



**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 GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

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

**Autores:**

Montalván Peralta Jhonnatan Carlos

Romero González Bryan Eduardo

**Tutor:**

Ing. Andrea Zárate Mgs

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Jhonnatan Carlos Montalván Peralta y Bryan Eduardo Romero González, con números cédula de ciudadanía 2100576749 y 1003741343 respectivamente, autores del trabajo de investigación titulado: Exposición por sulfatos en el suelo a los elementos superficiales de hormigón de viviendas del cantón Guano, provincia de Chimborazo, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 15 de marzo de 2023



Montalván Peralta Jhonnatan Carlos  
**2100576749**



Bryan Eduardo Romero González.  
**1003741343**

**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 GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** presentado por Jhonnatan Calos Montalván Peralta y Bryan Eduardo Romero González con cedula de identidad 2100576749 y 1003741343. 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 Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Nelson Patiño Mgs  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



---

Firma

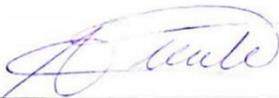
Ing. Alexis Andrade Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



---

Firma

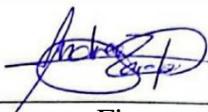
Ing. Andrés Marcillo Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE  
GRADO**



---

Firma

Ing. Andrea Zarate Mgs.  
**TUTOR**



---

Firma

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme sabiduría, fuerza y la confianza necesaria para cumplir con este proceso de ser un profesional, el cual ha sido uno de mis más grandes anhelos.*

*En segundo lugar, a mis padres Antonio Montalván y Fátima Peralta, quienes han sido mi inspiración y guía a lo largo de mi vida, el esfuerzo empleado a lo largo de la carrera y este trabajo investigativo ha sido por ellos.*

*En tercer lugar, a mis hermanos Mónica, Henry, a mis sobrinos Alex, Anthonella y demás familiares, mis más sinceros agradecimientos por ayudarme a cumplir con mis metas.*

*Por último, agradezco a mis amigos, con los cuales he conocido el verdadero significado de lealtad y amistad. A la Ingeniera Andrea Zarate por ser una guía en la elaboración del presente trabajo investigativo,*

*Jhonnatan C. Montalván Peralta*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Antonio y Fátima, que día a día han sido un ejemplo de superación y perseverancia para mí, este logro es para ustedes que siempre creyeron en mí y nunca me dejaron de apoyar, es un orgullo y privilegio para mi ser hijo de ustedes.*

*A mi hermana y hermano por brindarme siempre el apoyo moral y emocional necesario para poder culminar con esta etapa de mi vida*

*Jhonnatan C. Montalván Peralta*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por toda la fortaleza para seguir adelante y nunca desistir de cumplir mis sueños y haberme permitido llegar con salud y lleno de vida hasta este punto y así poder cumplir mis metas y objetivos.*

*A la Universidad Nacional de Chimborazo y a todos sus docentes de la carrera de Ingeniería Civil que fueron los guías en la mi formación profesional durante estos años de preparación.*

*A mis padres Marco Cabezas y Paola por brindarme su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento, sus sabios consejos, y su infinito amor, saben que son el pilar fundamental que sostiene mi vida.*

*A toda mi familia y amigos que me ayudaron con un granito de arena y estuvieron animándome a no rendirme y que luche por alcanzar mis sueños.*

*A mi compañero de tesis Jhonnatan, gracias por permitirme trabajar contigo que Dios te cuide y te proteja siempre y que te permita alcanzar todos tus propósitos*

*A mi tutor de tesis el Ing. Andrea Zarate, gracias por su paciencia y calidad de docente y haber hecho todo esto posible, gracias por guiarnos en el desarrollo de tesis, ya que es un excelente asesor, de igual manera a todos mis profesores quienes inculcaron en mí valores éticos y profesionales.*

*Bryan E. Romero G.*

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mi familia quienes con mucho sacrificio pusieron su confianza en mí. A mi mamá Paola por todo su amor durante estos años, por sus consejos y su preocupación para que sea alguien en la vida. A mi papá Marco Cabezas por el apoyo incondicional, por mostrarme que mis sueños y anhelos se pueden cumplir y por confiar en mí en cada etapa de mi vida.*

