



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

**EXPOSICIÓN POR SULFATOS EN EL SUELO A LOS
ELEMENTOS SUPERFICIALES DE HORMIGÓN DE
VIVIENDAS DEL CANTÓN PALLATANGA, PROVINCIA DE
CHIMBORAZO**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Muñoz Cargua Kelly Valeria
Yépez Pavez Mario Nicolás

Tutor:

MgSc. Andrea Natali Zárate Villacrés

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Kelly Valeria Muñoz Cargua, con cédula de ciudadanía 0605102631 y Mario Nicolás Yépez Pavez, con cédula de ciudadanía 0605534924, autores del trabajo de investigación titulado: Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del Cantón Pallatanga, Provincia de Chimborazo, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 9 de noviembre de 2023.



Kelly Valeria Muñoz Cargua

C.I: 0605102631



Mario Nicolás Yépez Pavez

C.I: 0605534924

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

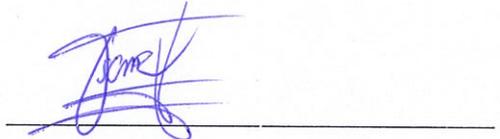
Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del Cantón Pallatanga, Provincia de Chimborazo, presentado por Kelly Valeria Muñoz Cargua con cédula de identidad 0605102631 y Mario Nicolás Yépez Pavez con cédula de identidad 0605534924, 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, 9 de noviembre de 2023.

Alexis Iván Andrade Valle, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Oscar Alfredo Cevallos Velasquez, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



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



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 Pallatanga, Provincia de Chimborazo, presentado por Kelly Valeria Muñoz Cargua con cédula de identidad 0605102631 y Mario Nicolás Yépez Pavez con cédula de identidad 0605534924, bajo la tutoría de Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés; 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 9 de noviembre de 2023.

Alexis Iván Andrade Valle, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Oscar Alfredo Cevallos Velasquez, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



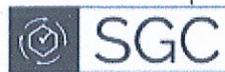
Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

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

CERTIFICACIÓN

Que, **MUÑOZ CARGUA KELLY VALERIA** con CC: **060510263-1** y **YÉPEZ PAVEZ MARIO NICOLÁS** con CC: **060553492-4**, estudiante 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 PALLATANGA, 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, 23 de octubre de 2023

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

DEDICATORIA

A mis padres quienes con su amor, esfuerzo y valentía me han permitido disfrutar este sueño. Por ser mi inspiración y motivación para lograr esta victoria.

A mis tíos y primos por su cariño, apoyo y aliento en cada circunstancia.

*¡Con la ayuda de Dios,
todo es posible familia!*

Kelly V. Muñoz C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser mi fuente de vida, mi luz y mi esperanza, por ser mi fortaleza y llenar mi corazón de fe para cumplir mi propósito.

A mis padres, tíos y primos por formar parte de mis recuerdos más valiosos y llenar mis días de alegría.

A mis amigos con quienes compartí experiencias increíbles, gracias por su ayuda incondicional.

A nuestra tutora de tesis, Ing. Andrea Zárate quien con su conocimiento, enseñanza y paciencia permitió el desarrollo de este proyecto. A todos los docentes por su invaluable contribución en mi desarrollo académico para llegar a ser una profesional excepcional.

Kelly V. Muñoz C.

DEDICATORIA

A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir hoy un sueño más. Por inculcarme valores y principios que han contribuido a formarme como persona. Por creer en mí desde el primer día y brindarme su apoyo que ha sido la clave para no rendirme.

A mi hermano y hermana por su cariño y soporte en todo momento. Espero les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

¡Los amo familia!

Mario N. Yépez P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haberme permitido llegar con salud y lleno de vida.

A mis padres y hermanos por compartir buenos momentos y llenarme de alegría día tras día. Por ser mi mayor inspiración para así alcanzar mis metas y objetivos.

A mis amigos con quienes compartí dentro y fuera de las aulas, gracias por su apoyo y ayuda. ¡Nunca los olvidaré!

A nuestra tutora de tesis, Ing. Andrea Zárate quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y rectitud permitió el desarrollo de este proyecto. A si mismo a todos los docentes que contribuyeron a mi formación para llegar a ser un profesional excepcional.

Mario N. Yépez P.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	17
1.1	Planteamiento del Problema	18
1.2	Objetivos.....	19
1.2.1	Objetivo General.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1	Cimentación	20
2.2	Hormigón.....	22
2.3	Patologías del hormigón armado	22
2.4	Sulfatos	22
2.5	Ataque químico por sulfatos	23
2.6	Fuentes de sulfatos.....	23
2.7	Consecuencias del ataque de sulfatos	23
2.7.1	Formación de Etringita	24
2.7.2	Formación de Thaumasita	24
2.7.3	Formación de Yeso.....	24

2.8	Categorías y clases de exposición.....	24
2.9	Protección del hormigón contra los ataques por sulfatos.....	26
2.10	Esquema de degradación química del hormigón.....	27
2.11	Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	27
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	29
3.1	Diseño de investigación	29
3.2	Tipo de Investigación.....	30
3.3	Enfoque de la investigación	30
3.4	Pregunta de Investigación	30
3.5	Hipótesis	30
3.6	Variables	30
3.6.1	Variable independiente	30
3.6.2	Variable dependiente	30
3.7	Delimitación del área de estudio.....	30
3.7.1	Sistema de información geográfica (SIG)	30
3.7.2	Mapas de Suelo tipo “Área-polígono”.....	31
3.7.3	Levantamiento Tipo Grilla	31
3.8	Descripción del área de estudio	31
3.9	Población de estudio y tamaño de la muestra	31
3.10	Técnicas de recolección de datos	33
3.10.1	Obtención de muestras.....	33
3.11	Método de Análisis e interpretación de las muestras	33
3.11.1	Ensayo de Granulometría y clasificación del suelo.....	33
3.11.2	Concentración de Sulfatos	34
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1	Resultados.....	35
4.1.1	Exploración de campo	35

4.1.2	Ensayo de granulometría	36
4.1.3	Ensayo de concentración de sulfatos	36
4.1.4	Tabla de resultados	37
4.1.5	Mapas de los tipos de suelo	54
4.1.6	Mapas de exposición a sulfatos	56
4.1.7	Concentración de sulfatos según el tipo de suelo	59
4.1.8	Comparación de normas para suelos con presencia de sulfatos	60
4.1.9	Patologías en viviendas cercanas a los puntos de extracción	63
4.2	Discusión	63
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	65
5.1	Conclusiones	65
5.2	Recomendaciones	66
6.	BIBLIOGRAFÍA	66
7.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Ecuatoriana.....	25
Tabla 2. Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Americana.....	25
Tabla 3. Valores límite y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Británica.....	25
Tabla 4. Valores límite para las clases de exposición al ataque químico por sulfatos, Norma Alemana.....	26
Tabla 5. Requisitos para mezclas del Hormigón.....	26
Tabla 6. Mecanismos de transporte de materia en el hormigón.....	27
Tabla 7. Clasificación del suelo.....	28
Tabla 8. Tamices para Ensayo de Granulometría.....	33
Tabla 9. Tablero de resultados.....	37
Tabla 10. Comparación entre normativas para la concentración de sulfatos según su severidad.....	60
Tabla 11. Estado de viviendas cercanas a los puntos de extracción.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de flujo de trabajo.....	29
Ilustración 2. Cantidad de muestras y clasificación según la SUCS.....	36
Ilustración 3. Cantidad de muestras y concentración de sulfatos según su severidad	36
Ilustración 4. Concentración de sulfatos según el tipo de suelo.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cimentaciones superficiales – a.....	21
Figura 2. Cimentaciones superficiales – b.....	21
Figura 3. Cimentaciones profundas.....	21
Figura 4. Esquema de ataque por sulfatos al hormigón.....	23
Figura 5. Mapa del cantón Pallatanga ArcGIS.....	31
Figura 6. Puntos de muestreo localizados en Google Earth.	32
Figura 7. Cantidad de muestras accesibles e inaccesibles.....	35
Figura 8. Clasificación del suelo (SUCS) en el cantón Pallatanga.....	54
Figura 9. Mapa de zonificación del Tipo de Suelo (SUCS) en el cantón Pallatanga.	55
Figura 10. Mapa de exposición a sulfatos por severidad según el tipo de suelo.....	56
Figura 11. Mapa de zonificación de exposición a sulfatos por severidad.....	57
Figura 12. Mapa de zonificación de exposición por concentración de sulfatos.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo Fotográfico 1. Vivienda P21 y aledañas.....	69
Anexo Fotográfico 2. Vivienda P25.....	69
Anexo Fotográfico 3. Viviendas P29.....	69
Anexo Fotográfico 4. Vivienda P41.....	69
Anexo Fotográfico 5. Viviendas y estructuras P46.....	70
Anexo Fotográfico 6. Vivienda P48.....	70
Anexo Fotográfico 7. Vivienda P57.....	70
Anexo Fotográfico 8. Vivienda P58.....	70
Anexo Fotográfico 9. Viviendas P60.....	71

RESUMEN

Los elementos estructurales tales como las cimentaciones están en constante interacción con el suelo lo que las expone a factores ambientales y a ataques químicos como los originados por sulfatos que influyen en el proceso de degradación del hormigón afectando la durabilidad y vida útil de la estructura. Por tal motivo, se analizó la exposición de elementos superficiales al ataque de sulfatos tomando en consideración la concentración de sulfatos en el suelo del cantón Pallatanga en la provincia de Chimborazo aplicando una investigación de carácter experimental con enfoque mixto. Para lograr el objetivo, 49 muestras de suelo extraídas de la zona de estudio fueron sometidas a ensayos de granulometría integrando la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM C-136) y la del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN-696), clasificadas mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se determinaron los niveles de concentración de sulfatos presente en el suelo empleando la norma ASTM C1580-20 y utilizando la terminología detallada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HM) se definió la severidad de los sulfatos. Los resultados de la investigación muestran que en el cantón Pallatanga se identifican 6 tipos de suelo: limos de baja compresibilidad (ML) 10 muestras, arcilla de baja compresibilidad (CL) 1 muestra, grava mal gradada (GP) 7 muestras, grava mal gradada con finos limosos (GP-GM) 7 muestras, grava limosa (GM) 2 muestras y arena limosa (SM) 22 muestras. En cuanto a la concentración de sulfatos 19 muestras pertenecen a categoría Moderada (S1) y 30 muestras son de categoría Severa (S2). Además, se zonificó el cantón en un mapa que presenta la exposición del hormigón a los sulfatos por severidad según el tipo de suelo lo que permitirá a futuras construcciones tomar las medidas necesarias para que dichas estructuras cumplan con las condiciones de uso para las cuales fueron diseñadas y evitar el detrimento de la seguridad de la estructura.

Palabras claves: Hormigón, sulfatos, ataque químico por sulfatos, cimentación, SUCS.

ABSTRACT

Structural elements such as foundations are in constant interaction with the ground, which exposes them to environmental factors and chemical attacks such as sulfates that influence the degradation process of concrete, highlighting the durability and useful life of the structure. The exposure of surface elements to sulfate attack was analyzed, considering the concentration of sulfates in the soil of the Pallatanga canton in the Chimborazo Province, applying experimental research with a mixed approach. Forty-nine soil samples were extracted from the study area. Granulometry tests were applied to them integrating the standard of the American Society for Testing and Materials (ASTM C-136) and the Ecuadorian Institute for Standardization (INEN-696), classified by the Unified Soil Classification System (SUCS), the concentration levels of sulfates present in the soil were determined using the ASTM C1580-20 standard and using the terminology detailed in the Ecuadorian Construction Standard (NEC-SE-HM). The results show that six types of soil are identified in the Pallatanga canton: low-compressibility silts (ML) 10 samples, low-compressibility clay (CL) 1 sample, poorly graded gravel (GP) 7 samples, poorly graded gravel with silty fines (GP-GM) 7 samples, silty gravel (GM) 2 samples, and silty sand (SM) 22 samples. Nineteen samples belong to the Moderate category (S1), and thirty samples are in the Severe category (S2). In addition, the canton was zoned on a map that shows the exposure of concrete to sulfates by its severity, which will allow future constructions to take all the necessary measures so that structures comply with the conditions of use for which they were designed and avoid detriment of the structure.

Keywords: Concrete, sulfates, chemical attack by sulfates, foundation, SUCS.



Firmado electrónicamente por:
JENNY ALEXANDRA
FREIRE RIVERA

Reviewed by:

Lic. Jenny Freire Rivera

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604235036

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

El cantón Pallatanga se ubica al oeste de la provincia de Chimborazo, en Ecuador. Se encuentra a 86 km de la capital de la provincia, Riobamba y mantiene una extensión de 380 Km, en el Parque Central de su cabecera cantonal se registran 1520 metros sobre el nivel del mar. Sus límites políticos son: Norte, cantón Colta; Sur, cantón Alausí; Este el cantón Guamote y Oeste el Río Chimbo que lo separa del Cantón Chillanes de la Provincia de Bolívar (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2017).

El (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021) señala que el cantón Pallatanga se caracteriza por tener suelos provenientes de materiales aluviales, con partículas gruesas a finas; de materiales fluviales con presencia de materiales de origen sedimentario y volcánico; además, se exhibe traslocación de películas de arcilla.

Dado el continuo desarrollo del cantón Pallatanga, la construcción de nuevas viviendas, centros turísticos y otras edificaciones resulta imprescindible. Estas construcciones requieren de una cimentación que proporcione una base estable para sostener la estructura, que transmita las cargas a través del suelo y se eviten alteraciones que afecten a la integridad de la estructura (Nilson, 2006).

El material más utilizado en la construcción es el hormigón cuya aplicación se centra en la construcción de edificios, puentes, presas, carreteras, túneles, entre otras infraestructuras; su aceptación se fundamenta en diversas ventajas, entre las cuales se destacan sus propiedades físico-mecánicas, versatilidad, facilidad de producción y durabilidad (Lv et al., 2020).

