76				SM	Café obscuro
C66	24.88				GP-GM	Café obscuro
C67	9.61				SM	Café claro
C68	37.33				SM	Café obscuro
C69	30.85				SM	Café obscuro
C70	15.18				ML	Café obscuro
C71	20.41				ML	Café obscuro
C73	22.46				SM	Café obscuro
C74	14.37	44.20	31.72	12.48	SM	Café negro
C75	10.18				SM	Café claro
C76	16.71				ML	Café obscuro
C79	13.39				SM	Café obscuro
C80	13.62				SM	Café obscuro
C81	18.54				SM	Café claro
C83	16.03				ML	Café obscuro
C84	19.42				SM	Café claro
C85	18.44				ML	Café gris

*Nota.* **GP-GM** = “gravas mal gradadas con limo”; **GP** = “gravas pobremente gradadas”; **ML** = “limos inorgánicos de baja plasticidad”; **SM** = “arenas limosas”; **MH** = “limos inorgánicos de alta plasticidad”; **CH** = “arcillas inorgánicas de alta plasticidad”; **MH-CH** = “Limos y arcillas de alta plasticidad”.

**Figura 8**

*Tabulación de los tipos de suelos del cantón Colta*



En total se ensayaron 60 muestras de las cuales 32 son arenas limosas, 16 son limos inorgánicos de baja plasticidad, 6 son gravas mal gradadas con presencia de limo, 2 gravas pobremente gradadas, 2 son limos inorgánicos de alta plasticidad, 1 es arcilla inorgánica de alta plasticidad y 1 que pertenece al grupo de limos y arcillas de alta plasticidad.

### **4.3 Concentración de sulfatos**

Las nomas presentadas por la NEC y ACI permiten caracterizar a las muestras de suelo según la concentración del sulfato presentes, por lo que al obtener los valores de la concentración de sulfatos tanto en porcentaje (%) como en unidades partes por millón (ppm), se comparó los resultados con los valores que presentan las normas ACI y NEC; para proseguir a la respectiva categorización, tal como se lo presenta en la **Tabla 7**.

**Tabla 7***Categorización de las muestras según la concentración de sulfatos.*

<b>Muestras</b>	<b>Ubicación Parroquia</b>	<b>Unidades % de SO<sub>4</sub></b>	<b>Unidades ppm o mg/kg</b>	<b>ACI</b>	<b>NEC</b>
C2	Juan de Velasco	0.265	2650.00	Exposición clase 2	S2
C5	Juan de Velasco	0.196	1960.00	Exposición clase 2	S2
C6	Juan de Velasco	0.265	2650.00	Exposición clase 2	S2
C8	Juan de Velasco	0.066	660.00	Exposición clase 1	S1
C9	Juan de Velasco	0.137	1370.00	Exposición clase 1	S1
C14	Columbe	0.187	1870.00	Exposición clase 2	S2
C15	Juan de Velasco	0.397	3970.00	Exposición clase 2	S2
C16	Juan de Velasco	0.067	670.00	Exposición clase 1	S1
C18	Juan de Velasco	0.265	2650.00	Exposición clase 2	S2
C19	Juan de Velasco	0.052	520.00	Exposición clase 1	S1
C23	Columbe	0.285	2850.00	Exposición clase 2	S2
C24	Columbe	0.441	4410.00	Exposición clase 2	S2
C25	Columbe	0.219	2190.00	Exposición clase 2	S2
C26	Cañi	0.433	4330.00	Exposición clase 2	S2



---

C27	Juan de Velasco	0.125	1250.00	Exposición clase 1	S1
C30	Juan de Velasco	0.173	1730.00	Exposición clase 2	S2
C33	Columbe	0.183	1830.00	Exposición clase 2	S2
C34	Columbe	0.186	1860.00	Exposición clase 2	S2
C35	Columbe	0.136	1360.00	Exposición clase 1	S1
C36	Columbe	0.333	3330.00	Exposición clase 2	S2
C37	Columbe	0.164	1640.00	Exposición clase 2	S2
C38	Cañi	0.079	790.00	Exposición clase 1	S1
C39	Cañi	0.133	1330.00	Exposición clase 1	S1
C42	Juan de Velasco	0.340	3400.00	Exposición clase 2	S2
C43	Juan de Velasco	0.186	1860.00	Exposición clase 2	S2
C44	Columbe	0.489	4890.00	Exposición clase 2	S2
C45	Columbe	0.256	2560.00	Exposición clase 2	S2
C46	Columbe	0.050	500.00	Exposición clase 1	S1
C47	Villa La Unión	0.296	2960.00	Exposición clase 2	S2
C48	Santiago de Quito	0.039	390.00	Exposición clase 1	S1

---

---

C49	Columbe	0.224	2240.00	Exposición clase 2	S2
C50	Cañi	0.392	3920.00	Exposición clase 2	S2
C51	Cañi	0.413	4130.00	Exposición clase 2	S2
C54	Juan de Velasco	0.242	2420.00	Exposición clase 2	S2
C55	Juan de Velasco	0.649	6490.00	Exposición clase 2	S2
C56	Columbe	0.273	2730.00	Exposición clase 2	S2
C57	Columbe	0.283	2830.00	Exposición clase 2	S2
C58	Villa La Unión	0.271	2710.00	Exposición clase 2	S2
C59	Villa la Unión	0.372	3720.00	Exposición clase 2	S2
C60	Santiago de Quito	0.152	1520.00	Exposición clase 2	S2
C61	Columbe	0.105	1050.00	Exposición clase 1	S1
C62	Cañi	0.253	2530.00	Exposición clase 2	S2
C63	Cañi	0.383	3830.00	Exposición clase 2	S2
C64	Cañi	0.626	6260.00	Exposición clase 2	S2
C66	Juan de Velasco	0.222	2220.00	Exposición clase 2	S2
C67	Juan de Velasco	0.177	1770.00	Exposición clase 2	S2
C68	Villa La Unión	0.211	2110.00	Exposición clase 2	S2