*A mis amigos que estuvieron presentes en las buenas y las malas, recolectamos hermosos recuerdos inolvidables a lo larga de esta etapa universitaria y los llevo presente en mi corazón.*

*Y a todos quienes estuvieron presentes todos estos años y a las nuevas personas que han llegado a complementarla.*

*Los quiero mucho a todos. ¡Lo logramos!*

*Bryan E. Romero G.*

## 1. Índice General:

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
	CAPÍTULO I.....	16
2.	Planteamiento del problema .....	16
3.	Objetivos.....	17
	Objetivo General.....	17
	Objetivos Específicos.....	17
	CAPÍTULO II.....	18
4.	Marco teórico.....	18
	CAPÍTULO III .....	26
5.	Metodología.....	26
	Tipo de Investigación.....	26
	Diseño de investigación .....	26
	Hipótesis de la investigación .....	27
	Pregunta de investigación .....	27
	Nivel de confianza .....	27
	Población de estudio .....	29
	Técnicas de recolección de datos.....	29
	Método de Análisis e interpretación de las muestras.....	30
	Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2014) .....	30
	Concentración de Sulfatos (ASTM C1580-20 / CP-PEE-\$005).....	31
	CAPÍTULO IV .....	33
6.	Resultados.....	33
7.	Discusión .....	47
	CAPÍTULO V.....	49
8.	Conclusiones.....	49
9.	Recomendaciones .....	51
10.	Bibliografía.....	52
11.	Anexos.....	54

## 2. Índice de Ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> Proceso de ataque de sulfatos al hormigón .....	21
<b>Ilustración 2.</b> Canton Guano .....	28
<b>Ilustración 3</b> Filtración de la muestra.....	32
<b>Ilustración 4.</b> Determinación de sulfatos por turbidimetría .....	32
<b>Ilustración 5</b> Puntos de extracción de muestras de suelo, cantón Guano.....	35
<b>Ilustración 6</b> Puntos 0,1,2,3, 4,5,8, 22,23, 52 78,81,82,83 de muestras no extraídas .....	36
<b>Ilustración 7.</b> Preparación de muestras previo el ensayo de limite liquido.....	37
<b>Ilustración 8.</b> Muestras de suelo ensayado el límite líquido, limite plástico y índice plástico.....	40

### 3. Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos .....	23
<b>Tabla 2</b> Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas.....	23
<b>Tabla 3</b> Normativa Británica de clasificación de los sulfatos en el suelo. ....	24
<b>Tabla 4</b> Requisitos para mezclas del Hormigón. ....	24
<b>Tabla 5</b> Criterios para asignar Grupos de Símbolos y Grupos de Nombres Utilizando Pruebas de Laboratorio.....	25
<b>Tabla 6</b> Tamices para ensayo de granulometría .....	30
<b>Tabla 7</b> Coordenadas UTM, puntos de obtención de muestras de suelo, Cantón Guano...	33
<b>Tabla 8</b> Recolección de muestras con nivel freático .....	36
<b>Tabla 9</b> Resultados de ensayos de clasificación SUCS, cantón Guano.....	37
<b>Tabla 10</b> Categorización de acuerdo con la cantidad de concentración de las muestras analizadas.....	41
<b>Tabla 11</b> Puntos que no presentan patologías en las estructuras de concreto cercanas a estos. ....	45
<b>Tabla 12</b> Puntos que presentan patologías en las estructuras de concreto cercanas a estos. ....	46

## 4. Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Mapa de concentración de sulfatos medidos con los rangos de la norma NEC. realizado con la ayuda del software ArcMap .....	54
<b>Anexo 2</b> Mapa de zonificación de acuerdo con la concentración de sulfatos encontrados del cantón Guano. ....	55
<b>Anexo 3</b> Desprendimiento del recubrimiento del hormigón punto 45 .....	56
<b>Anexo 4</b> Desprendimiento del hormigón, Humedad y eflorescencia del punto 61 .....	57
<b>Anexo 5</b> Desprendimiento del recubrimiento del punto 40 .....	58
<b>Anexo 6</b> Desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero del punto 63.....	59
<b>Anexo 7</b> Desprendimiento del recubrimiento del hormigón y fisuras del punto 39 .....	60
<b>Anexo 8</b> Concentración del sulfato de acuerdo con lo establecido en la norma ACI 201 ..	61
<b>Anexo 9</b> Identificación de viviendas que presentaron patologías y sin patologías .....	62
<b>Anexo 10</b> Mapa de zonificación de la concentración de sulfatos del cantón Guano .....	63
<b>Anexo 11</b> Mapa de zonificación de las viviendas con afectaciones debido a los sulfatos..	64
<b>Anexo 12.</b> Punto con mayor concenteacion de sulfatos (43). ....	65