La durabilidad y vida útil de las estructuras de hormigón pueden ser afectadas por las condiciones ambientales; especialmente, una de las grandes amenazas para la durabilidad de las estructuras de concreto está representada por el ataque químico de los sulfatos debido a que ocasiona la pérdida de resistencia, cambios de masa, deformación, formación de productos expansivos, pérdida de cohesión de los productos de hidratación del cemento, degradación de la durabilidad y vida útil lo que conduce gradualmente a una reducción en la confiabilidad de las estructuras de hormigón (Liu et al., 2020).

En base a lo expuesto, se plantea clasificar y caracterizar 49 muestras de suelo extraídas del Cantón Pallatanga aplicando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la norma ASTM C1580-20 con el objetivo de analizar el nivel de exposición a los sulfatos de los elementos superficiales de hormigón a través de ensayos de laboratorio que permiten determinar la concentración de sulfatos y conocer su severidad, misma que se detallará en un mapa de zonificación que contribuirá al sector de la construcción al permitir que se implementen medidas de protección y de esta manera se garantice la durabilidad y seguridad de las edificaciones frente a este tipo de deterioro.

1.1 Planteamiento del Problema

Después de una visita al cantón Pallatanga se puede observar que algunos de los elementos estructurales de las viviendas que se sitúan tanto en el centro como en sus alrededores presentan asentamientos que generan fisuras y agrietamientos e incluso se visualizan desprendimientos y humedad, lo que resulta en una exposición del acero de refuerzo que implica la disminución de durabilidad y resistencia para la cual fueron diseñadas.

En el cantón Pallatanga según estudios de suelo realizados se determina que en su mayoría existen suelos aluviales y fluviales que pueden contener partículas de diferentes tamaños, desde limos y arcillas hasta arenas y gravas que tienden a tener una alta permeabilidad y porosidad debido a la naturaleza suelta de los materiales depositados (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021).

El entorno puede presentar concentraciones elevadas de iones de sulfato tanto en el suelo como en las aguas que se encuentran en contacto con las estructuras de hormigón representando un riesgo a la estructura (Coronel et al., 2011).

El ataque de sulfatos implica tanto procesos químicos como físicos, en el contexto del ataque químico los sulfatos invasivos reaccionan con el hidróxido de calcio, dando lugar a la formación de yeso, y posteriormente el yeso reacciona con el aluminato tricálcico C3A para formar etringita; durante este proceso, el consumo de hidróxido de calcio reduce el valor del pH en la solución porosa del hormigón y la formación de etringita y yeso puede provocar cambios en la matriz cementosa; además, en términos de ataque físico, la formación de etringita y yeso se acompaña de un aumento de volumen, lo que provoca deformaciones expansivas en el hormigón y por ende, fisuración (Liao et al., 2020), representando una amenaza significativa para la durabilidad de las estructuras de hormigón al ocasionar descamación superficial, alteración expansiva y pérdida de cohesión en los productos de hidratación del cemento (Zou et al., 2019).

Debido a las consideraciones expuestas, se propone llevar a cabo la recopilación y prueba de muestras de suelo del cantón Pallatanga, con el propósito de analizar el tipo de suelo y determinar si presenta una concentración significativa de sulfatos que pueda afectar negativamente futuras obras civiles al desgastar la integridad de las estructuras que influyen en la durabilidad a largo plazo de las estructuras de concreto y puede causar grandes pérdidas económicas (Gao et al., 2013).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas en función de la concentración del SO₄ en el suelo en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Clasificar el suelo del cantón Pallatanga según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Medir la concentración de SO₄ (sulfatos) en el suelo del cantón Pallatanga mediante ensayos de laboratorio.
- Realizar una zonificación de la exposición de los elementos superficiales de las viviendas al ataque químico por la concentración de SO₄ en el cantón Pallatanga.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

La obtención de una estructura duradera requiere implementar una estrategia integral que tome en cuenta todos los factores potenciales de degradación y tome acciones correspondientes en cada etapa del proceso, incluyendo el diseño, la construcción y el uso de la estructura (Jara, 2015). En el presente capítulo se plasma información acerca de los elementos superficiales de hormigón, las patologías que pueden presentar y como son afectados por el ataque químico de sulfatos. Se detalla las fuentes de sulfatos, las consecuencias de su ataque y la formación de la etringita, thaumasita y yeso que se definen como compuestos expansivos que ocasionan el deterioro del hormigón (Coronel et al., 2011).

Se focaliza la durabilidad del hormigón que constituye un aspecto de gran relevancia debido a que está estrechamente vinculada con la vida útil de las estructuras y al estar expuesto al ataque de sulfatos es importante conocer el grado de exposición y establecer medidas de protección tomando en consideración la severidad y el tipo de suelo en estudio que se define según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

2.1 Cimentación

Los cimientos son elementos estructurales situados bajo el nivel de suelo y se destinan a la transmisión total de cargas provenientes de la estructura hacia un estrato del suelo suficientemente resistente, por lo que su principal función es la de mantener en pie cualquier tipo de estructura evitando el colapso.

Existen dos tipos de cimentaciones, se conoce como cimentaciones superficiales (**Figura 1** y **Figura 2**) cuando el terreno presenta propiedades físicas, químicas y mecánicas óptimas a nivel del suelo o hasta una profundidad aproximada de 4 metros, lo que hace posible cimentar sobre él, además de evitar un coste alto. Por el contrario, si el terreno es pobre en sus propiedades se recurre a cimentaciones profundas (**Figura 3**) que resultaría en lo más económico. Dentro de las cimentaciones superficiales se incluyen zapatas, vigas, muros y placas, por otro lado, las cimentaciones profundas se constituyen por pilotes (Calavera, 2000).

El diseño de la cimentación es primordial previo a su construcción para lo cual existen diferentes requisitos que garantizan su adecuado funcionamiento evitando debilitaciones en la estructura lo que mantiene seguro a sus ocupantes. Es importante que los cimientos sean capaces de soportar las cargas verticales y horizontales sin evitar asentamientos excesivos, además de ser un elemento estable asegurando así una distribución uniforme de las cargas en el suelo evitando posibles fallas debido a una concentración excesiva de esfuerzos.

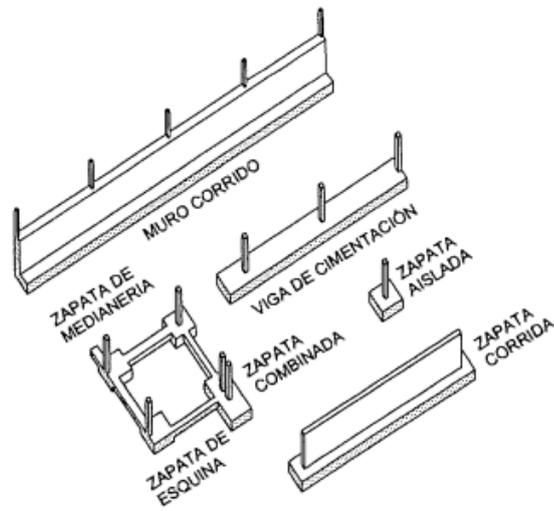


Figura 1. Cimentaciones superficiales – a.
Fuente: (Calavera, 2000).

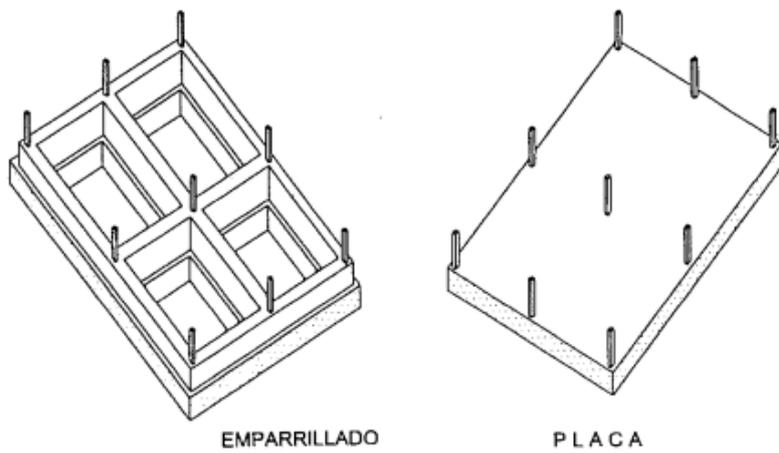


Figura 2. Cimentaciones superficiales – b.
Fuente: (Calavera, 2000).

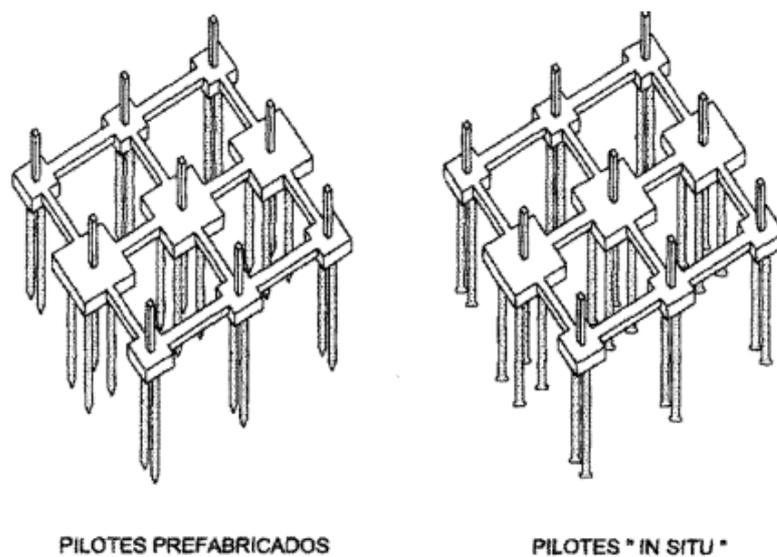


Figura 3. Cimentaciones profundas.
Fuente: (Calavera, 2000)

2.2 Hormigón

El hormigón es un material compuesto principalmente por cemento, agua, arena y grava, que en ciertas ocasiones y según las necesidades del proyecto o su ubicación se tiende a agregar aditivos, que al combinarlos en proporciones específicas concretan una mezcla que posterior al fraguar forma una masa sólida altamente resistente (Perles, 2005).

El hormigón al incluir acero se lo denomina hormigón armado, de esta manera sus propiedades físicas, químicas y mecánicas se ven incrementadas por lo que es ampliamente utilizado en la construcción de edificios, puentes, carreteras, muros de contención, hidroeléctricas y demás obras similares. Así mismo es importante destacar el bajo costo y la facilidad de producción en relación con otros materiales de construcción.

2.3 Patologías del hormigón armado

El hormigón armado puede verse afectado por diferentes patologías que pueden comprometer su resistencia, durabilidad y funcionalidad por lo que interpretar los daños con los que se manifiesta la estructura reduce su degradación, de ahí que se tome medidas inmediatas para la corrección del problema. Según Porto (2005) el hormigón armado presenta las siguientes patologías:

- Daños por agentes exteriores
 - Ataque físico
 - Ataque químico
 - Corrosión de armaduras
- Daños intrínsecos propios del hormigón
 - No estructurales
 - Estructurales
- Daños causados por acciones extraordinarias
 - Fuego
 - Sismo
 - Impactos

2.4 Sulfatos

Los sulfatos son compuestos químicos estructurados por el ion de sulfato conocido como $(\text{SO}_4)^{2-}$ mismo que se conforma por un átomo de azufre enlazado a cuatro átomos de oxígeno y que a su vez son sales que proviene del ácido sulfúrico (H_2SO_4), que es uno de los ácidos más fuertes y comunes ya que se emplea en diferentes industrias a nivel global (Coronel et al., 2011).

Los iones de sulfato pueden estar unidos a diferentes tipos de cationes creando distintos sulfatos y que se encuentran presentes en la naturaleza a lo largo de la corteza terrestre e inclusive el agua lluvia, denominada como lluvia ácida (Moreno et al., 2011).

2.5 Ataque químico por sulfatos

Los iones de sulfato en el hormigón causan daños significativos (**Figura 4**) cuando estos se encuentran presentes en altas concentraciones debido a la reacción que se produce entre ambos elementos que a su vez es una de las acciones más agresivas lo que provoca disminución en la durabilidad del hormigón debido a la formación de compuestos expansivos como la etringita, thaumasita y yeso que derivan en la existencia de fisuras, agrietamientos y porosidad lo que implica también en la corrosión de armaduras (Porto, 2005).

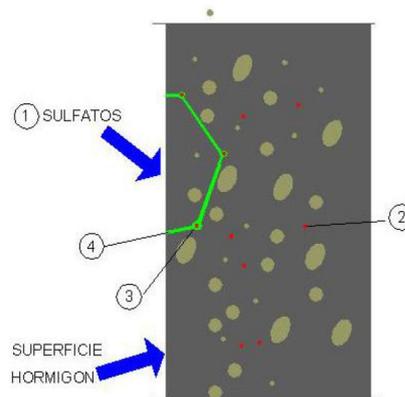


Figura 4. Esquema de ataque por sulfatos al hormigón.
Fuente: (Porto, 2005).

2.6 Fuentes de sulfatos

Los sulfatos están presentes en diversas fuentes naturales, pero también se los encuentra debido a varias actividades humanas. Dentro del ecosistema natural se los encuentra en suelos que disponen de una baja u alta concentración de minerales o rocas sedimentarias que a lo largo del tiempo se ha ido descomponiendo, a su vez también se los encuentra en aguas subterráneas de manera disuelta que pueden infiltrarse al suelo. A través de la actividad humana se los puede encontrar en el ambiente debido a la actividad minera, por la agricultura debido a el uso de fertilizantes e inclusive el mal manejo de las aguas residuales domésticas, comerciales o industriales que pueden contaminar el suelo (Tomadin, 2019).