---

---

C69	Villa la Unión	0.142	1420.00	Exposición clase 1	S1
C70	Santiago de Quito	0.297	2970.00	Exposición clase 2	S2
C71	Santiago de Quito	0.176	1760.00	Exposición clase 2	S2
C73	Villa La Unión	0.213	2130.00	Exposición clase 2	S2
C74	Villa la Unión	0.316	3160.00	Exposición clase 2	S2
C75	Villa La Unión	0.380	3800.00	Exposición clase 2	S2
C76	Santiago de Quito	0.382	3820.00	Exposición clase 2	S2
C79	Villa La Unión	0.223	2230.00	Exposición clase 2	S2
C80	Villa la Unión	0.342	3420.00	Exposición clase 2	S2
C81	Villa La Unión	0.286	2860.00	Exposición clase 2	S2
C83	Villa La Unión	0.248	2480.00	Exposición clase 2	S2
C84	Villa la Unión	0.078	780.00	Exposición clase 1	S1
C85	Villa La Unión	0.155	1550.00	Exposición clase 2	S2

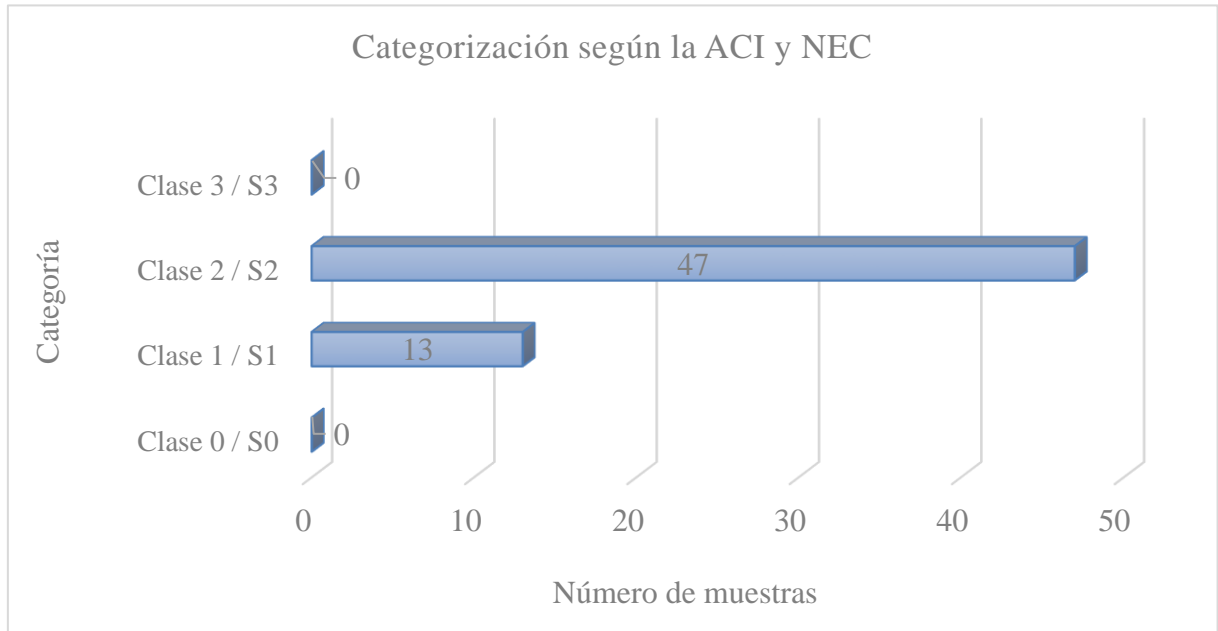
---

*Nota.* S1= “Moderado”; S2= “Severa”.

Con el fin de representar de manera clara el número de muestras que poseen las distintas categorías se tabularon de la siguiente manera:

**Figura 9**

*Tabulación de muestras según la categoría de exposición*

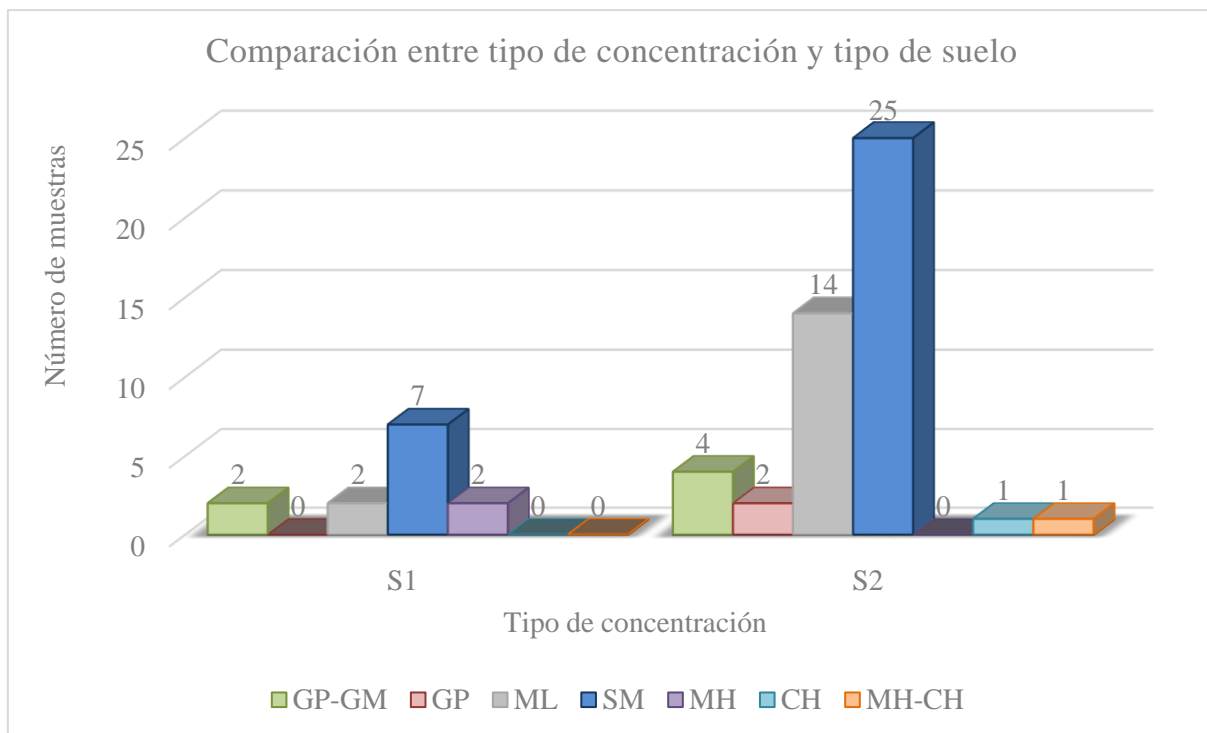


*Nota.* Categorización según ACI: Exposición clase 0, Exposición clase 1, Exposición clase 2 y Exposición clase 3. Categorización según NEC: S0= “No aplicable”, S1= “Moderado”, S2= “Severa” y S3= “Muy severa”.

En la **Figura 9** se identifican que 47 muestras se categorizan como “Exposición clase 2” o “Severa”; mientras que 13 muestras pertenecen a la categoría “Exposición clase 1” o “Moderado”, los cuales fueron determinados con los rangos de valores establecidos en las normas NEC-SE-HM y ACI 201.

**Figura 10**

*Comparación entre tipo de concentración y tipo de suelo en las muestras del cantón Colta*



*Nota.* S1= “Moderada”, S2= “Severa”, GP-GM = “gravas mal gradadas con limo”; GP = “gravas pobremente gradadas”; ML = “limos inorgánicos de baja plasticidad”; SM = “arenas limosas”; MH = “limos inorgánicos de alta plasticidad”; CH= “arcillas inorgánicas de alta plasticidad”; MH-CH = “Limos y arcillas de alta plasticidad”.

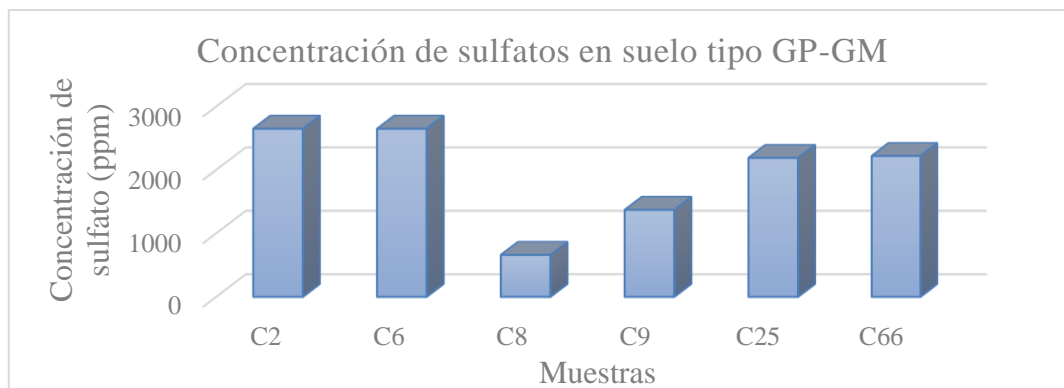
Realizando una subdivisión de la concentración de suelos tomando en cuenta el tipo de suelo, se puede identificar que la mayor cantidad de muestras de suelo con las categorías de concentración de sulfatos severa y moderada, pertenecen a arenas limosas.

#### 4.3.1 Concentración de sulfatos en los distintos tipos de suelo del cantón Colta

Las concentraciones de sulfatos según el tipo de suelo, se representan en la **Figura 11**, **Figura 12**, **Figura 13** y **Figura 14**.

**Figura 11**

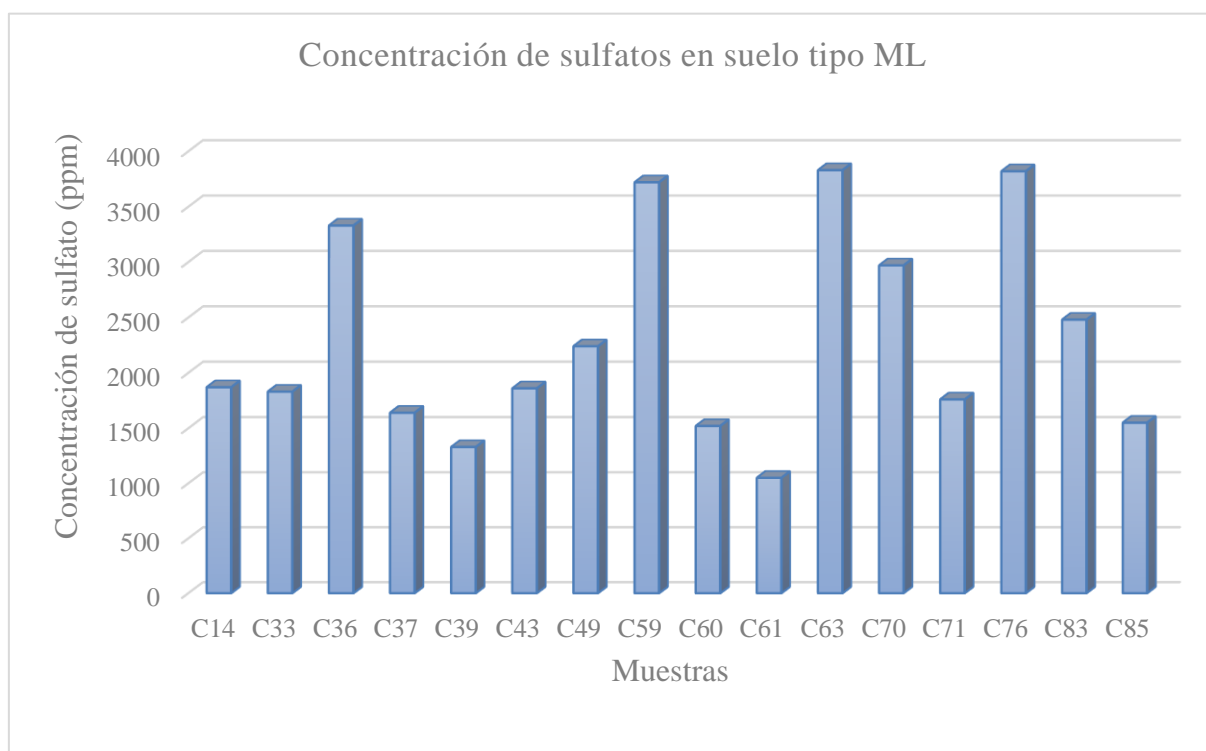
*Concentración de sulfatos en suelo tipo GP-GM del cantón Colta*



Como se puede observar en la **Figura 11**; la mayor concentración de sulfatos para este tipo de suelo se encuentra en los puntos C2 y C6, los cuales están ubicados al suroeste de la parroquia Juan de Velasco.