## **Resumen**

Guano es un cantón de la Provincia de Chimborazo, Ecuador, el cual se caracteriza por tener en mayor porcentaje suelos franco-arenoso con un 58.16%. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la exposición de los elementos superficiales de hormigón sometidos al ataque químico por sulfatos tomando en consideración la concentración que se encuentre en los diferentes tipos de suelo del cantón Guano.

Esta investigación es de carácter experimental en la que se realizaron ensayos de caracterización y determinación de la cantidad de concentración de sulfatos en el suelo a 71 muestras extraídas en la zona de estudio utilizando el método Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) y el método de prueba estándar para sulfato soluble en agua en suelo.

Los resultados permitieron zonificar al suelo del cantón Guano por clases de exposición al hormigón debido al ataque químico de sulfatos según la normativa local y extranjera; se obtuvo una muestra con caracterización muy severa y las restantes no aplicable debido a la cantidad insignificante de sulfatos según lo establecido en la norma Ecuatoriana NEC-15. Además, se observó que los elementos superficiales de hormigón en ciertas zonas sufren de patologías como presencia de humedad, eflorescencia y disgregación visible a simple vista en las fachadas de las viviendas existentes.

**Palabras claves:** Exposición, sulfatos, hormigón, elementos, suelo.

## ABSTRACT

Guano is a canton of the Province of Chimborazo, Ecuador, which is characterized by having a higher percentage of loamy-sandy soils with 58.16%. The objective of this research work is to analyze the exposure of concrete surface elements subjected to chemical attack by sulfates, taking into account the concentration found in the different types of soil in the Guano canton. This investigation is of an experimental nature in which characterization tests and determination of the amount of sulfate concentration in the soil were carried out on 71 samples extracted in the study area using the Unified Soil Classification System (SUCS) method and the method standard test for water-soluble sulfate in soil. The results allowed zoning the soil of the Guano canton by classes of exposure to concrete due to the chemical attack of sulfates according to local and foreign regulations; A sample with very severe characterization was obtained and the rest not applicable due to the insignificant amount of sulfates as established in the Ecuadorian standard NEC-15. In addition, it was observed that the superficial concrete elements in certain areas suffer from pathologies such as the presence of humidity, efflorescence and disintegration visible to the naked eye on the facades of existing houses.

**Keywords:** Exposure, sulfates, concrete, elements, soil.



---

Revisado por la docente: Alison Tamara Varela Puente  
CI: 0606093904

## 1. INTRODUCCIÓN

Guano es un cantón de la Provincia de Chimborazo en la República del Ecuador, acunada por la magnificencia del mismo Chimborazo, el Altar y el Tungurahua, tiene una superficie de 473.3 km<sup>2</sup>, delimitada al norte por la provincia de Tungurahua al Sur y al oeste limita con el Cantón Riobamba y una pequeña parte de la Provincia de Bolívar, y el este con el río Chambo (Instituto Espacial Ecuatoriano & MAGAP, 2012).

El cantón Guano se caracteriza por tener suelos franco-arenoso (58.16%) , franco (12.40 %) ,arena (15.61 %), areno francoso (5.14%) ,franco arcilloso (0.14%), franco limoso (0.95%) y no aplicable (7.61%) por lo que se consideran suelos de poca profundidad (GAD CHIMBORAZO, 2020).

Debido al rápido crecimiento del cantón Guano en el ámbito de la construcción de viviendas, edificios y centros comerciales es necesario que todas estas estructuras superficiales cuenten con una cimentación (subestructura) que cumpla con las medidas necesarias para evitar que en la superficie de apoyo de la cimentación se presenten alteraciones y este pueda transmitir directamente al suelo las fuerzas que actúen en ella (INIFED, 2015)

El uso del hormigón como elemento constructivo ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones, las cuales con el pasar de los años han ido cambiando con él, procurando desempeñar de una manera adecuada con los criterios de diseño establecidos en las normas, para la cual se debe tener en cuenta las características físico mecánica y químicas a las que va a estar expuesta el hormigón para que no se produzcan rasgos de degradación (Toirac Corral, 2009).