Existen diferentes tipos de sulfatos, pero los más comunes que atacan al concreto son el sulfato de sodio, sulfato de potasio, calcio y magnesio, siendo este último el más dañino y agresivo, pero cada uno de ellos causa un daño con un grado de ataque diferente (Neville, 2016).

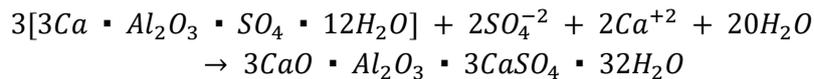
2.7 Consecuencias del ataque de sulfatos

Cuando los sulfatos atacan, es decir logran ingresar al hormigón es donde inicia la reacción química con los componentes del cemento, que tienden a reaccionar sobre todo con el aluminato tricálcico que forman compuestos expansivos como la etringita, thaumasita y yeso que son aquellos que producen el agrietamiento y fisuración del hormigón dejando expuesta su armadura lo que facilita la corrosión (Araújo, 2013).

2.7.1 Formación de Etringita

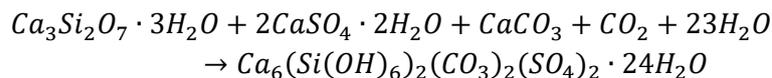
La etringita secundaria se forma a partir de la reacción de los aluminatos cálcicos hidratados del cemento con los iones de sulfato, produciendo cristales que llegan a ocupar un volumen de los compuestos mayor al normal creando tensiones internas que contribuyen a la expansión del hormigón, lo que deriva en el deterioro del hormigón (Chinchón-Payá et al., 2021).

Además, esta reacción es común cuando la relación de agua-cemento es alta y se tiene una alta concentración de sulfatos.



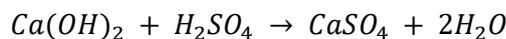
2.7.2 Formación de Thaumasita

La thaumasita es un compuesto cristalino similar a la etringita, pero su diferencia radica en que este reacciona con los silicatos y los carbonatos, lo que forma una sal compleja y su principal consecuencia es la desintegración del gel CSH. A su vez esta reacción también provoca un aumento de volumen en el hormigón lo que causa su degradación a causa de la presión interna y es frecuentemente visto en ambientes con una alta concentración de sulfatos (Irassar et al., 2010).



2.7.3 Formación de Yeso

El yeso se forma a partir del proceso químico en el cual los iones de sulfatos presentes en el entorno reemplazan a los aniones de hidróxido (OH)⁻ del CH que se forma en la hidratación de los silicatos de calcio. El yeso se genera a partir de los cristales de CH mismos que se alojan en los poros que surgen entre los agregados cuando se produce la hidratación del cemento portland, lo que da lugar a su crecimiento produciendo el ablandamiento de la capa exterior del hormigón (Tomadin, 2019).



2.8 Categorías y clases de exposición

La exposición de los elementos de hormigón al ataque de sulfatos tiene un impacto significativo en su durabilidad y vida útil, el nivel al que se encuentran expuestos influye en la pérdida de resistencia y reduce su fiabilidad al ocasionar graves problemas estructurales (Dandan et al., 2019).

Las normativas como el American Concrete Institute (ACI), Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), British Standards Institution (BSI) y Deustcher Industrie Normen (DIN) han definido niveles de exposición basados en la concentración de sulfatos presentes en el suelo y en el agua, clasificándolos desde niveles de agresividad y severidad despreciables hasta niveles muy elevados (Catur, 2021). Su aplicación permite conocer el grado de exposición y de esta manera combatir el ataque por sulfatos en base a las

recomendaciones propuestas por la normativa obteniendo así una mejora en la durabilidad del hormigón.

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

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

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Tabla 2. Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos, Norma Americana.

Severidad de la potencial exposición	Sulfato soluble en agua (SO ₄)	Sulfato (SO ₄) en agua, ppm	a/c en masa, máx.
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 < 0.20	1500 a < 10000	0.45
Exposición Clase 3	≥ 0.20	≥ 10000	0.40
Exposición al agua de mar	-	-	Ver sección 2.4, ACI 201

Fuente: (American Concrete Institute, 2012).

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

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

Fuente: (British Standards Institution, 2013).

Tabla 4. Valores límite para las clases de exposición al ataque químico por sulfatos, Norma Alemana.

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

Nota: XA1: Entorno químico Ligeramente agresivo, XA2: Entorno químico Moderadamente agresivo, XA3: Entorno químico Altamente agresivo.

Fuente: (DIN 4030-1, 2008).

2.9 Protección del hormigón contra los ataques por sulfatos

Para una mayor protección contra los ataques por sulfatos en el hormigón durante su fase de diseño e implementación en obra se puede aplicar las siguientes recomendaciones: En primer lugar, es fundamental que se empleen hormigones que retrasen el ingreso y el movimiento del agua, esto se reduce mediante la disminución de la relación a/c y se minimiza al seguir adecuadamente los procesos de colocación, compactación, acabado y curado del hormigón. En segundo lugar, es primordial que se empleen cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C₃A) debido a que mejoran la resistencia a los sulfatos del hormigón (American Concrete Institute, 2012).

Tabla 5. Requisitos para mezclas del Hormigón.

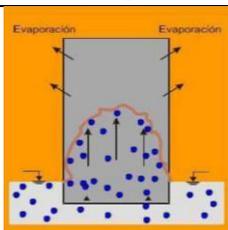
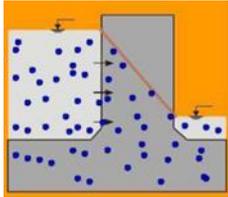
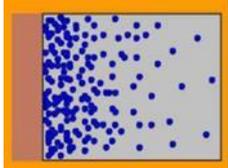
Clase de exposición	Relación a/c máx.	f'c mín. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Limites en los cementantes
			Tipos de Cemento			Aditivo cloruro de calcio
			NTE INEN 152 (ASTM C 150)	NTE INEN 490 (ASTM C 595)	NTE INEN 2380 (ASTM C 1157)	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
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).

2.10 Esquema de degradación química del hormigón

La degradación química del hormigón se divide en dos etapas conocidas como Iniciación y Período de Propagación. En el Período de Iniciación destaca el tiempo que se requiere para que las sustancias agresivas y reactivas entren en contacto debido a que las velocidades de transporte de la sustancia dentro del material se pueden prolongar dependiendo de la estructura interna del hormigón, la humedad, el tamaño y conectividad de los poros. En el Período de Propagación ocurren las reacciones que afectan a la funcionalidad, seguridad y estética de la estructura, lo que influye en la velocidad de degradación y por lo tanto en su vida útil (Villagrán & Traversa, 2010).

Tabla 6. Mecanismos de transporte de materia en el hormigón.

Mecanismos de transporte	Imagen	Descripción
Capilaridad		Absorción capilar
Permeabilidad		Fluidos sometidos a una presión
Difusión		Diferencia de concentraciones

Fuente: (Villagrán & Traversa, 2010).

2.11 Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es utilizado para la definición y caracterización cualitativa de los suelos, considera tanto la granulometría como la plasticidad y proporciona información sobre las propiedades y características de estos (Garzón et al., 2017).

El análisis granulométrico es un ensayo que se realiza mediante del tamizado de una muestra representativa del suelo a través de mallas de distintas aberturas, lo que permite iniciar la clasificación del suelo en grano grueso y fino según la distribución de tamaños de las partículas presentes en la muestra (García, 2017).

Para diferenciar entre suelos de grano grueso y fino se toma en consideración la retención o el paso de las partículas a través del tamiz N°. 200, se clasifica el suelo como grueso si más

del 50% de sus partículas son retenidas y como fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz (Geoxnet, 2019).

Los suelos gruesos se dividen en gravas y arenas, para esta distinción se utiliza el tamiz N° 4, en el que si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz el suelo se considera grava (G) y caso contrario se clasifica como arena (S) (Geoxnet, 2019).

Los suelos finos se dividen en grupos: arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O), limos inorgánicos (M). Estos grupos se subdividen en función de su límite líquido (Ll), en el caso de que sea menor al 50% se agrega la letra L (Baja compresibilidad) al símbolo general, si el límite es mayor se agrega la letra H (Alta compresibilidad) (Geoxnet, 2019). Además, se consideran los otros límites de Atterberg como el plástico (LP) y el de contracción (LC) que proporcionan información acerca de la compresibilidad del suelo (García, 2017).

Tabla 7. Clasificación del suelo

Descripción General	Símbolo	Denominación
Gravas con menos del 5% de finos	GP	Grava mal gradada
Grava con 5% - 12% de finos limosos	GP-GM	Grava mal gradada con finos limosos
Grava fina con más del 12% de finos	GM	Grava Limosa
Arena fina con más del 12% de finos	SM	Arena Limosa
Limos y arcillas (Límite Líquido menor a 50)	CL	Arcilla de baja compresibilidad
Limos y arcillas (Límite Líquido menor a 50)	ML	Limos de baja compresibilidad

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2011).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Diseño de investigación

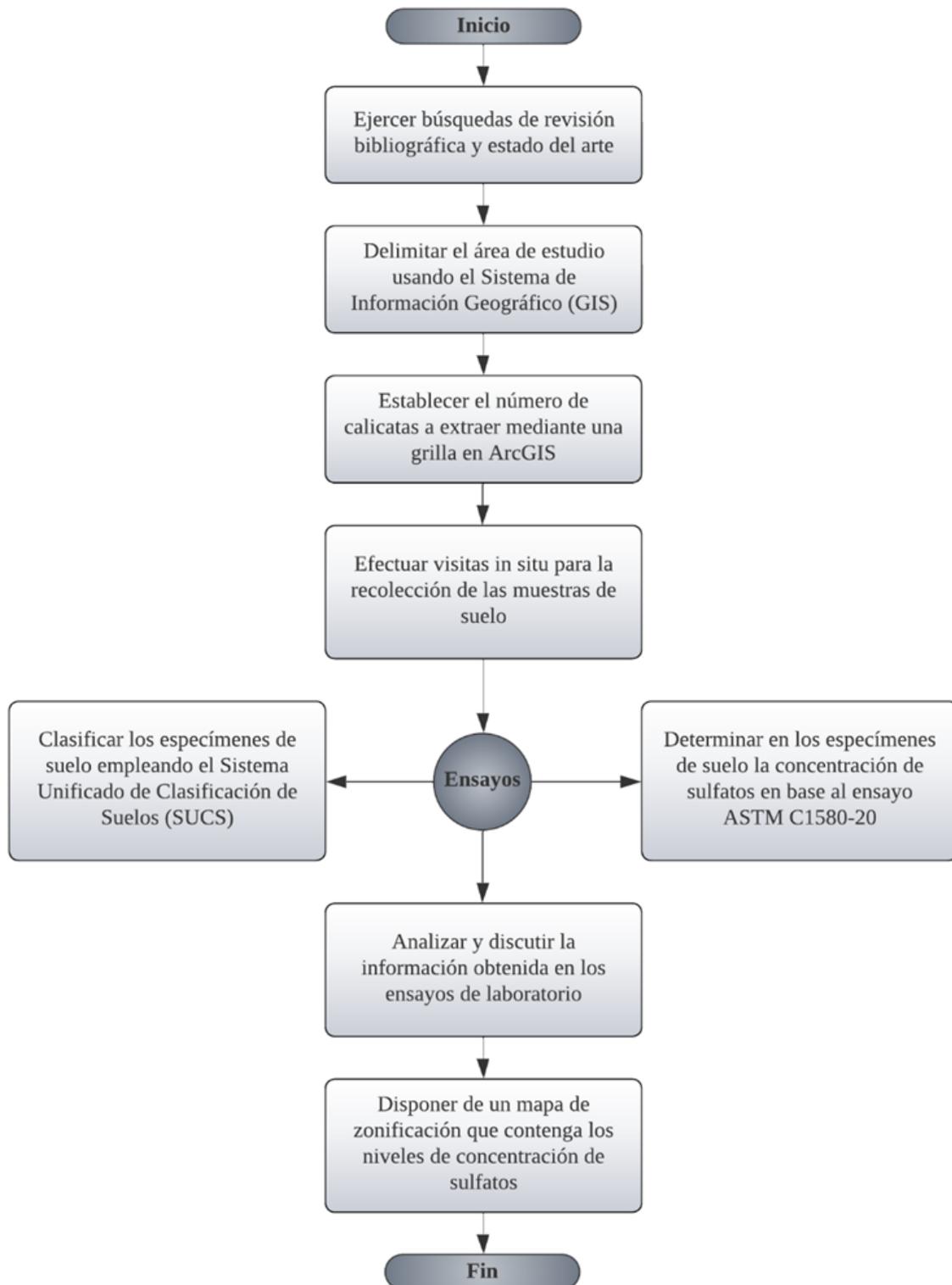


Ilustración 1. Diagrama de flujo de trabajo.

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación corresponde a una experimental debido a que en el estudio se mide por medio de ensayos a la variable independiente, además involucra una investigación descriptiva y correlacional al implicar el tipo de suelo y la concentración de sulfatos presente en cada muestra.

3.3 Enfoque de la investigación

En el presente proyecto de investigación se plantea un enfoque mixto debido a que se toman como referencias normativas que al finalizar el procesamiento de las muestras permiten obtener resultados totalmente objetivos y así verificar la hipótesis.

3.4 Pregunta de Investigación

¿El suelo del cantón Pallatanga posee una concentración de sulfatos elevada que representa un daño y ocasiona vulnerabilidad a los elementos superficiales de hormigón?

3.5 Hipótesis

La variedad de suelos de los cuales está formado el cantón Pallatanga presentan concentraciones de sulfatos elevadas que son causantes del deterioro del hormigón disminuyendo así su vida útil y afectando a sus propiedades mecánicas.

3.6 Variables

3.6.1 Variable independiente

Se plantea como variable independiente a la clasificación del suelo y concentración de sulfatos según la muestra de suelo ensayada proveniente del cantón Pallatanga.

3.6.2 Variable dependiente

Se considera como variable dependiente a la clase de exposición a la que se encuentran sometidos cada uno de los suelos, lo cual está relacionado con la concentración de sulfatos.