**Figura 12**

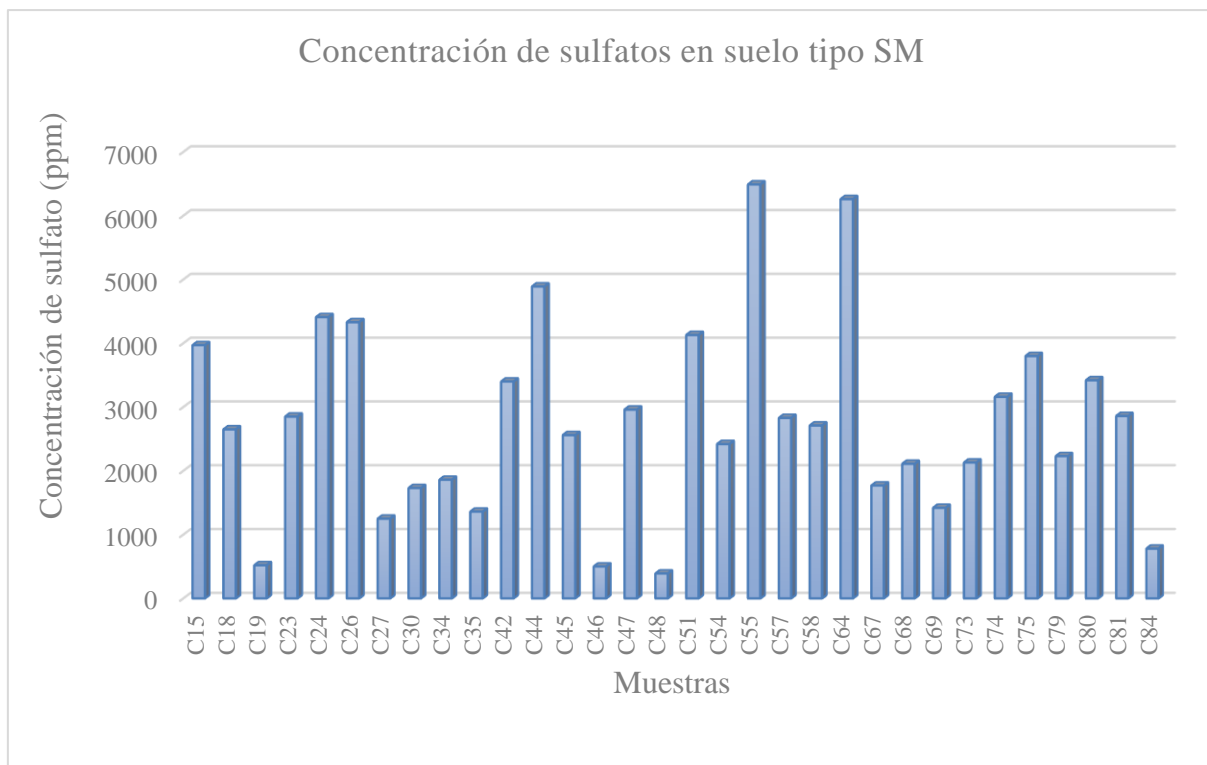
*Concentración de sulfatos en suelo tipo ML del cantón Colta*



En la **Figura 12** se muestra que la mayor concentración de sulfatos está en los puntos C36, C59, C63 y C76; estos se encuentran al este de la parroquia Columbe, al sureste de Villa La Unión, al norte de Cañi y al noroeste de Santiago de Quito, respectivamente.

**Figura 13**

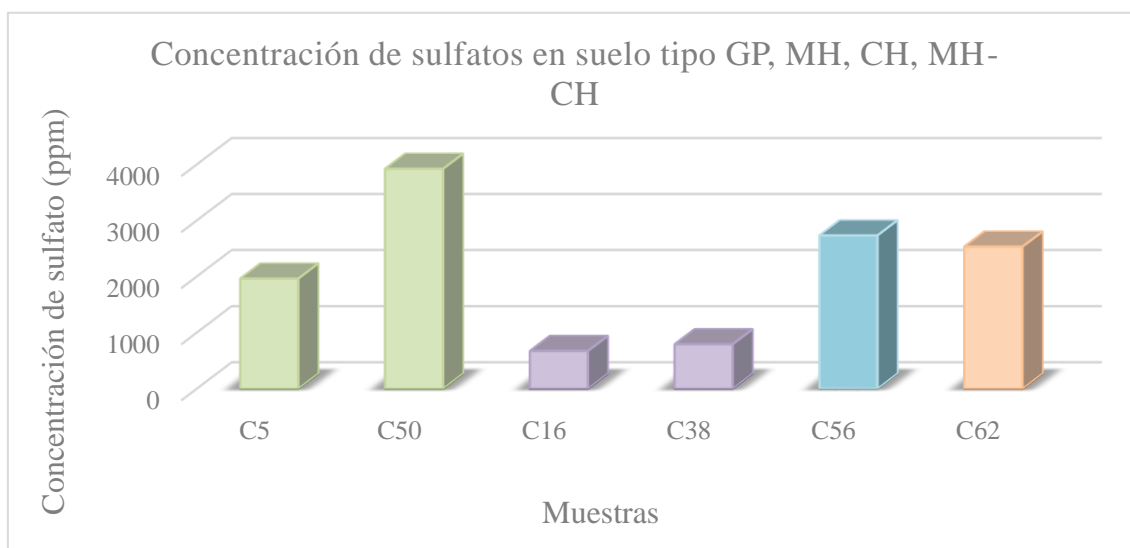
*Concentración de sulfatos en suelo tipo SM del cantón Colta*



La **Figura 13** muestra que la mayor concentración de sulfatos se encuentra en las muestras extraídas C55 y C64, los cuales se ubican al noreste de la parroquia de Juan de Velasco y al noreste de la parroquia Cañi, respectivamente.