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados debido a su alta durabilidad, pero las limitaciones materiales, las prácticas de diseño, construcción y las condiciones de exposición severas pueden afectar al hormigón, lo que puede provocar problemas estéticos, funcionales o estructurales (Luis & Moncayo, n.d.). El ataque químico es uno de los factores que más afectan la durabilidad de los hormigones, dentro de estos químicos los más perjudiciales son los Sulfatos (Garzón Zúñiga et al., 2016).

La exposición de las estructuras superficiales al ataque de sulfatos es muy peligrosa debido a que estos atacan al principal componente del cemento “los granos de Clinker hidratados”, la pasta de cemento sufre cierta expansión, se torna blanda y por último se agrieta, se fisura, tiende a desprenderse y disminuye su resistencia, lo cual ocasiona daños considerables en las estructuras superficiales de hormigón (Díaz Malagón, 2019).

# CAPÍTULO I

## 2. Planteamiento del problema

A partir de la exploración visual en el cantón Guano en general en las viviendas ubicadas alrededor de él, se puede corroborar ciertas afectaciones ubicadas en los elementos superficiales de hormigón de las estructuras como son: humedecimiento, eflorescencia, separación del material, desprendimiento del recubrimiento de concreto y como resultado la exposición del hierro de refuerzo debido a la pérdida del material de recubrimiento. Por lo que llama la atención de investigar los motivos de la problemática.

En el cantón Guano estudios de suelo realizados confirman que en este cantón predomina tres tipos de suelo franco arenoso, franco y arena con un nivel de aguas freáticas a profundidades bajas (Instituto Espacial Ecuatoriano & MAGAP, 2012). Debido a esto se busca comprobar si una de las principales razones de la afección en los elementos superficiales de concreto se debe al ataque de los minerales que se encuentran disueltos en el agua.

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 hormigón 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 hormigón (Garzón Zúñiga et al., 2016)

Las estructuras superficiales de hormigón deben brindar seguridad y resistencia a pesar de estar expuestas a agentes externos que las afecten su integridad y comportamiento, su ataque sobre el concreto, que puede ser físico o fisicoquímico ya que se da una reacción con el aluminato cálcico hidratado, generando la formación de yeso en los capilares y espacios vacíos este efecto principalmente causa el aumento de la compacidad del hormigón , produciendo una reacción del sulfato con hidróxido de calcio eliminado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso), estas reacciones dan como resultado un incremento en el volumen de sólidos.

### **3. Objetivos**

#### **Objetivo General**

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

#### **Objetivos Específicos**

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

## **CAPÍTULO II**

### **4. Marco teórico**

#### **Cimentaciones**

Una cimentación se define como un elemento estructural que se encarga de transmitir las cargas generadas por la estructura de una manera adecuada hacia el suelo para lograr la estabilidad de esta, dependiendo de las características y propiedades del suelo estas pueden ser superficiales o profundas (García Pincay & Moreira, 2018).

Es importante conocer las características, propiedades y profundidad del suelo que en el que se va a construir para así tener una idea de que tipo de cimentación se debería utilizar. El realizar una cimentación en un suelo blando es muy diferente a realizarlo en un suelo rígido, el efecto de las fuerzas sísmicas que actúan sobre un suelo blando es mayor que en un suelo rígido. Otro factor que también depende del tipo de suelo que se tiene es la dimensión de la estructura, ya que en suelos de baja capacidad portante las dimensiones de la estructura son mayores que en la de un suelo con una alta capacidad portante (Rodríguez, 2019)

El objetivo principal de las cimentaciones es poder realizar estructuras en cualquier tipo de terreno garantizando su estabilidad y capacidad de evitar daños importantes en los elementos estructurales y no estructurales a lo largo de los años de vida de la estructura (García Pincay & Moreira, 2018).