3.7 Delimitación del área de estudio

3.7.1 Sistema de información geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema compuesto por hardware, software y datos con la capacidad de almacenar, analizar y representar información que posea una referencia geográfica (Pucha et al., 2017). Para el tratamiento de la información geográfica se emplea el software ArcGIS que permite la creación de mapas, generación de informes y gráficos (Olaya, 2020).

3.7.2 Mapas de Suelo tipo “Área-polígono”

Para la distribución geográfica de los diferentes tipos de suelos y sus propiedades es factible la aplicación de los mapas tipo “área-polígono”. Estos mapas consisten en dividir el área de estudio en polígonos mediante límites precisos (líneas), cada polígono se etiqueta con un nombre y se detalla con una leyenda; además, se puede representar mediante el modelo vector de un Sistema de Información Geográfica (Rossiter, 2004).

3.7.3 Levantamiento Tipo Grilla

El levantamiento tipo grilla implementa un esquema de muestreo sistemático que considera un rango de autocorrelación espacial requerido y confiable, para lo cual situados en el lugar de extracción se procede a ubicar y caracterizar cada uno de los puntos de muestreo (Rossiter, 2004).

3.8 Descripción del área de estudio

Pallatanga es un cantón perteneciente a la provincia de Chimborazo, en Ecuador. Se ubica geográficamente al oeste de la provincia y en la zona de transición climática, lo que le brinda una amalgama de ecosistemas al territorio. Mantiene una extensión de 380 Km² y cuenta con 12000 habitantes (GAD Municipal del cantón Pallatanga, 2022).

3.9 Población de estudio y tamaño de la muestra

La aplicación de mapas de suelo tipo “Área-polígono” y levantamiento por grillas (**Figura 5**) permitieron definir el número de muestras a ser analizadas en base al área de estudio considerada como población finita y correspondiente al tipo de investigación no experimental.

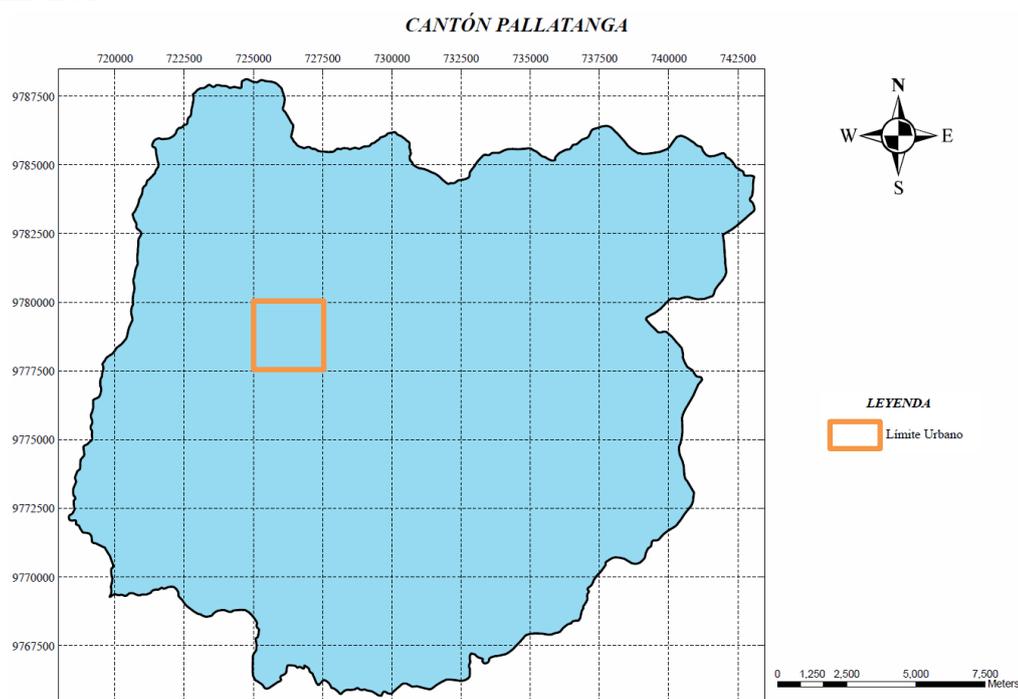


Figura 5. Mapa del cantón Pallatanga ArcGIS.

En base a la metodología propuesta por (Yescas et al., 2018), se establece la aplicación de un muestreo sistemático y muestreo sistemático céntrico utilizando una cuadrícula de patrón regular con dimensiones de 2500 x 2500m con proyección UTM (Universal Transversa de Mercator). Cada posición central de la cuadrícula se considera como un potencial punto de muestreo y de esta manera se obtiene un total de 61 muestras para el estudio (**Figura 6**).

Sin embargo, para la elección final de los sitios de muestreo se considera su ubicación y localización en campo para lo cual se aplicó el criterio de accesibilidad el mismo que toma en consideración las carreteras, senderos y terracerías existentes, se empleó el Software Google Earth y se verificó con visitas en campo (Yescas et al., 2018). Como resultado, se seleccionaron 61 puntos de muestreo, de los cuales solo 49 pueden ser extraídos.

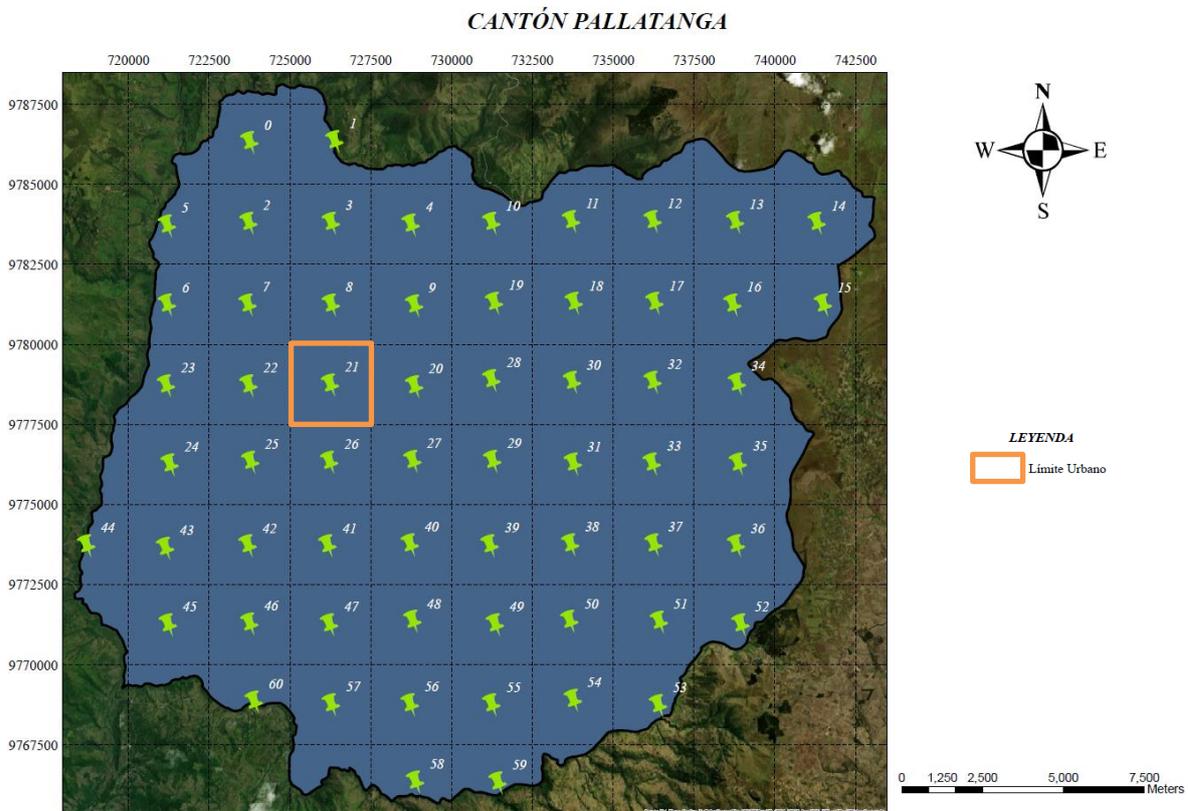


Figura 6. Puntos de muestreo localizados en Google Earth.

Es importante mencionar que se analizó la factibilidad de aplicar una grilla de menor escala con el fin de obtener un mayor número de muestras; no obstante, se tomó en consideración que al existir un incremento de muestras también aumentaría el número de puntos inaccesibles. Además, acorde al aspecto financiero se ratificó la viabilidad de realizar la recolección de muestras para el estudio con un total de 61 muestras debido a que se puede cumplir con el presupuesto planificado.

3.10 Técnicas de recolección de datos

3.10.1 Obtención de muestras

Para la extracción de cada muestra de suelo se realiza un desplazamiento hacia el área de estudio (Cantón Pallatanga) para lo cual se emplea la norma ASTM D1452 M-16, utilizando el equipo Regular Barrel Auger (Barrena de cilindro hueco) que facilita la obtención del espécimen a la profundidad de 1.20m posterior a la limpieza de la cobertura vegetal por medio de una calicata (American Society for Testing and Materials, 2016). Además, para el correcto manejo y traslado de la muestra se codifica cada una de ellas adjuntando una evidencia fotográfica; adicionalmente, se las conserva herméticamente con el fin de que el suelo se mantenga tanto como sea posible en su estado original, evitando cualquier tipo de contaminación y de transformación.

3.11 Método de Análisis e interpretación de las muestras

3.11.1 Ensayo de Granulometría y clasificación del suelo

En base a las muestras de suelo recolectadas se aplica el ensayo propuesto en la norma ASTM C-136, 2015 (American Society for Testing and Materials, 2015) y la INEN-696, 2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014); además, se determina el tipo de suelo al que pertenecen los especímenes según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Para lo cual se detalla el siguiente procedimiento:

- Se toma una porción aproximada de 5000 gramos por cada una de las muestras de suelo, mismo del que previamente se ha retirado su materia orgánica.
- Se realiza el cuarteo manual de la muestra para lo cual se divide en cuatro porciones iguales, eliminando sus opuestos y mezclando sus restantes para extraer la muestra.
- La muestra de suelo deberá ser secada en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un período de 24 horas.
- Se seleccionan y ordenan los tamices en orden descendente para colocar en el agitador mecánico durante 10 minutos, se retiran los tamices y se pesan cada uno de ellos incluido la bandeja.

Tabla 8. Tamices para Ensayo de Granulometría

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

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014)

- Se suman todos los pesos retenidos y si se obtiene una pérdida de muestra menor al 3% en relación con la masa inicial el error es aceptable.
- Se determinan los porcentajes retenidos en cada tamiz y los porcentajes retenidos acumulados para realizar la distribución de los áridos a través de la curva granulométrica.
- Para describir las muestras, se utilizaron los prefijos establecidos en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), basado en la norma INV E-181-13.

3.11.2 Concentración de Sulfatos

Para determinar la concentración de sulfatos en las muestras de suelo recolectadas, se llevó a cabo un ensayo de laboratorio siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C1580-20, que se describe a continuación:

- Se selecciona una porción de 500 gramos de cada muestra obtenida.
- Las muestras se sometieron a un proceso de secado durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Después de secar las muestras, se procedió a molerlas y tamizarlas utilizando una malla con una abertura de 0.5 mm.
- Se extrajo 10 gramos de muestra seca tamizada y se pesa en una balanza analítica con una legibilidad de $d=0.1$ mg.
- Se añade ácido nítrico (HNO_3) al 3% diluido en agua destilada en cantidad de 40 ml a la muestra. Esta mezcla se agita durante aproximadamente una hora a una temperatura de 25°C .
- Posteriormente, se permite que la mezcla decante durante 30 minutos para que las partículas de mayor densidad se depositen en el fondo. Luego de este tiempo controlado, se filtra la mezcla utilizando un embudo de cristal y papel de filtro doblado simulando un matraz Erlenmeyer.
- Se utiliza dos frascos de vidrio de 10 ml para filtrar la solución y medir la concentración de sulfatos con la ayuda de un espectrofotómetro.
- Se calibra el espectrofotómetro para utilizar una longitud de onda de 450 nm con un paso de luz de 4 a 5 cm.
- En uno de los frascos, se agrega un reactivo basado en cloruro de bario (BaCl_2), se agita la solución y se cronometra durante aproximadamente 5 ± 0.5 minutos.
- Para la calibración del espectrofotómetro, se coloca primero en la celda correspondiente uno de los frascos sin el reactivo.
- Finalmente se mide en el espectrofotómetro la turbidez generada por las partículas de sulfato de bario BaSO_4 .

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Exploración de campo

Una vez establecidas las 61 muestras a ser recolectadas tal como se muestra en la **Figura 6**, se realiza la visita de campo correspondiente donde se codifica cada una de ellas con sus respectivas coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) y elevación. Las muestras se recolectaron a una profundidad de 1.20m ya que es la altura promedio a la cual las viviendas del cantón Pallatanga son cimentadas.

De las 61 muestras totales únicamente 49 se pudieron extraer, dejando de lado las muestras de los puntos P12, P13, P16, P17, P23, P32, P33, P35, P36, P37, P38, P59, esto se da por motivos de mal temporal y nulo acceso a lugares remotos.

Es importante mencionar que durante la extracción de las muestras ninguna de ellas presento nivel freático hasta la profundidad de 1.20m debajo de la superficie de terreno. Además, cada una de las muestras fueron extraídas, transportadas y ensayadas siguiendo las normas pertinentes para su correcto análisis.