**Figura 14**

*Concentración de sulfatos en suelo tipo GP, MH, CH, MH-CH del cantón Colta*



De los 4 tipos de suelo que se muestran en la **Figura 14**; el que contiene la mayor concentración de sulfatos es el C50, el cual se considera como un suelo de grava pobremente gradada y se ubica al oeste de la parroquia Cañi.

#### 4.4 Descripción de las patologías presentes en las viviendas en el cantón Colta.

En base a los resultados obtenidos del estudio de concentración de sulfatos en conjunto con lo que se pudo evidenciar en la exploración de campo, se desarrolló la **Tabla 8**; con el fin de establecer si existe alguna relación entre los niveles de sulfatos por cada muestra con las patologías presentes en las viviendas del sector.

**Tabla 8**

*Registro de patologías en viviendas del cantón Colta*

No. Muestra	Coordenadas UTM		Unidades ppm o mg/kg	Patología	Evidencia
	Este	Norte			
C2	730949.00	9786187.00	2650.00	No hay viviendas	
C5	722161.00	9789174.00	1960.00	No hay viviendas	
C6	724096.00	9788965.00	2650.00	Humedad, desprendimiento de recubrimiento	Anexo 1
C8	731910.00	9788862.00	660.00	Humedad en mampostería, desprendimientos del recubrimiento	Anexo 2
C9	732962.00	9788597.00	1370.00	No hay viviendas	
C14	754008.00	9789315.00	1870.00	No hay viviendas	
C15	721789.00	9792103.00	3970.00	No hay viviendas	
C16	723763.00	9792645.00	670.00	No hay viviendas	
C18	732972.00	9792213.00	2650.00	Humedad en mampostería, desprendimientos del recubrimiento	Anexo 3



---

C19	734407.00	9792301.00	520.00	No hay viviendas	
C23	747203.00	9792308.00	2850.00	No hay viviendas	
C24	750441.00	9792362.00	4410.00	Humedad en mampostería, desprendimiento de recubrimiento, eflorescencia	Anexo 4
C25	753610.00	9792319.00	2190.00	No hay viviendas	
C26	721823.00	9795584.00	4330.00	Humedad, desprendimiento de recubrimiento, exposición del acero de refuerzo	Anexo 5
C27	723477.00	9794907.00	1250.00	No hay viviendas	
C30	734390.00	9795475.00	1730.00	Humedad en mampostería, desprendimientos del recubrimiento	Anexo 6
C33	744731.00	9796117.00	1830.00	Humedad en mampostería	Anexo 7
C34	747215.00	9795234.00	1860.00	No hay viviendas	
C35	750410.00	9795650.00	1360.00	Humedad en mampostería, desprendimiento de recubrimiento	Anexo 8
C36	753727.00	9795364.00	3330.00	Humedad, desprendimiento de recubrimiento, eflorescencia	Anexo 9
C37	756810.00	9795521.00	1640.00	Desprendimiento de recubrimiento, humedad	Anexo 10
C38	722526.00	9798844.00	790.00	No hay viviendas	

---

---

C39	723581.00	9799252.00	1330.00	No hay viviendas	
C42	734369.00	9798593.00	3400.00	No hay viviendas	
C43	736562.00	9799598.00	1860.00	No hay viviendas	
C44	741782.00	9799915.00	4890.00	Humedad	Anexo 11
C45	743872.00	9798668.00	2560.00	No hay viviendas	
C46	747249.00	9798568.00	500.00	Humedad, eflorescencia	Anexo 12
C47	750395.00	9798644.00	2960.00	Humedad en mampostería, eflorescencia	Anexo 13
C48	753655.00	9798705.00	390.00	No hay viviendas	
C49	756546.00	9798929.00	2240.00	Eflorescencia, humedad en mampostería, desprendimiento de recubrimiento	Anexo 14
C50	723008.00	9801731.00	3920.00	No hay viviendas	
C51	723828.00	9801915.00	4130.00	No hay viviendas	
C54	735775.00	9801559.00	2420.00	No hay viviendas	
C55	737396.00	9802134.00	6490.00	No hay viviendas	
C56	742186.00	9801588.00	2730.00	No hay viviendas	
C57	743734.00	9802128.00	2830.00	No hay viviendas	
C58	746929.00	9801877.00	2710.00	No hay viviendas	
C59	750338.00	9802170.00	3720.00	No hay viviendas	
C60	753483.00	9802195.00	1520.00	No hay viviendas	
C61	756880.00	9801846.00	1050.00	No hay viviendas	
C62	723991.00	9804981.00	2530.00	No hay viviendas	
C63	727980.00	9805001.00	3830.00	No hay viviendas	

---

---

C64	730987.00	9805114.00	6260.00	No hay viviendas	
C66	738485.00	9805238.00	2220.00	Humedad, desprendimiento del recubrimiento, eflorescencia	Anexo 15
C67	740166.00	9805433.00	1770.00	No hay viviendas	
C68	744014.00	9805575.00	2110.00	No hay viviendas	
C69	747523.00	9805101.00	1420.00	No hay viviendas	
C70	750356.00	9805110.00	2970.00	No hay viviendas	
C71	753702.00	9805171.00	1760.00	No hay viviendas	
C73	742223.00	9808376.00	2130.00	No hay viviendas	
C74	743994.00	9808315.00	3160.00	Humedad, eflorescencia	Anexo 16
C75	747144.00	9808198.00	3800.00	No hay viviendas	
C76	750390.00	9808343.00	3820.00	No hay viviendas	
C79	744007.00	9811513.00	2230.00	Humedad	Anexo 17
C80	747201.00	9811506.00	3420.00	Desprendimiento de recubrimiento	Anexo 18
C81	750207.00	9811639.00	2860.00	No hay viviendas	
C83	745104.00	9814155.00	2480.00	No hay viviendas	
C84	747194.00	9814684.00	780.00	No hay viviendas	
C85	750408.00	9814703.00	1550.00	No hay viviendas	