#### **4.1.1. Cimentaciones superficiales**

Se denomina cimentación superficial al cimiento apoyado en la parte poco profunda del suelo, esta cimentación se utiliza cuando el suelo tiene una fuerte capacidad portante para resistir las cargas debido a la estructura o también si se trata de construcciones de

importancia secundaria o estructuras ligeras y su profundidad por lo general es inferior a 5 metros, las más comunes son zapata aislada, zapata continua y losa de cimentación (Garza Vasquez, 2000)

También son llamadas cimentaciones directas debido a que todos los elementos verticales de la estructura ocupan el espacio del terreno de cimentación, es decir la estructura descansa en su totalidad sobre el cimiento, logrando así reducir los esfuerzos unitarios que se transmiten hacia el suelo. En resumen, las cargas verticales generadas por la estructura se reparten o distribuyen en un plano de apoyo horizontal que se transmite al suelo mediante la base de la cimentación (Cabrera Palacios, 2010).

#### **4.1.2. Cimentaciones profundas**

Las cimentaciones profundas son necesarias cuando el terreno en donde se va a construir no es lo suficientemente fuerte en su capa superficial, es decir el apoyo simple por compresión no es factible, por lo que se requiere profundizar más en busca de terreno firme que nos permita asegurar la estabilidad de la estructura, su profundidad suele estar entre 5 m y 40 m, los métodos más utilizados generalmente son los denominados pilotes, micropilotes y pantallas.

A diferencia de las cimentaciones superficiales que solamente existe distribución de esfuerzos de compresión en la parte inferior del cimiento en las cimentaciones profundas también existe distribución de esfuerzo en las partes laterales del cimiento debido a que el área transversal del elemento es menor en proporción a la altura, por lo que se dice que las cimentaciones profundas se asemejan al comportamiento estructural que tienen las columnas (Garza Vasquez, 2000).

## **4.2. Hormigón**

El hormigón es uno de los principales materiales utilizados en la construcción por no decir el más empleado, esto es debido a las aportaciones a la hora de elaborar cualquier construcción que requiera resistencia y durabilidad (Garza Vasquez, 2000).

La composición del hormigón generalmente suele ser una mezcla de un conglomerante (cemento), regados áridos (arena y grava) y agua. En determinadas ocasiones suele ser necesario el uso de aditivos que mejoran ciertas características de la mezcla.

La dosificación de la mezcla puede variar de acuerdo con las necesidades y usos que se requieran del material. Mientras más líquido se añada a la mezcla esta será más manejable, pero en consecuencia bajara su resistencia.

Para poder realizar la mezcla idónea lo primero que se debe de mezclar son los materiales secos es decir el cemento con los áridos pétreos de manera homogénea, luego se va añadiendo agua poco a poco hasta que la mezcla adquiera la consistencia requerida para trabajar.

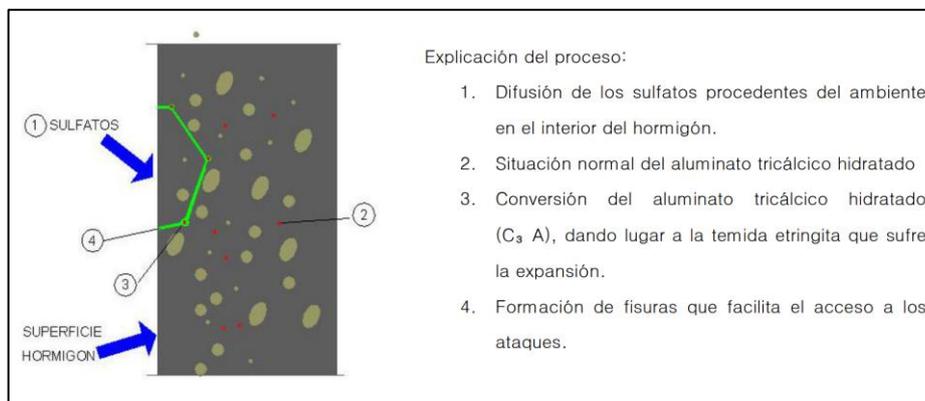
## **4.3. Patologías del hormigón**

Para el sector de la construcción el hormigón armado se ha vuelto fundamental ya que nos permite realizar cualquier tipo de estructura con características de fuerza, resistencia y durabilidad. Para que el hormigón armado presente las características deseadas se debe evitar que entre en contacto con agentes externos como humedad y la temperatura que puedan afectar la calidad del hormigón. Si el hormigón sufre alguna exposición a los agentes antes mencionados se generan patologías que son perjudiciales para el periodo de vida útil del material, las que suelen presentarse en el concreto son:

- Hendidura en el concreto
- Carbonatación
- Irrupción de ion sulfato
- Reacción árido-álcali

#### 4.4. Ataque Químico por sulfatos en el hormigón

El ataque químico por sulfatos en el hormigón es uno de los principales causantes del deterioro de estructuras de hormigón armado, suele producirse cuando elevadas cantidades de sulfatos que se hallan en el agua entran en contacto con el cemento. Al entrar en contacto los sulfatos con el cemento se crea un hinchamiento de este que da paso a que se generen fisuras en el hormigón facilitando el ataque de agentes externos y así dar paso a patologías más graves.



**Ilustración 1** Proceso de ataque de sulfatos al hormigón

*Fuente 1* (Porto Quintián, 2005)

#### 4.5. Sulfatos

Los sulfatos son aquellas sales procedentes del ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Están formadas por un anión y un catión, el anión contiene 1 átomo de azufre y 4 de oxígeno ( $SO_4$ ). De acuerdo con el catión de enlace se podrá obtener diversas variedades de sulfatos.

Los sulfatos se encuentran en una gran variedad de suelos que posean una elevada cantidad de minerales (barita, epsomita, tiza, etc.). Al ser sales son demasiado solubles por lo que es fácil encontrarlos en aguas naturales (agua de mar, aguas subterráneas).

Algunos sulfatos son más agresivos con el hormigón entre lo más comunes tenemos como es el sulfato de calcio.

Las aguas residuales o negras que son generadas por viviendas sin un adecuado sistema de alcantarillado puede generar sulfatos ya que estas aguas contienen material orgánico y a su vez minerales que pueden entrar en contacto con algunos componentes de la cimentación de una estructura lo cual daría paso a patologías ya antes mencionadas (Calvo, 2008).

### **Consecuencias del ataque de sulfatos en el hormigón**

Una de las principales consecuencias del ataque de sulfatos es un aumento de volumen de los elementos de hormigón lo que conlleva a que estos se fisuren y se degraden, también se da una pérdida de resistencia debido a que ya no se tiene una buena adherencia entre el aglomerante y los agregados. El ataque de sulfatos tiene dos principales reacciones químicas a la hora de entrar en contacto con el hormigón (NMX-C-414-ONNCCE-1999, 2007).

- Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento formándose sulfatos de calcio (Yeso).
- Reacción de sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado formando sulfato aluminato de calcio (Etringita)

Las dos reacciones mencionadas generan una expansión del hormigón, pero solo la segunda reacción (Etringita) produce fisuras y un ablandamiento del hormigón ya que los sulfatos reaccionan al entrar en contacto con aluminato de calcio hidratado (NMX-C-414-ONNCCE-1999, 2007).

## Categorías y clases de exposición

La exposición del hormigón a los sulfatos se puede dar de distintas maneras y esto va a depender de las condiciones y el lugar al que va a estar expuesto el hormigón durante su vida útil, para lo cual las normativas DIN (Deustcher Industrie Normen), BSI (British Standards Institution), ACI (American Concrete Institute), NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción), han establecido ciertos niveles de exposición de acuerdo con la cantidad de concentración de los sulfatos en el suelo (mg/kg) y en el agua (mg/l)

**Tabla 1** Categorías y Clases de exposición por ataque químico de sulfatos

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

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

**Tabla 2** Requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques por sulfatos provenientes de fuentes externas

Severidad de la potencial exposición	Sulfato soluble en agua (SO <sub>4</sub> )	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) 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 sulfatos
Exposición Clase 1	>0.10 y <0.20	>150 a <1500	0.5
Exposición Clase 2	0.2 a < 0.2	1500 a <10000	0.45
Exposición Clase 3	≥0.2	≥10000	0.4
Exposición al agua de mar	-	-	Ver sección 2.4, ACI 201

Fuente: (ACI 201, 2012).

**Tabla 3** Normativa Británica de clasificación de los sulfatos en el suelo.

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

Fuente: (BSI, 2013).

#### 4.6. Protección del hormigón contra los ataques por sulfatos

Para obtener hormigones resistentes a los sulfatos lo primordial que se debe realizar es retrasar el ingreso y movimiento del agua que entra en contacto con el hormigón para lo cual es necesario reducir la relación w/c, con esto se consigue una resistencia física si se busca obtener una resistencia química lo necesario es trabajar con hormigones resistentes a los sulfatos, la utilización de aditivos y el uso de hormigones permeables y densos.