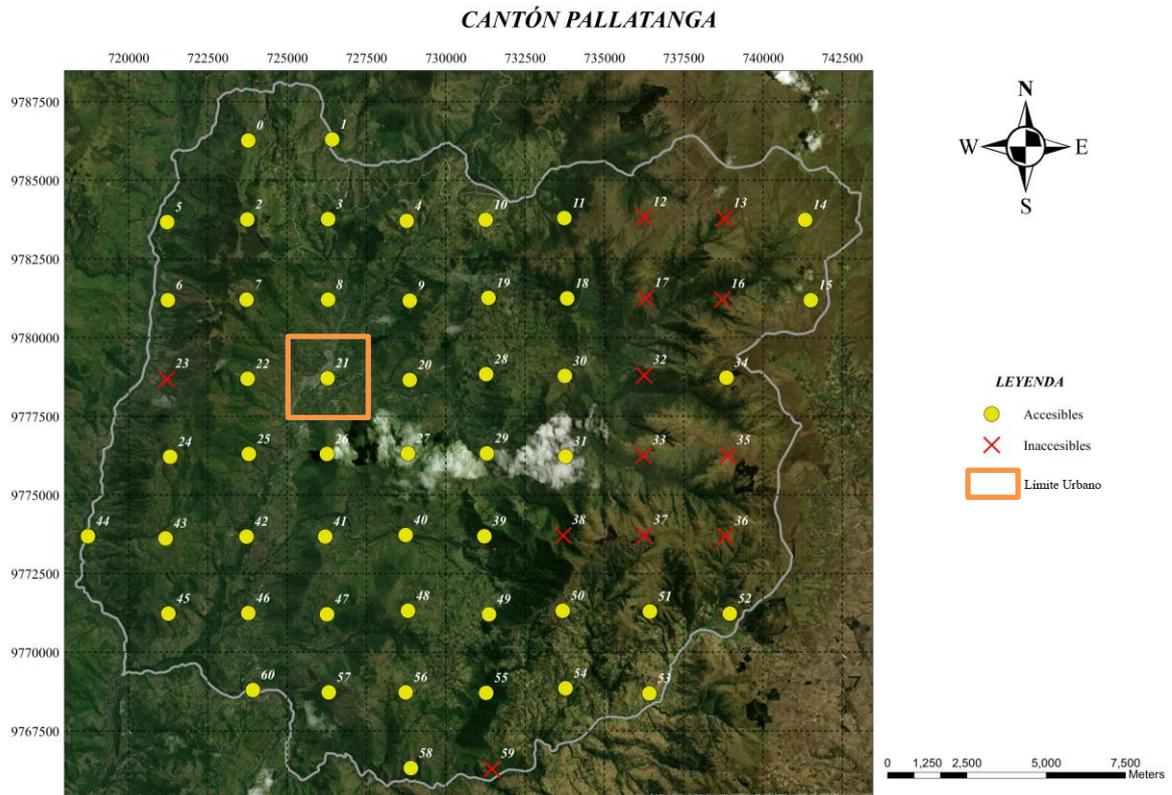


Figura 7. Cantidad de muestras accesibles e inaccesibles.

4.1.2 Ensayo de granulometría

Integrando la norma ASTM C-136, 2015 (American Society for Testing and Materials, 2015) e INEN-696, 2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014) se realiza el ensayo de granulometría, para posterior realizar la clasificación del suelo (SUCS) de las 49 muestras, de donde se obtiene que existen 6 tipos, siendo estos: Limos de baja compresibilidad (ML) 10 muestras, Arcilla de baja compresibilidad (CL) 1 muestra, Grava mal gradada (GP) 7 muestras, Grava mal gradada con finos limosos (GP-GM) 7 muestras, Grava limosa (GM) 2 muestras y Arena limosa (SM) 22 muestras.

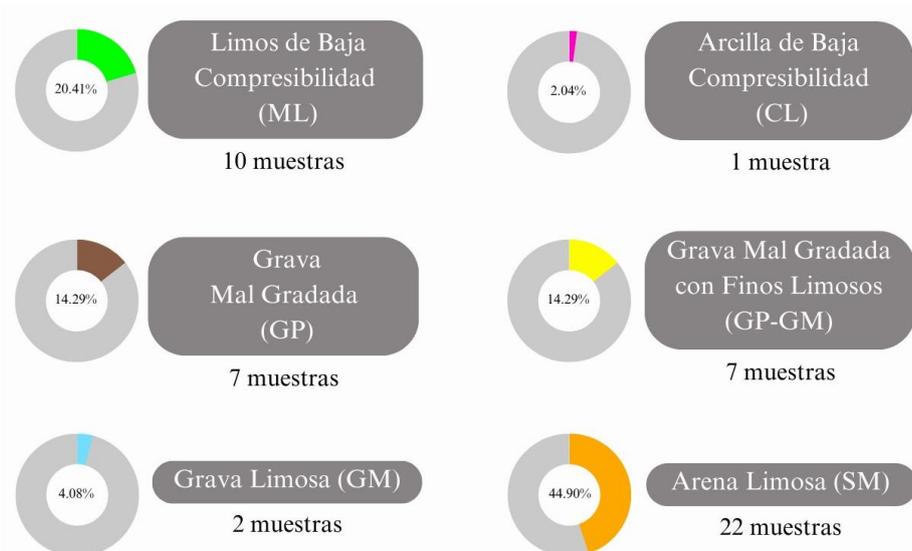


Ilustración 2. Cantidad de muestras y clasificación según la SUCS

4.1.3 Ensayo de concentración de sulfatos

Empleando la norma ASTM C1580-20 para determinar la concentración de sulfatos presente en el suelo y utilizando la terminología presente en la norma NEC-SE-HM para la severidad de los sulfatos, se obtiene que, de las 49 muestras analizadas, 30 de ellas son de categoría “Severa” con un rango entre 1500 y 10000 ppm y los 19 restantes en categoría “Moderada” con un rango entre 140 y 1500 ppm. Además, se expone la comparación entre la Norma Ecuatoriana, Norma Americana, Norma Británica y Norma Alemana, misma que se detalla en la **Tabla 10**.



Ilustración 3. Cantidad de muestras y concentración de sulfatos según su severidad

4.1.4 Tabla de resultados

Tabla 9. Tablero de resultados.

Código	Elevación	Coordenadas		Profundidad de muestra	Humedad natural	Clasificación del suelo	Concentración de sulfatos	Severidad	Evidencia fotográfica
	<i>m.s.n.m</i>	Este	Norte		%	SUCS	<i>ppm</i>	NEC	
P0	2255	723777.97	9786264.29	1.20	19.07	GP-GM	3402.50	Severa	
P1	1793	726420.06	9786298.17	1.20	22.51	GP-GM	560.00	Moderada	

P2	2775	723744.09	9783757.70	1.20	40.40	GP-GM	1935.00	Severa	
P3	2138	726292.12	9783765.06	1.20	64.78	SM	1060.00	Moderada	
P4	2501	728774.26	9783710.71	1.20	53.20	SM	1835.00	Severa	

P5	1477	721219.14	9783674.47	1.20	53.46	SM	580.00	Moderada	
P6	1529	721237.26	9781192.34	1.20	44.68	SM	435.00	Moderada	
P7	2538	723719.40	9781210.45	1.20	30.68	GP	920.00	Moderada	

P8	1776	726292.12	9781210.45	1.20	14.58	SM	2060.00	Severa	
P9	2272	728864.85	9781174.22	1.20	17.31	GP-GM	1580.00	Severa	
P10	2827	731256.40	9783746.94	1.20	62.30	SM	2746.70	Severa	

P11	3135	733738.53	9783801.30	1.20	20.48	GP-GM	3196.70	Severa	
P12	3703	736256.90	9783819.42	Muestra Inaccesible					
P13	3878	738793.39	9783783.18	Muestra Inaccesible					
P14	3854	741329.88	9783746.94	1.20	20.83	SM	1696.70	Severa	
P15	3818	741511.06	9781192.34	1.20	25.75	ML	3650.00	Severa	
P16	3389	738720.92	9781210.45	Muestra Inaccesible					

P17	3357	736311.26	9781246.69	Muestra Inaccesible					
P18	3103	733829.12	9781246.69	1.20	62.60	SM	1656.70	Severa	
P19	2809	731346.99	9781264.81	1.20	51.43	ML	2430.00	Severa	
P20	1893	728864.85	9778655.85	1.20	29.48	SM	2890.00	Severa	

P21	1513	726274.01	9778710.20	1.20	14.13	SM	2092.50	Severa	
P22	2092	723755.63	9778692.08	1.20	21.40	SM	2280.00	Severa	
P23	1678	721201.03	9778673.97	Muestra Inaccesible					
P24	2367	721309.73	9776209.95	1.20	18.61	SM	4245.00	Severa	

P25	1626	723791.87	9776300.54	1.20	25.70	SM	5073.30	Severa	
P26	1777	726255.89	9776300.54	1.20	8.53	GP-GM	1260.00	Moderada	
P27	2341	728810.50	9776318.65	1.20	38.96	ML	220.00	Moderada	

P28	2277	731274.51	9778837.03	1.20	55.97	ML	1315.00	Moderada	
P29	2234	731292.63	9776318.63	1.20	67.33	ML	2322.50	Severa	
P30	3003	733756.65	9778782.67	1.20	13.51	SM	280.00	Moderada	

P31	2821	733774.77	9776228.06	1.20	41.14	ML	1100.00	Moderada	
P32	3259	736256.90	9778800.79	Muestra Inaccesible					
P33	3361	736238.79	9776246.18	Muestra Inaccesible					
P34	3855	738847.75	9778728.32	1.20	19.38	ML	3702.50	Severa	
P35	3873	738902.10	9776246.18	Muestra Inaccesible					
P36	3705	738829.63	9773673.46	Muestra Inaccesible					
P37	3694	736275.02	9773709.69	Muestra Inaccesible					
P38	3054	733702.30	9773709.69	Muestra Inaccesible					

P39	2495	731220.16	9773691.58	1.20	28.54	GP-GM	1530.00	Severa	
P40	1846	728738.02	9773727.81	1.20	13.78	GP	4240.00	Severa	
P41	1719	726201.54	9773673.46	1.20	29.38	GP	1050.00	Moderada	

P42	1303	723719.40	9773673.46	1.20	47.41	SM	1425.00	Moderada	
P43	1875	721164.79	9773619.10	1.20	25.56	CL	2535.00	Severa	
P44	1002	718718.89	9773691.58	1.20	20.53	SM	2560.00	Severa	

P45	1405	721255.38	9771227.56	1.20	10.28	GP	290.00	Moderada	
P46	1219	723773.75	9771245.67	1.20	13.66	GP	8166.70	Severa	
P47	1740	726255.89	9771209.44	1.20	38.51	SM	2515.00	Severa	

P48	2233	728810.50	9771318.15	1.20	44.52	GP	780.00	Moderada	
P49	2462	731365.10	9771209.44	1.20	13.03	GM	605.00	Moderada	
P50	3393	733684.18	9771318.15	1.20	23.47	SM	1430.00	Moderada	

P51	3398	736438.08	9771300.03	1.20	49.48	ML	2677.50	Severa	
P52	3346	738956.45	9771227.56	1.20	27.34	ML	750.00	Moderada	
P53	2945	736419.96	9768691.07	1.20	18.55	SM	320.00	Moderada	

P54	2981	733774.77	9768854.13	1.20	35.39	ML	2700.00	Severa	
P55	2376	731274.51	9768709.18	1.20	24.45	GP	2702.50	Severa	
P56	2644	728738.02	9768727.30	1.20	32.54	GM	3272.50	Severa	

P57	1878	726310.24	9768727.30	1.20	48.16	SM	5713.30	Severa	
P58	2033	728901.08	9766317.64	1.20	72.79	SM	4460.00	Severa	
P59	2243	731455.69	9766281.40	Muestra Inaccesible					
P60	1049	723918.69	9768799.77	1.20	29.31	SM	510.00	Moderada	

4.1.5 Mapas de los tipos de suelo

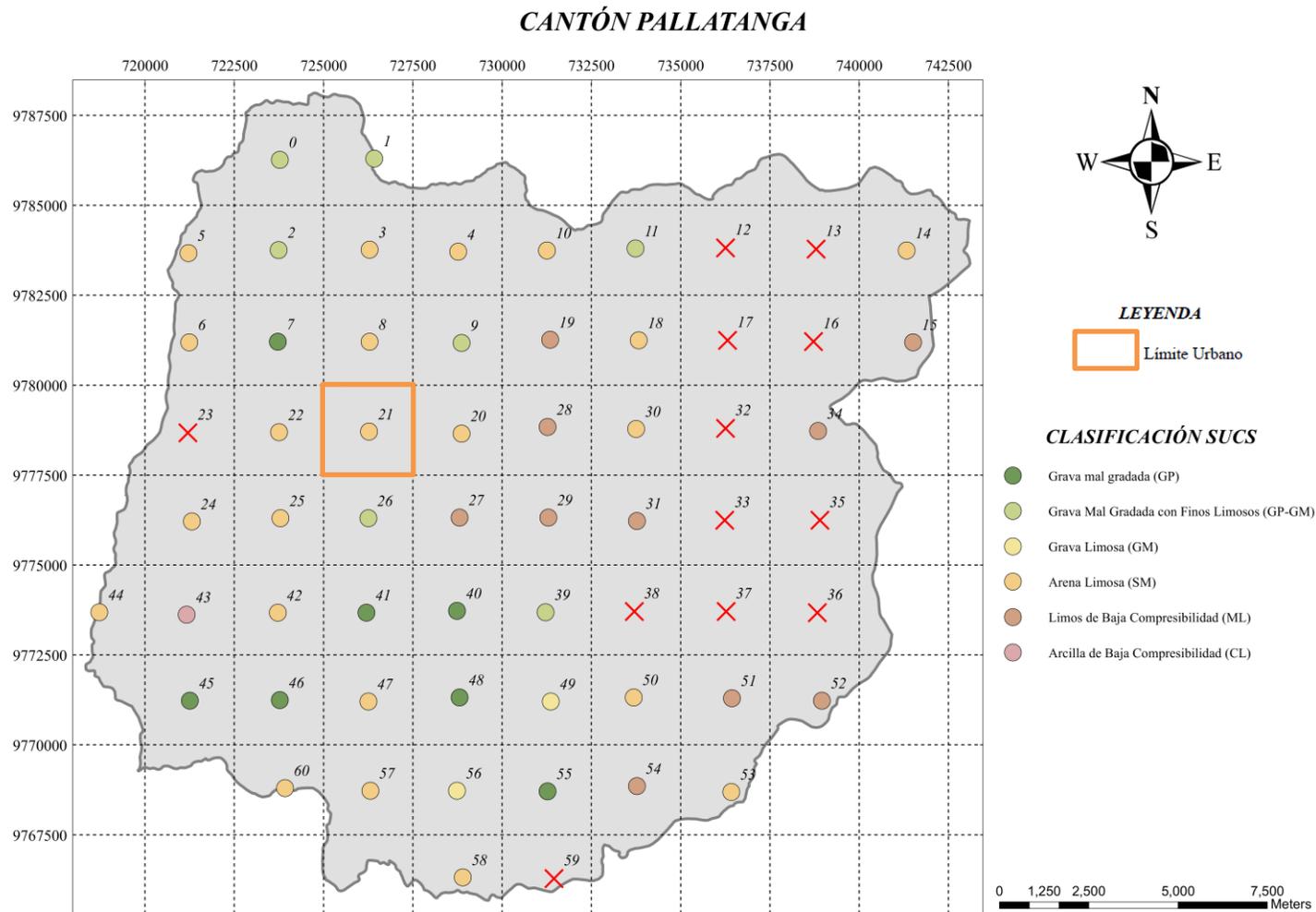


Figura 8. Clasificación del suelo (SUCS) en el cantón Pallatanga.