---

## 4.5 Discusión

Del total de las 60 muestras se pudo determinar que los tipos de suelo predominantes en el cantón Colta son las arenas limosas (SM) y los limos inorgánicos de baja plasticidad (ML). Revalidando de esta manera la información brindada por el Gobierno Municipal de Colta (2018) ; el cual indica que el cantón Colta está conformado por suelos arenosos y franco-arenosos.

El Gobierno Municipal de Colta (2018), señala que los suelos del cantón Colta están compuestos por suelos de origen volcánico. Estos suelos poseen propiedades como alto contenido de materia orgánica (MO) y a su vez la MO contienen tres de los elementos minerales básicos para el crecimiento de los cultivos: el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S), por lo que su función en el suelo es fundamental para la sustentabilidad de un agro-ecosistema (Córdova et al., 2015). La aseveración anterior se la pudo corroborar durante la exploración en campo pues la mayor cantidad del territorio del cantón está destinado a la agricultura; con lo que se puede determinar que esta podría ser la razón por la que el 78% de las muestras presentan un contenido de sulfatos en el rango de 1500 a 10000 unidades ppm lo que resulta en una categorización de severidad “S2” o “Severa” según lo determina la NEC (2015) y según la ACI (2014) se encontraría en “Exposición clase 2”. Mientras que el 22% restante de muestras están categorizadas con una severidad “S1” o “Moderada” según lo determina la NEC (2015) y según la ACI (2014) en una severidad de “Exposición clase 1”; esto teniendo en cuenta que están dentro de un rango de 150 a 1500 unidades ppm de concentración de sulfatos.

Las altas concentraciones de sulfatos en el suelo pueden resultar en la aparición de distintas patologías en el hormigón, como la presencia de zonas blanquecinas (eflorescencia) y agrietamiento del mortero o recubrimiento en las partes externas del hormigón (Tomadin, 2019). Las viviendas que presentaron este tipo de patologías fueron las que están cercanas a las muestras con altos niveles de concentración de sulfatos y que se encontraban en zonas con humedad alta, tal como se puede visualizar en el *Anexo 4* de la muestra C24, *Anexo 5* de la muestra C26, *Anexo 9* de la muestra C36, *Anexo 15* de la muestra C66 y *Anexo 18* de la muestra C80; las cuales están con una concentración de sulfatos en unidades ppm de 4410, 4330, 3330, 2220 y 3420, respectivamente. Estos son claros ejemplos de las posibles patologías que se pueden presentar por el ataque químico de iones de sulfatos. Se puede mencionar que existe una mayor concentración de sulfatos en zonas en donde la actividad principal es la agricultura; tomando en cuenta que los suelos dedicados a dicha actividad tienen altos niveles de materia orgánica.

## CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se clasificó el suelo que conforma el cantón Colta, obteniendo los siguientes tipos de suelo: arenas limosas (SM) con un 53%, limos inorgánicos de baja plasticidad (ML) con un 27%, gravas mal gradadas con presencia de limo (GP-GM) con un 10%, gravas pobremente gradadas (GP) con un 3%, limos inorgánicos de alta plasticidad (MH) con un 3%, arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) con un 2% y limos con arcillas de alta plasticidad (MH-CH) con un 2%, mismas que se encuentran representadas en el **Anexo 19**. Cabe recalcar que existen zonas del cantón aún sin estudiar debido al difícil acceso.

Se midió la concentración de sulfatos solubles en el suelo del cantón Colta siguiendo la normativa ASTM C 1580-20 y de esta manera se determinó que los niveles de sulfatos del suelo representan un riesgo para los elementos de hormigón en viviendas; pues el 78% de las muestras ensayadas poseen una severidad “S2 (severa)” y el 22% restante tiene una severidad “S1 (moderada)”, basándonos en la NEC-SE-HM y en la ACI-318. Tomando en cuenta que los valores más altos de concentración de sulfatos se encontraron al este del cantón Colta en donde el suelo es usado mayormente para actividades de agricultura.

Finalmente, se concluye que las cimentaciones superficiales de la vivienda del cantón Colta presentan patologías debido a la acción química de los sulfatos esto considerando las afectaciones que se pudieron observar en la parte inferior de la mampostería en las viviendas tales como humedad, eflorescencia, desprendimiento de la pintura, desprendimiento del recubrimiento de la base de la vivienda, desprendimiento del enlucido y exposición del acero de refuerzo, tal como se muestra en la **Tabla 8** en donde se presentan las patologías y el nivel de concentración de sulfatos. Además, se realizó un mapa de zonificación con los niveles de concentración de sulfatos con la finalidad de tener una base de datos a tomar en consideración al momento de diseñar las cimentaciones de futuras edificaciones. El mapa se lo puede encontrar en el apartado de anexos, exactamente el **Anexo 20**.

### 5.2 Recomendaciones

Se recomienda tener en cuenta las normativas vigentes para el diseño del hormigón con el fin de evitar futuras patologías relacionadas a la concentración de sulfatos. Pues la resistencia del hormigón ante los sulfatos se mejora, si este es más densa e impermeable, tal como se lo menciona en la **Tabla 1** que está basada en la normativa (ACI, 2014); otro factor a tener en cuenta es el tipo de cemento a utilizarse según la severidad de los sulfatos, tal como se lo muestra en la **Tabla 3**.