**Tabla 4** Requisitos para mezclas del Hormigón.

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

#### 4.7. Clasificación SUCS

Dentro de la Mecánica de Suelos, la clasificación de los tipos de suelos de acuerdo con el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (S.U.C.S.) es el sistema más utilizado para definir y determinar cualitativamente un suelo. Esta clasificación tiene en presente tanto la granulometría del suelo como la plasticidad (límites de Atterberg). Es por eso que de acuerdo con esta clasificación, los suelos pueden ser clasificados : grano fino (limos y arcillas) ,grano grueso (gravas y arenas) (Garzón Roca et al.).

**Tabla 5** Criterios para asignar Grupos de Símbolos y Grupos de Nombres Utilizando Pruebas de Laboratorio

<b>Criterios para Asignación de Símbolo y Nombre</b>	<b>Símbolo de Grupo</b>	<b>Nombre de Grupo</b>
Grava fina con más del 12 % de finos	GM	Grava arenosa con limos
Arena fina con más del 12 % de finos	SM	Arena limosa con grava
Limos y arcillas (Limite menor a 50)	ML	Limo con arena
Limos y arcillas (Limite mayor a 50)	MH	Limo elástico con arena

**Adaptado de:** (ASTM D2487, 2011).

#### 4.8. SIG ARCGIS

ArcGIS es actualmente la tecnología de referencia en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta tecnología ha sido desarrollada y mejorada año tras año por la compañía propietaria ESRI (Environmental Systems Research Institute) desde hace más de 30 años. Actualmente ofrece una plataforma a nivel escritorio, servidor, online y aplicaciones que permite una interoperabilidad completa a la hora de trabajar con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Garcia, 2021).

## **CAPÍTULO III**

### **5. Metodología**

Para el presente capítulo, se pretende describir el tipo de investigación, pregunta e hipótesis, varianza, nivel de confianza y métodos de recolección de datos, así también describir los equipos, procedimientos, prácticas de laboratorio realizadas, materiales y aditivos utilizados en la investigación.

#### **Tipo de Investigación**

La investigación es de carácter experimental ya que posee un enfoque científico; por lo que se obtendrá valores de la cantidad de sulfatos en el suelo con muestras presentes en cada una de las parroquias rurales, en este caso del cantón Guano provincia de Chimborazo.

#### **Diseño de investigación**

La investigación esta básicamente enfocada en 5 etapas: la identificación de los puntos donde se tomará la muestra; toma de la muestra en el campo; clasificación del suelo mediante el sistema SUCS; determinación de la concentración de sulfatos basado en el ensayo ASTM C 1580-20 y finalmente el análisis de los resultados para realizar una comparación entre el tipo de suelo y la concentración de sulfatos.

Con el propósito de identificar a que cantidad de sulfatos están expuestos los elementos superficiales de hormigón en el suelo del cantón Guano.

El diseño de la investigación tiene 2 objetivos

- Dar una respuesta a la pregunta de investigación propuesta.
- Controlar la varianza

## **Hipótesis de la investigación**

El tipo de suelo del cantón Guano de la provincia de Chimborazo, posee características diferentes en cada una de sus parroquias y su cantidad de sulfatos es variada y afecta de diferente manera a los elementos no estructurales de las viviendas.

## **Pregunta de investigación**

¿Cuál será la afectación en los elementos superficiales de hormigón al relacionar el tipo de suelo y la concentración de sulfatos del mismo en las parroquias del cantón Guano, provincia de Chimborazo?

## **Nivel de confianza**

El nivel de confianza para la presente investigación será considerado un valor del 95% debido a que con este valor podemos asegurar que los resultados estarán dentro del intervalo estimado.

## **Descripción del área de estudio**

Se detalla el área de estudio del proyecto de investigación “Exposición de sulfatos en elementos superficiales de hormigón en viviendas del cantón Guano, provincia de Chimborazo” con referencias bibliográficas tomada de la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, se detalla el área de todo el cantón es de 473.3 km<sup>2</sup>. (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas , 2010).