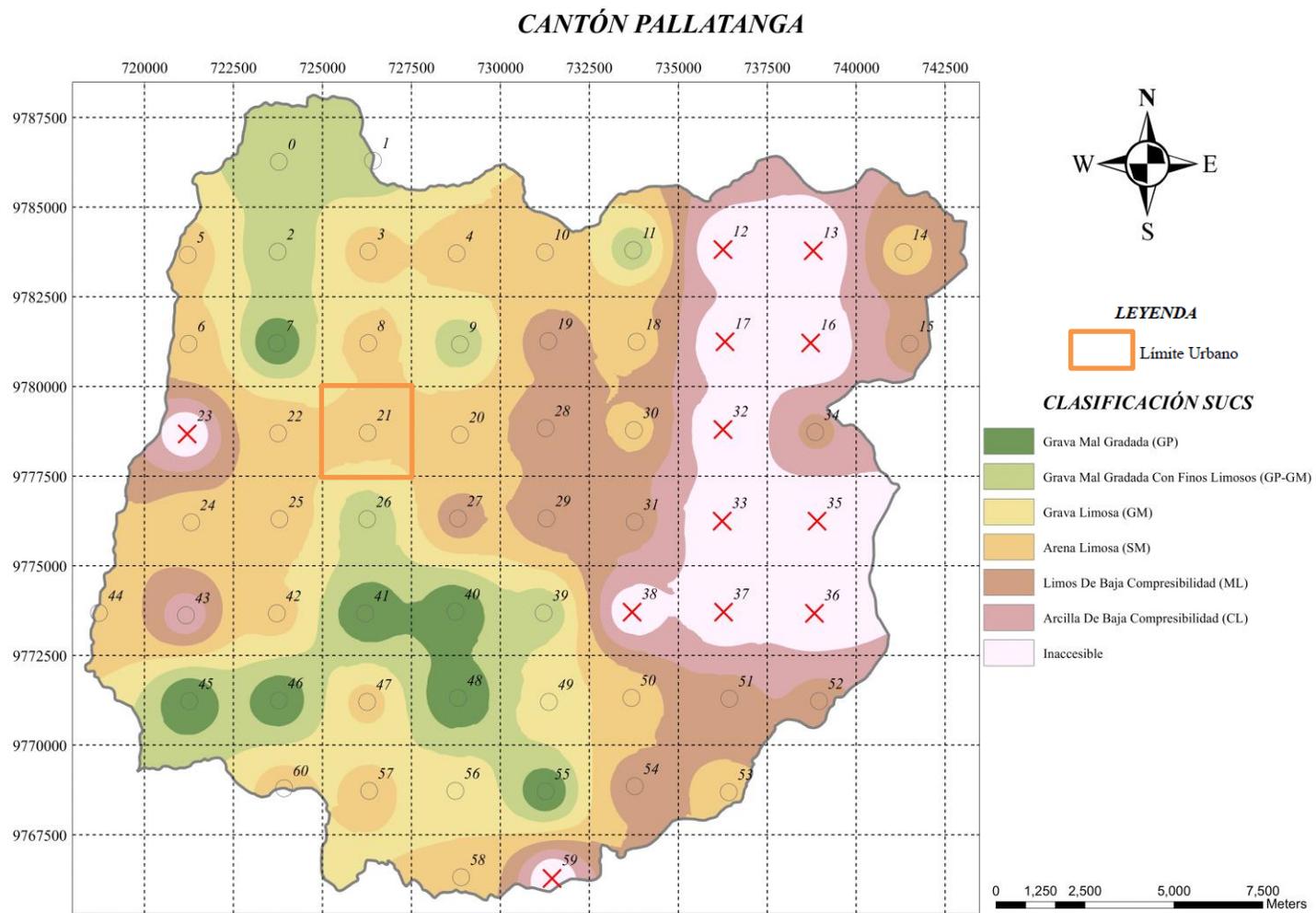


Figura 9. Mapa de zonificación del Tipo de Suelo (SUCS) en el cantón Pallatanga.

4.1.6 Mapas de exposición a sulfatos

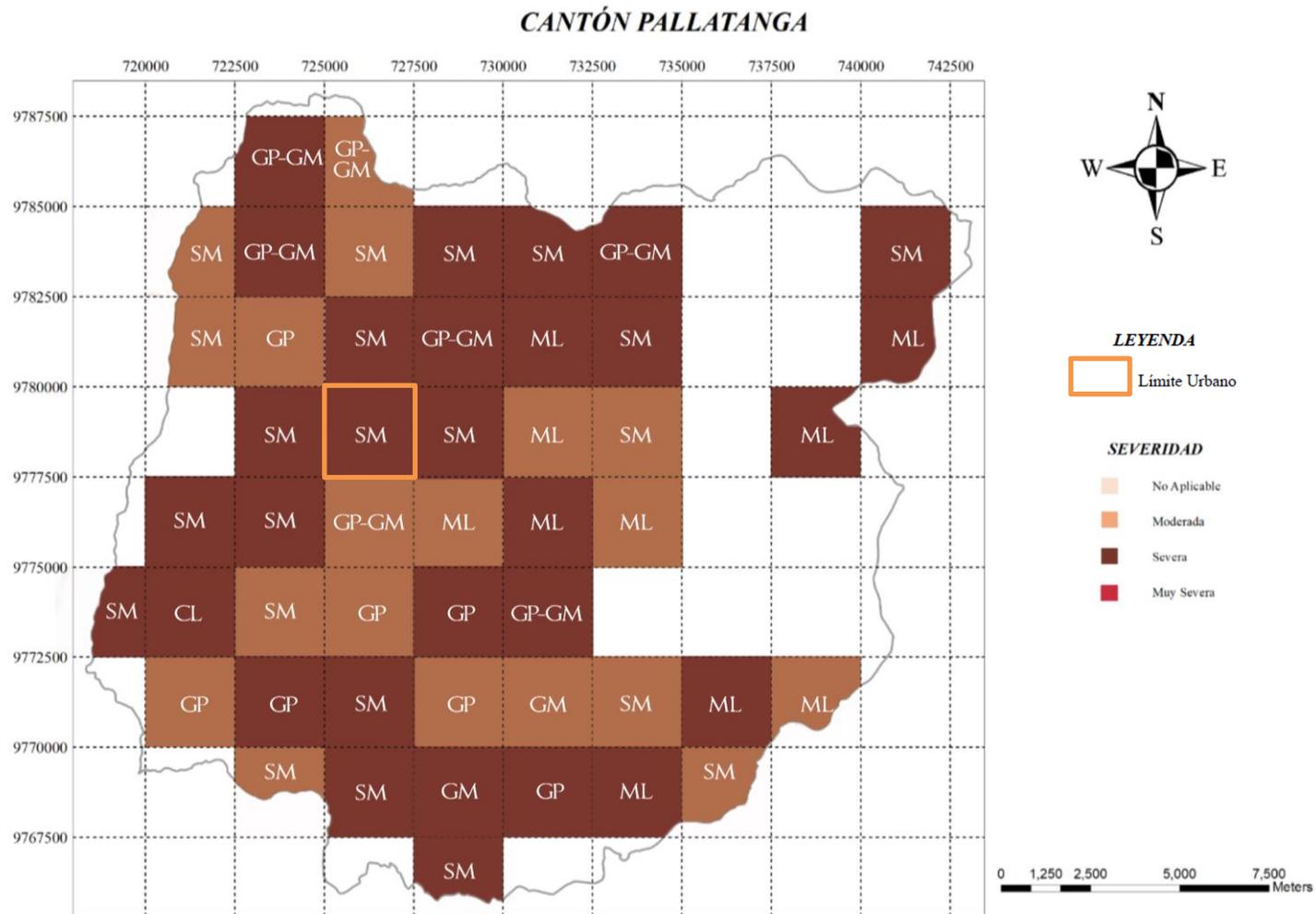


Figura 10. Mapa de exposición a sulfatos por severidad según el tipo de suelo.

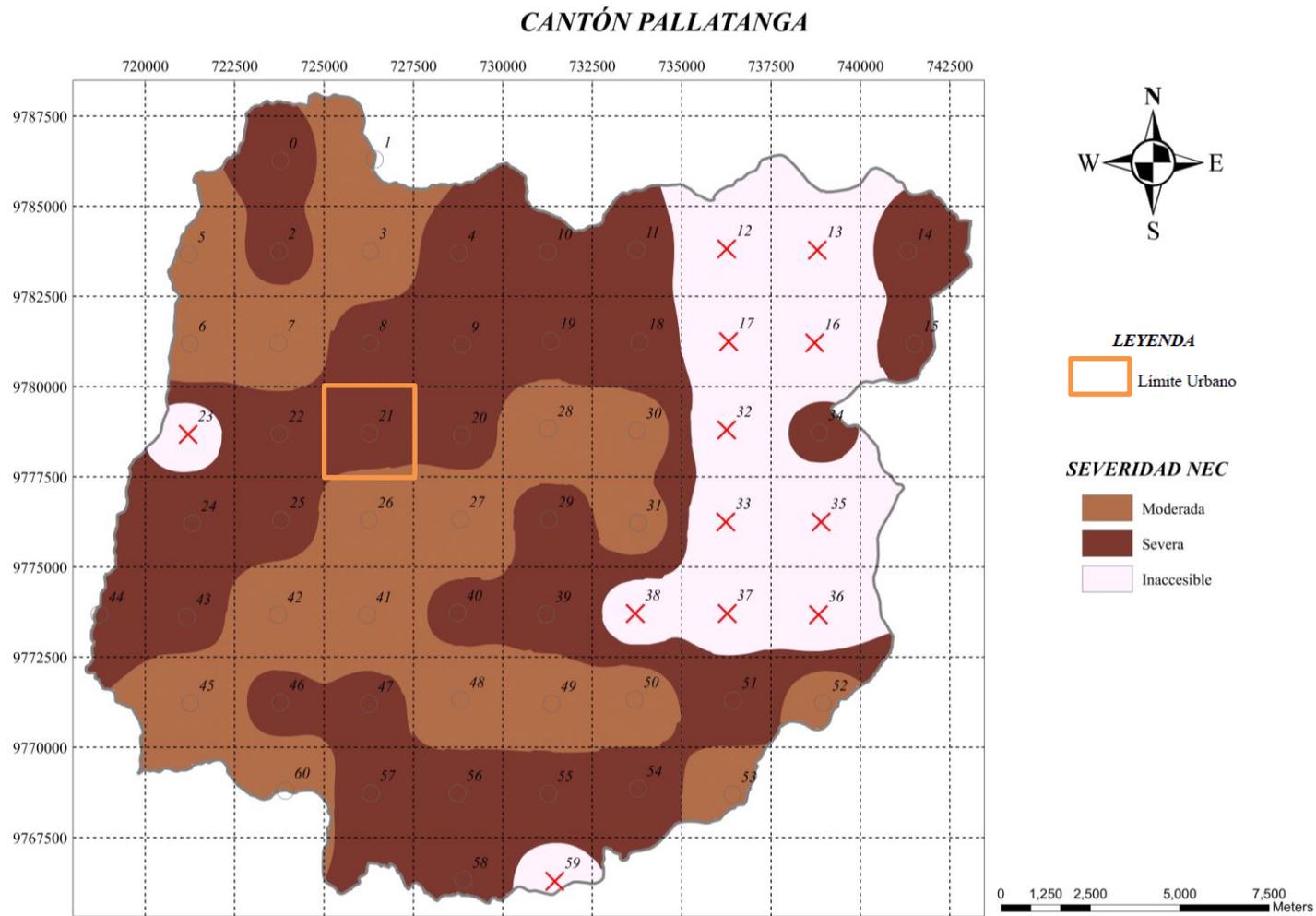


Figura 11. Mapa de zonificación de exposición a sulfatos por severidad.