Se recomienda para futuras investigaciones tomar en cuenta la concentración de sulfatos existente en el agua que se utiliza para la elaboración de hormigón, así también la

manera en la que este afecta al acero de refuerzo, evitando el uso de agua de riego pues este podría contener un alto nivel de sulfatos.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar una grilla con distancia de mallado menor al utilizado en esta investigación con el propósito de tener un mayor número de muestras con el que se tendría un mejor nivel de confianza en cuanto a las respuestas, pues la concentración de sulfatos podría variar en una distancia menor a la del mallado utilizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2005). ACI-318: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. *American Concrete Institute*.  
[https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci\\_318s\\_14\\_en\\_espanol.pdf](https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf)
- ACI. (2014). ACI 201: Guía para la durabilidad del hormigón. *American Concrete Institute*.  
<https://www.studocu.com/bo/document/universidad-unidad/trabajo-social-de-comunidad/aci-201-2r-01/4160589>
- Arízaga, D. (2014). *Análisis geotécnico de las causas por las cuales ocurrió el colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de comunidad terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) Cuenca y solución técnica de la problemática*.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3632/1/10312.pdf>
- ASTM-D-2216. (2019). Método De Prueba Estándar Para La Determinación En Laboratorio Del Contenido De Agua (Humedad) De Suelos Y Rocas Por Masa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- ASTM. (2015). *ASTM D-3282: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. <https://www.astm.org/d3282-15.html>
- ASTM. (2017). *ASTM D-4318: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. <https://www.astm.org/d4318-17.html>
- ASTM. (2019). *ASTM C- 136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. [https://www.astm.org/c0136\\_c0136m-19.html](https://www.astm.org/c0136_c0136m-19.html)
- ASTM. (2020). *ASTM C 1580-20: Standard test method for water - soluble sulfate in soil*. (pp. 1–14).
- Cargua, B. (2022). Estimación porcentual de incidencia de problemas estructurales originados por errores en el diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias en Colta. [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Dspace*.  
[http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9861/1/CARGUA\\_PILCO\\_BELÉN\\_ESTEFANÍA\\_ESTIMACIÓN\\_PORCENTUAL\\_DE\\_ERRORES\\_POR\\_EL\\_DISEÑO\\_Y\\_CONSTRUCCIÓN\\_DE\\_INSTALACIONES\\_HIDROSANITARIAS .pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9861/1/CARGUA_PILCO_BELÉN_ESTEFANÍA_ESTIMACIÓN_PORCENTUAL_DE_ERRORES_POR_EL_DISEÑO_Y_CONSTRUCCIÓN_DE_INSTALACIONES_HIDROSANITARIAS.pdf)
- Catur, F. (2021). Valoración del hormigón ante ataque de sulfatos. *Revista Ingeniería*, 5(12), 180–192. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.83>

- Cevaconsult. (2022). *Importancia de las cimentaciones en el diseño de estructuras*.  
<https://www.cevaconsult.com/cimentaciones/>
- Cordero, L. (2021). Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de hormigón. In *Universidad Católica de Cuenca*.  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Córdova, C., Zagal, E., Hepp, C., & Barattini, P. (2015). Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ministerio de Agricultura) Gobierno de Chile*.  
[https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5db8809c85793.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5db8809c85793.pdf)
- Coronel, K., Balseca, E., & Arce, X. (2011). Ataque de los sulfatos a los hormigones de Alto Desempeño. *Facultad De Ingeniería En Ciencias de La Tierra*, 7.
- Culma, C., & Forero, C. (2021). Guía metodológica para el reconocimiento in situ de patologías del concreto Culma. In *Universidad Nacional Nueva Granada*.  
<http://www.ufrgs.br/actavet/31-1/artigo552.pdf>
- Dávila, Á. (2018). Aplicación del muestreo sistemático en áreas rurales de poca accesibilidad de la Amazonía ecuatoriana. El uso de la fotografía aérea en el muestreo sistemático. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 29–48. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- GIS Geography. (2023). *What is ArcGIS?* <https://gisgeography.com/what-is-arcgis/>
- Gobierno Municipal de Colta. (2018). *Ubicación geográfica*.  
<https://gadcolta.gob.ec/gadcolta/index.php/colta/ubicacion>
- INEN. (1982a). NTE INEN 690: Mecánica de suelos. Determinación del contenido de agua. Método del secado al horno. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 05, 1–9.  
[www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)
- INEN. (1982b). NTE INEN 691: Mecánica de suelos. Determinación de límite líquido. Método de casa grande. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 05, 1–14.
- INEN. (1982c). NTE INEN 692: Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 05.
- INEN. (2011). NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 01, 1–14.  
<https://ia902909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>
- Jiménez, K., & Lozano, H. (2018). Análisis de la influencia de sulfatos y cloruros en el



- deterioro de estructuras en concreto en zonas costeras del Atlántico Colombiano. *Universidad Católica de Colombia.*, 1, 430–439.
- Londoño, E. (2022). *Lo que debes saber sobre el ataque de sulfatos en el concreto.* <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>
- Maldonado, Y. (2020). ▷ *Cimentaciones superficiales.* <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/cimentaciones-superficiales/>
- Montoya, J., & Pinto, F. (2010). Cimentaciones. *Cimentaciones y Fundaciones.* <file:///C:/Users/adm/Downloads/cimentaciones-y-fundaciones.pdf>
- NEC. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción: Geotécnia y cimentaciones. *NEC-SE-GC.* <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec6.pdf>
- NEC. (2015). Norma Ecuatoriana De La Construcción - Estructuras De Hormigon Armado. *NEC-SE-HM, 1.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Paucar, A. J. T. (2016). *Análisis comparativo en la determinación de la capacidad admisible por los métodos de Terzagui y Meyerhof, para el diseño de cimentaciones superficiales según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta.* 1–6. <http://sbiblio.uandina.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-search.pl?q=an:26282>
- Pire, A. (2013). Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado. *Core.Kmi.Open.Ac.Uk.* <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/12818497.pdf>
- Pire Garzon, W. (2013). Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado. In *Universidad Nacional de Colombia.* <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/12818497.pdf>
- Regalado, C. M., Muñoz Carpena, R., Socorro, A. R., & Hernández Moreno, J. M. (2015). *¿Por qué los suelos volcánicos no siguen la ecuación de TOPP?* 75–82. [https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/temas\\_de\\_investigacion\\_v5/15.pdf](https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/temas_de_investigacion_v5/15.pdf)
- Tomadin, S. (2019). Durabilidad. Ataque por sulfatos. *Universidad Católica de Córdoba,* 1–48.
- Universidad autónoma de Baja California. (2023). *Apuntes de cimentaciones.* <http://ing.ens.uabc.mx/docencia/apuntes/civil/cimentaciones.pdf>
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2012). *Ingeniería geotécnica.* [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250240/2012/tema\\_4\\_ciment\\_super.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250240/2012/tema_4_ciment_super.pdf)