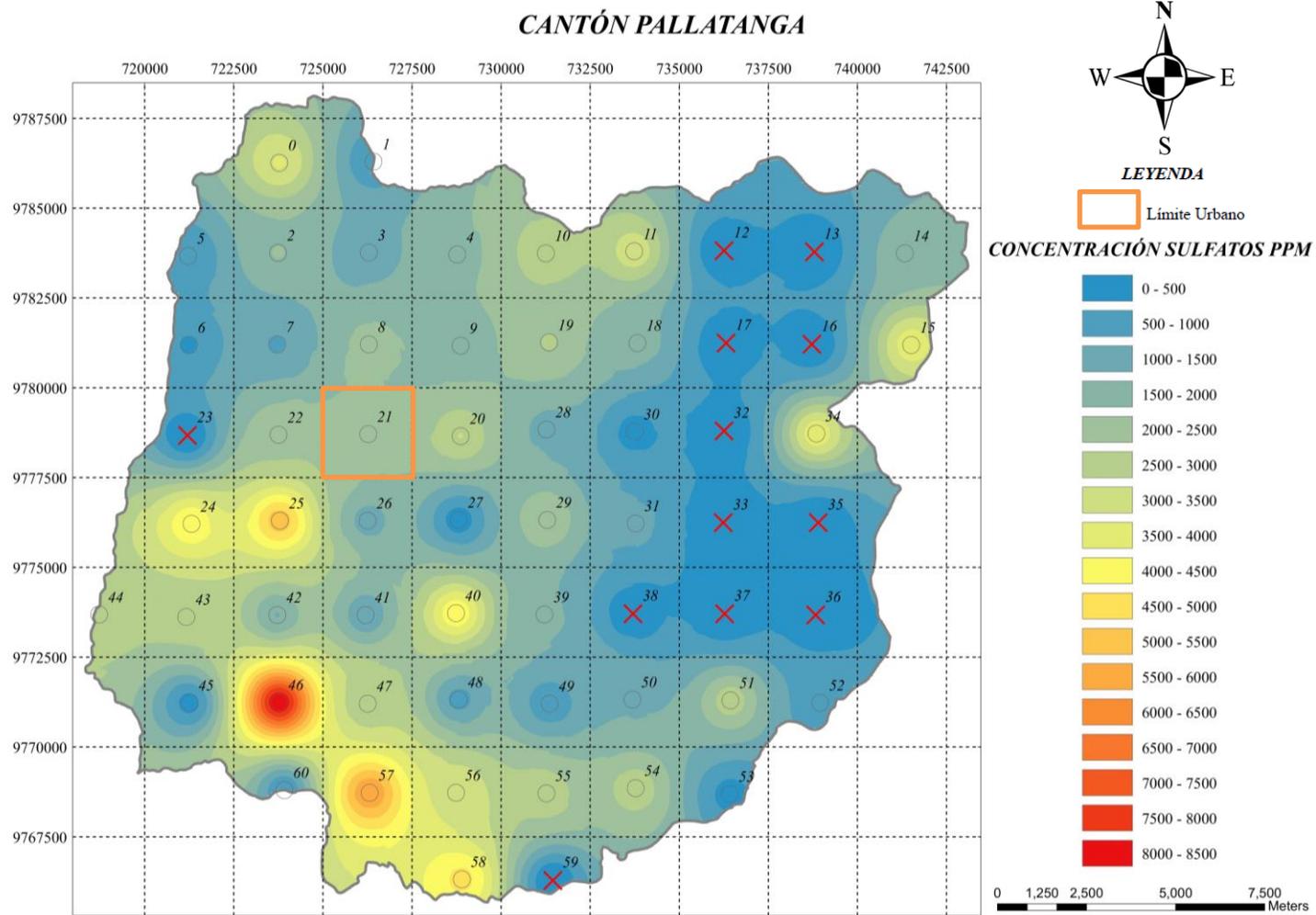


Figura 12. Mapa de zonificación de exposición por concentración de sulfatos.

4.1.7 Concentración de sulfatos según el tipo de suelo

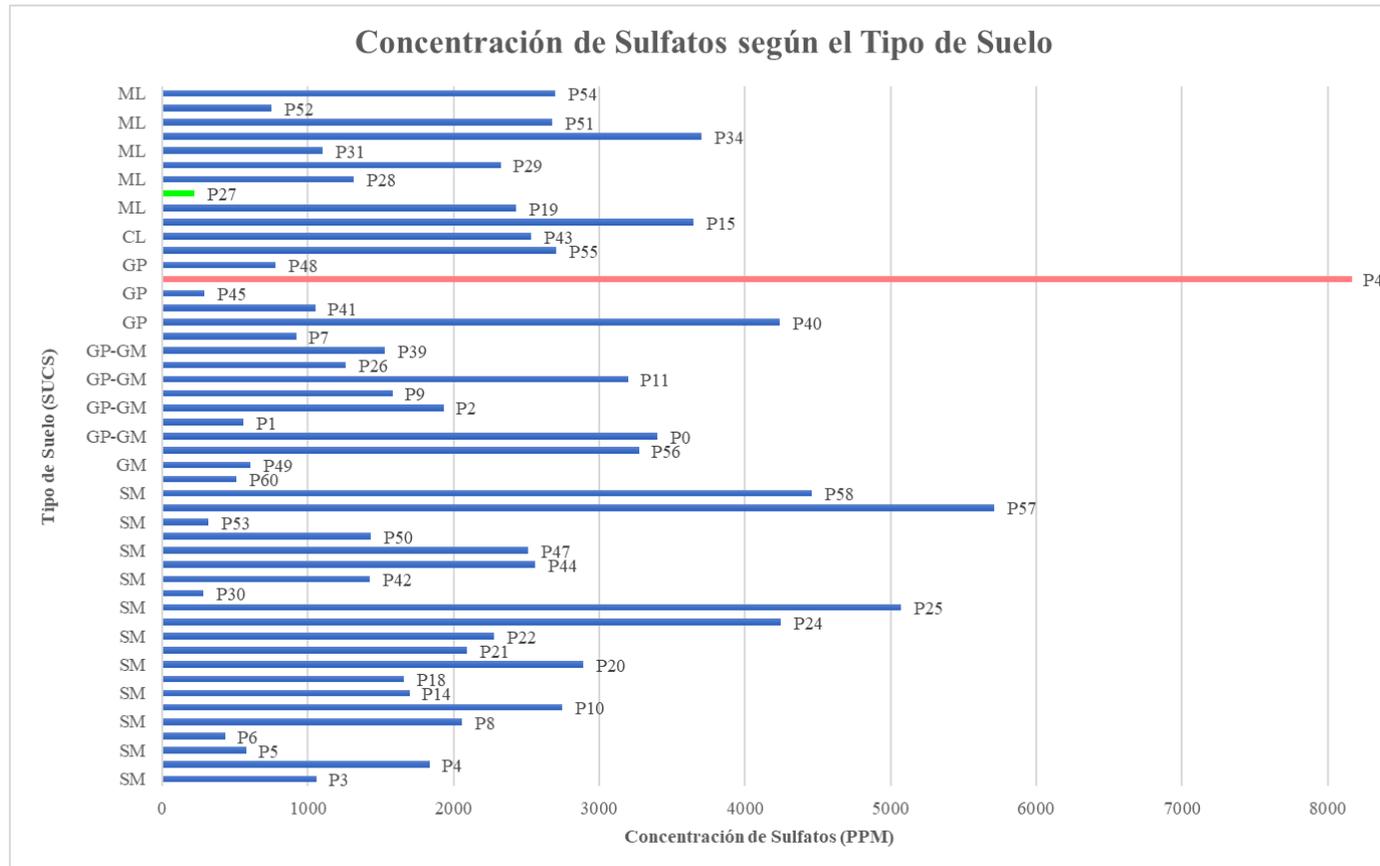


Ilustración 4. Concentración de sulfatos según el tipo de suelo.

En base a la ilustración mostrada se puede deducir en que la concentración de sulfatos no mantiene un valor constante pese a que es el mismo tipo de suelo. Del mismo modo el mayor valor de concentración de sulfatos corresponde a la muestra P46 con 8166.70 ppm en un suelo tipo GP y el menor valor de concentración de sulfatos corresponde a la muestra P27 con 220.00 ppm en un suelo tipo ML.

4.1.8 Comparación de normas para suelos con presencia de sulfatos

Tabla 10. Comparación entre normativas para la concentración de sulfatos según su severidad.

Código	Concentración de sulfatos		NEC	ACI	BSI	DIN
	% de SO ₄ en suelo en seco	Unidades de SO ₄	<i>Norma Ecuatoriana de la Construcción</i>	<i>American Concrete Institute</i>	<i>British Standards Institution</i>	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
	%	ppm				
P0	0.340	3402.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P1	0.056	560.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P2	0.194	1935.00	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P3	0.106	1060.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P4	0.184	1835.00	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P5	0.058	580.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P6	0.044	435.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P7	0.092	920.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P8	0.206	2060.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P9	0.158	1580.00	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P10	0.275	2746.70	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P11	0.320	3196.70	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P12	Muestra Inaccesible					
P13	Muestra Inaccesible					
P14	0.170	1696.70	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P15	0.365	3650.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P16	Muestra Inaccesible					
P17	Muestra Inaccesible					
P18	0.166	1656.70	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P19	0.243	2430.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P20	0.289	2890.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1

P21	0.209	2092.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P22	0.228	2280.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P23	Muestra Inaccesible					
P24	0.425	4245.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P25	0.507	5073.30	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P26	0.126	1260.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P27	0.022	220.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P28	0.132	1315.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P29	0.232	2322.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P30	0.028	280.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P31	0.110	1100.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P32	Muestra Inaccesible					
P33	Muestra Inaccesible					
P34	0.370	3702.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P35	Muestra Inaccesible					
P36	Muestra Inaccesible					
P37	Muestra Inaccesible					
P38	Muestra Inaccesible					
P39	0.153	1530.00	Severa	Exp. Clase 2	-	-
P40	0.424	4240.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P41	0.105	1050.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P42	0.143	1425.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P43	0.254	2535.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P44	0.256	2560.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P45	0.029	290.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P46	0.817	8166.70	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P47	0.252	2515.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P48	0.078	780.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-

P49	0.061	605.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P50	0.143	1430.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P51	0.268	2677.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P52	0.075	750.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P53	0.032	320.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-
P54	0.270	2700.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P55	0.270	2702.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Ligeramente agresivo	XA1
P56	0.327	3272.50	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P57	0.571	5713.30	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P58	0.446	4460.00	Severa	Exp. Clase 2	E. Q. Moderadamente agresivo	XA2
P59	Muestra Inaccesible					
P60	0.051	510.00	Moderada	Exp. Clase 1	-	-

Según lo observado en la tabla de comparación podemos agrupar en dos grupos a las normas, siendo el primer grupo la norma ecuatoriana (NEC) junto con la norma americana (ACI) y como segundo grupo a la norma británica (BSI) y la norma alemana (DIN).

Dentro del primer grupo se tiene una similitud en la categorización de la severidad ya que ambas poseen 4 tipos y tienen los mismos rangos de concentración de sulfatos, es de ahí que se tiene 19 muestras con una severidad Moderada (NEC) o Exposición Clase 1 (ACI) con un rango entre 150 - 1500 ppm y 30 muestras con una severidad Severa (NEC) o Exposición Clase 2 (ACI) con un rango entre 1500 – 10000 ppm.

Para el segundo grupo de igual manera se tiene 3 tipos iguales con los mismos rangos de concentración de sulfatos, obteniendo así 13 muestras con una Exposición Química Ligeramente Agresiva (BSI) o XA1 (DIN) con un rango entre 2000 – 3000 ppm y 11 muestras con una Exposición Química Moderadamente Agresiva (BSI) o XA2 (DIN) con un rango entre 3000 – 12000 ppm.

4.1.9 Patologías en viviendas cercanas a los puntos de extracción

Mediante la exploración de campo se pudo visualizar viviendas o estructuras cercanas a los puntos de muestreo, para lo cual se tomaron evidencias fotográficas expuestas en la sección de anexos (**Anexo Fotográfico 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9**). Las viviendas o estructuras presentaron algunas patologías alrededor de los elementos estructurales, así como también en la mampostería, mismas que con el paso del tiempo y al estar expuestas a sulfatos con una exposición prolongada producen su deterioro, pérdida de resistencia y disminución de la vida útil.

Las patologías encontradas en las viviendas se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 11. Estado de viviendas cercanas a los puntos de extracción.

Código	Elevación <i>m.s.n.m</i>	Coordenadas		Concentración de sulfatos	Patología de viviendas
		Este	Norte	Unidades de SO ₄ <i>ppm</i>	
P21	1513	726274.01	9778710.20	2092.50	Humedad en el contrapiso, humedad en paredes de viviendas aledañas.
P25	1626	723791.87	9776300.54	5073.30	Leve humedad en las paredes.
P29	2234	731292.63	9776318.65	2322.50	Humedad y eflorescencia en las paredes de la vivienda (madera y mampuestos).
P41	1719	726201.54	9773673.46	1050.00	Humedad en los muros de cerramiento, humedad en las paredes de la vivienda.
P46	1219	723773.75	9771245.67	8166.70	Humedad en muros y paredes de cerramiento.
P48	2233	728810.50	9771318.15	780.00	Humedad y eflorescencia en paredes y losas de cimentación.
P57	1878	726310.24	9768727.30	5713.30	Leve humedad en una de sus paredes (vivienda en construcción)
P58	2033	728901.08	9766317.64	4460.00	Humedad y eflorescencia en paredes y losas.
P60	1049	723918.69	9768799.77	510.00	Humedad, eflorescencia y desprendimiento de hormigón en la losa de cimentación.

4.2 Discusión

El cantón Pallatanga se caracteriza por tener una topografía accidentada al estar atravesado por cadenas montañosas que son prolongaciones o ramales de la cordillera de los Andes, cuenta con una diversidad de relieves y formaciones geológicas; según el (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021), está conformado principalmente por materiales aluviónicos y fluviónicos de naturaleza volcánica y sedimentaria.

En base a la clasificación Soil Taxonomy (Taxonomía del suelo), que consta de 12 órdenes, en el cantón Pallatanga se identifican los siguientes tipos de suelo: Inceptisol + Entisol, Inceptisol y Alfisol. Donde el orden entisol hace referencia a materiales aluviales, con partículas gruesas a finas; los suelos de orden inceptisol son provenientes de materiales fluviales y presentan materiales de origen sedimentario y volcánico; en lo que respecta a los suelos de orden alfisol estos exhiben traslocación de películas de arcilla (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021).