Yepes, V. (2020). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. *Colección Manual de Referencia*, 2ª edición, 480. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/149852/TOC\\_0328\\_09\\_02.pdf?seque](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/149852/TOC_0328_09_02.pdf?seque)

## ANEXOS

**Anexo 1** Evidencia de patología en el punto 6



**Anexo 2** Evidencia de patología en el punto 8



**Anexo 3** Evidencia de patología en el punto 18





**Anexo 4 Evidencia de patología en el punto 24**



**Anexo 5 Evidencia de patología en el punto 26**



**Anexo 6 Evidencia de patología en el punto 30**





**Anexo 7** Evidencia de patología en el punto 33



**Anexo 8** Evidencia de patología en el punto 35



**Anexo 9** Evidencia de patología en el punto 36



**Anexo 10** Evidencia de patología en el punto 37



**Anexo 11** Evidencia de patología en el punto 44



**Anexo 12** Evidencia de patología en el punto 46





**Anexo 13** Evidencia de patología en el punto 47



**Anexo 14** Evidencia de patología en el punto 49



**Anexo 15** Evidencia de patología en el punto 66



**Anexo 16** Evidencia de patología en el punto 74



**Anexo 17** Evidencia de patología en el punto 79

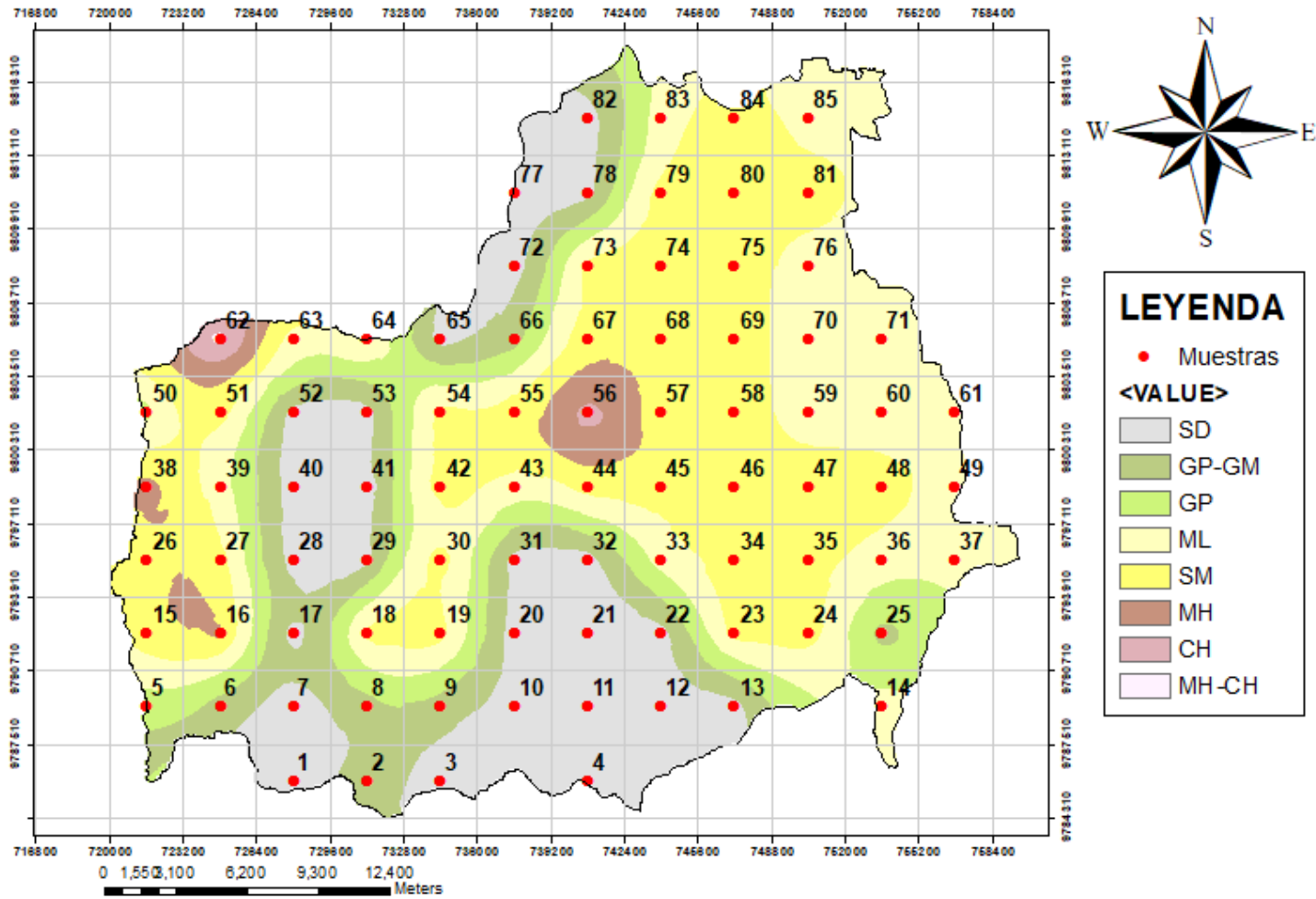


**Anexo 18** Evidencia de patología en el punto 80





Anexo 19 Clasificación de los suelos en el cantón Colta



Anexo 20 Zonificación según la concentración de sulfatos en el cantón Colta.