A partir de los resultados obtenidos del ensayo de granulometría, utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en las muestras de suelo del cantón Pallatanga se obtuvo que de las 49 muestras el 44.90% (22 muestras) pertenecen a la clasificación Arena Limosa (SM), el 20.41% (10 muestras) son Limos de Baja Plasticidad (ML), el 14.29% (7 muestras) pertenecen a Grava Mal Gradada (GP), el 14.29% (7 muestras) son Grava Mal Gradada con Finos Limosos (GP-GM), el 4.08% (2 muestras) son Grava Limosa (GM) y el 2.04% (1 muestra) pertenecen a Arcilla de Baja Plasticidad (CL), coincidiendo con los tipos de suelos detallados por la clasificación Soil Taxonomy presentada por el (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021), en los que puede constatar que gran parte del territorio de Pallatanga está conformado por suelos aluviales y fluviales que están compuestos por arenas, gravas, limos y arcillas.

En cuanto al contenido de sulfatos en el suelo y su nivel de severidad, tomando como referencia la nomenclatura propuesta en la normativa NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) se determinó que de las 49 muestras el 38.78% (19 muestras) poseen una severidad Moderada con un rango entre 150 - 1500 ppm y el 61.22% (30 muestras) presentan una severidad Severa con un rango entre 1500 - 10000 ppm lo que denota que más del 50% de muestras de suelo se encuentran en un rango severo y se puede evidenciar debido a varios factores que influyen en la formación y desarrollo de los suelos en esta determinada área geográfica tales como la humedad natural del suelo, el nivel freático, la temperatura, los pisos climáticos y la precipitación..

Según (Coras et al., 2014), en períodos de precipitaciones surgen problemas relacionados con el exceso de humedad y las altas concentraciones de sales solubles en los diferentes estratos del suelo y en las aguas freáticas; estas concentraciones varían debido al movimiento descendente y ascendente del nivel freático, lo que ocasiona que a niveles freáticos a poca profundidad los suelos presenten de media a alta salinidad que hace referencia a la cantidad de sales disueltas en ella, principalmente cloruros y sulfatos por lo que un alto nivel de salinidad puede tener efectos negativos en diversas aplicaciones, como en la agricultura y la construcción. Las características mencionadas se pueden observar la muestra P46 con 8166.70 ppm en un suelo tipo GP y la muestra P57 con 5713.30 ppm en un suelo tipo SM, mismas que se encuentran ubicadas en zonas donde la precipitación fluctúa entre 500 y 1.000 mm y posee una humedad relativa del 72.6% influyendo en un mayor valor de concentración de sulfatos (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga, 2021).

Entre los principales productos del ataque químico del sulfato sobre el concreto se encuentra el yeso, la etringita y la thaumasita que constituye una de las mayores amenazas para la

durabilidad de las construcciones de hormigón debido a que durante este ataque se produce agrietamiento y desprendimiento del material de hormigón; la tasa de pérdida de un material de hormigón puede ser de 3 a 6 mm por año, por lo que puede producirse la ruptura del acero de refuerzo, lo que da como resultado su posterior corrosión e incluso las interacciones de los iones de sulfato con la matriz de cemento producen una pérdida significativa de la resistencia mecánica y la masa conduciendo a una reducción de la vida útil de los compuestos de hormigón (Vyšvařil et al., 2015). Durante la etapa de recolección de muestras, se pudo comprobar de manera visual la presencia de este ataque como se evidencia en las muestras la P21 (Anexo 1), P25 (Anexo 2), P29 (Anexo 3), P41 (Anexo 4), P46 (Anexo 5), P48 (Anexo 6), P57 (Anexo 7), P58 (Anexo 8) y P60 (Anexo 9), en los que se aprecia patologías en las viviendas como es la presencia de humedad, eflorescencia y el desprendimiento de hormigón.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego del análisis queda en evidencia que empleando el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el cantón Pallatanga en su mayoría se encuentra formado por arena limosa que abarca un territorio del 44.90 %, seguido de limos de baja plasticidad con un 20.41 %, grava mal gradada con 14.29 %, Grava mal gradada con finos limosos con 14.29 %, grava limosa 4.08 % y en su minoría de arcilla de baja plasticidad con 2.04 %.

En virtud de lo estudiado se puede afirmar que el suelo del cantón Pallatanga a través del ensayo para medir la concentración de sulfatos establecido en la norma C 1580-20 y clasificándolo por su severidad a elementos de hormigón según la NEC-SE-HM, únicamente presenta dos tipos de severidad: Moderada y Severa. Dentro de la severidad catalogada como moderada se tiene al 40.00 % de limos de baja plasticidad, 57.14 % de gravas mal gradadas, 28.57 % de gravas mal gradadas con finos limosos, 50.00 % de gravas limosas y 36.36 % de arenas limosas. Finalmente, para la severidad catalogada como severa se tiene al 60.00 % de limos de baja plasticidad, 100.00 % de arcilla de baja plasticidad, 42.86 % de gravas mal gradadas, 71.43 % de gravas mal gradadas con finos limosos, 50.00 % de gravas limosas y 63.64 de arenas limosas.

En última instancia como es ostensible en los mapas de zonificación la severidad de los suelos del cantón Pallatanga frente a sulfatos es variable y no existe una agrupación específica por elevación o tipo de suelo, y es por ello que las viviendas presentan afectaciones como humedad, agrietamientos, fisuración, eflorescencia o desprendimiento del hormigón en cimentación o elementos estructurales que se encuentren en contacto con el suelo, por lo que estudios previos a la construcción de viviendas dentro del cantón Pallatanga deberían ser indispensables con el fin de evitar problemas o debilitaciones a la estructura dentro del periodo de vida útil.

5.2 Recomendaciones

En relación con lo antes expuesto para evitar problemas en las estructuras de hormigón se prefiere el uso de mezclas de concreto que tenga una baja relación agua/cemento debido a que esto produce que el hormigón sea menos permeable. Además, se debe realizar un correcto vertido del hormigón para posterior compactarlo y curarlo adecuadamente.

Se recomienda que para zonas con una severidad a sulfatos catalogada como moderada emplear en las mezclas de hormigón cementos del tipo II o MS y para zonas con una severidad catalogada como severa hacer uso de cementos del tipo V o HS.

Se puede realizar estudios futuros sobre si la lluvia que se presenta en las diferentes estaciones climáticas presenta iones de sulfatos que afecten directamente a la estructura de hormigón y conlleven a su deterioro.

Para la zona urbana de Pallatanga que evidencia un constante crecimiento poblacional y por ende constructivo, se recomienda realizar un muestreo con una grilla de menor escala con el fin de extraer un mayor número de muestras en esta zona y así contribuir a futuras obras.

6. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2012). *Guía para la Durabilidad del Hormigón (ACI 201)* (pp. 1–59). https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_201_2R_01.pdf
- American Society for Testing and Materials. (2011). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified soil classification system) (ASTM D2487). In *ASTM International* (p. 3). <https://doi.org/10.1520/D2487->
- American Society for Testing and Materials. (2015). Método de ensayo para el análisis por tamizado de áridos finos y gruesos (ASTM C-136). In *ASTM International* (pp. 1–11). <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-143-90a.html>
- American Society for Testing and Materials. (2016). Standard practice for soil exploration and sampling by Auger Borings (ASTM D1452 M-16). In *ASTM International* (pp. 1–7). <https://doi.org/10.1520/D1452>
- Araújo, D. (2013). *Sulfate Attack on Cementitious Materials*. Universidade Do Porto.
- British Standards Institution. (2013). *BSI Standards publication concrete — Specification, performance, production and conformity (BSI)*.
- Calavera, J. (2000). *Cálculo de estructuras de cimentación* (4th ed.). INTEMAC.
- Catur, F. (2021). Valoración del hormigón ante ataque de sulfatos. *Revista Ingeniería*, 5(12), 180–192. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.83>
- Chinchón-Payá, S., Torres, J., Rebolledo, N., & Sánchez, J. (2021). Evaluación del estado de elementos estructurales del Mercado de Legazpi: Ataque por sulfatos al hormigón y corrosión de las armaduras. *Informes de La Construcción*, 73(561), e380. <https://doi.org/10.3989/ic.76737>
- Coras, P., Ontiveros, R., & Diakite, L. (2014). Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 537–548. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Coronel, K., Balseca, E., & Arce, X. (2011). *Ataque de los sulfatos a los hormigones de Alto Desempeño*.

- Dandan, S., Kai, W., Huisheng, S., Saeed, M., & Lihai, Z. (2019). Deformation behaviour of concrete materials under the sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 210, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.050>
- GAD Municipal del cantón Pallatanga. (2022). *Pallatanga descripción*.
- Gao, J., Yu, Z., Song, L., Wang, T., & Wei, S. (2013). Durability of concrete exposed to sulfate attack under flexural loading and drying–wetting cycles. *Construction and Building Materials*, 39, 33–38. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.05.033>
- García, A. (2017). *Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)*. https://www.academia.edu/35178079/Sistema_Unificado_de_Clasificación_d
- Garzón, J., Garrido de la Torre, M. E., & Hidalgo, C. (2017). Clasificación de un suelo según SUCS. *Universitat Politècnica de València*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/84314>
- Geoxnet. (2019). *Clasificación de suelos*. Geología Publicaciones. <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga. (2017). *Geografía de Pallatanga*. <https://pallatanga.gob.ec/index.php/pallatanga/geografia>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Pallatanga. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. <https://pallatanga.gob.ec/index.php/gad/planes-de-gobierno>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso (INEN-696)* (pp. 1–14).
- Irassar, E. F., Bonavetti, V. L., & Menéndez, G. (2010). Cementos con material calcáreo: Formación de thaumasita por ataque de sulfatos. *Revista de La Construcción*, 9(1), 63–73. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2010000100007>
- Jara, W. (2015). *Evaluación de la durabilidad del mortero proyectado frente a ataques por sulfato* [Universitat Politècnica de Catalunya]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/85231/Jhomar Jara. Tesis de Master. Evaluación de la durabilidad del mortero proyectado frente a ataques por sulfato..pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/85231/Jhomar%20Jara.%20Tesis%20de%20Master.%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20durabilidad%20del%20mortero%20proyectado%20frente%20a%20ataques%20por%20sulfato..pdf)
- Liao, K. X., Zhang, Y. P., Zhang, W. P., Wang, Y., & Zhang, R. L. (2020). Modeling constitutive relationship of sulfate-attacked concrete. *Construction and Building Materials*, 260. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119902>
- Liu, P., Chen, Y., Yu, Z., & Lu, Z. (2020). Damage Constitutive Model and Mechanical Performance Deterioration of Concrete under Sulfate Environment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 16. <https://doi.org/10.1155/2020/3526590>
- Lv, Y., Zhang, W., Wu, F., Li, H., Zhang, Y., & Xu, G. (2020). Influence of Initial Damage Degree on the Degradation of Concrete Under Sulfate Attack and Wetting–Drying Cycles. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S40069-020-00422-Z/FIGURES/21>
- Moreno, H., Gisbert, J., & Ibáñez, S. (2011). *Sulfatos* (pp. 1–8). [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos revisado definitivo.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos_revisado_definitivo.pdf?sequence=3)
- Neville, A. (2016). *Propiedades do concreto* (5th ed.). Bookman.
- Nilson, A. (2006). Diseño de estructuras de concreto. In *McGraw-Hill Interamericana*. <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM)* (pp. 1–109). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Perles, P. (2005). *Hormigón armado* (1st ed.). Voros.

- <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4fLpxffkb90C&oi=fnd&pg=PA6&dq=hormigon&ots=iAkJshiyDG&sig=mTKPuWd2A9nhnR4DNnW4M6vL3fI#v=onepage&q=hormigon&f=false>
- Porto, J. (2005). *Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado*. 13–19. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/13853>
- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, J., & Pucha, D. (2017). Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS. In *Ediloja*. https://www.researchgate.net/publication/318447525_Fundamentos_de_SIG
- Rossiter, D. (2004). Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. In *International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC)*. <http://www.itc.nl/~rossiter>
- Tomadin, O. (2019). *Durabilidad. Ataque por sulfatos* (p. 14). Universidad Católica de Córdoba.
- Villagrán, Y., & Traversa, L. (2010). Introducción a la durabilidad y patología de las estructuras de hormigón armado. *CIC Digital Repositorio Institucional*, 4–9. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/d91824e1-4465-444e-b65c-ddfd16ce3ac7>
- Vyšvařil, M., Bayer, P., & Rovnaníková, M. (2015). Microstructural changes of fine-grained concrete exposed to a sulfate attack. *Materiali in Tehnologije*, 49(6), 883–888. <https://doi.org/10.17222/mit.2014.138>
- Yescas, P., Álvarez, V. de P., Segura, M., García, M., Hernández, V., & González, G. (2018). Variabilidad espacial del carbono orgánico e inorgánico del suelo en la Comarca Lagunera, México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3), 594–595. <https://doi.org/10.18268/BSGM2018v70n3a2>
- Zou, D., Cheng, H., Liu, T., Qin, S., & Yi, T. H. (2019). Monitoring of concrete structure damage caused by sulfate attack with the use of embedded piezoelectric transducers. *Smart Materials and Structures*, 28(10). <https://doi.org/10.1088/1361-665X/AB3902>

7. ANEXOS



Anexo Fotográfico 1. Vivienda P21 y aledañas.



Anexo Fotográfico 2. Vivienda P25.



Anexo Fotográfico 3. Viviendas P29.



Anexo Fotográfico 4. Vivienda P41.



Anexo Fotográfico 5. Viviendas y estructuras P46.



Anexo Fotográfico 6. Vivienda P48.



Anexo Fotográfico 7. Vivienda P57.



Anexo Fotográfico 8. Vivienda P58.



Anexo Fotográfico 9. Viviendas P60.