## Canton Guano

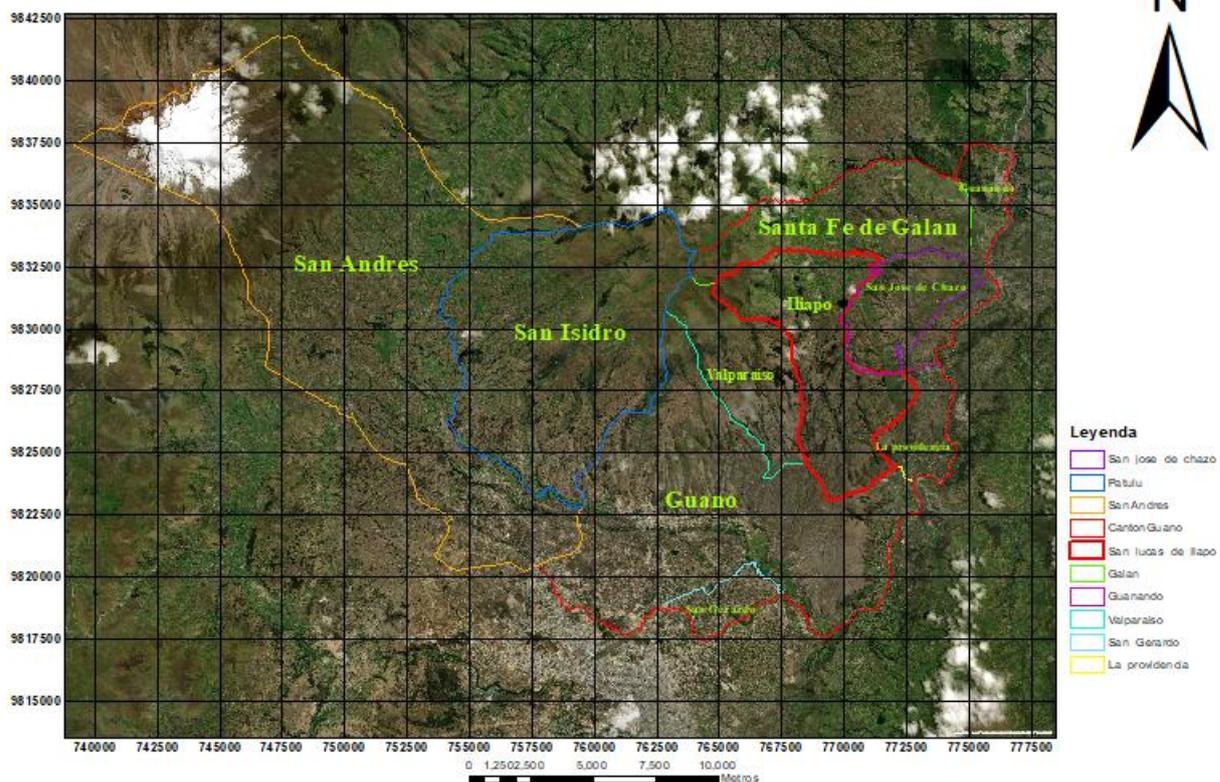


Ilustración 2. Canton Guano

### Unidad de análisis

Se está considerando todas las parroquias pertenecientes al cantón Guano por lo que existe una concentración total de todas las viviendas, debido a esto se considera que hay una probabilidad de que siga existiendo un desarrollo urbanístico en cada una de las parroquias pertenecientes ya que esta posee un área de 473.3 km<sup>2</sup>. (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2010).

## **Población de estudio**

El área de estudio que sirve como muestra para la investigación son todas las parroquias que conforman el cantón Guano, de la provincia de Chimborazo. En las tablas 1 y 2 se encuentra la ubicación, coordenadas y uso del suelo de cada uno de los tipos de suelos que lo conforman.

Se obtendrán muestras de 500 gr para realizar lo que es la organización SUCS la cual se realizara para todos los ensayos en donde se determinara el tamaño de sus partículas presentes, limite liquido e índice plástico y adicionalmente 300 gr para realizar la determinación de la concentración de sulfatos basado en el ensayo ASTM C1580-20.

## **Técnicas de recolección de datos**

Para la elaboración del mapa del cantón de Guano se utilizó una escala de 1:2500 la cual es considerada una escala grande y que nos permite tener una mejor visión a detalle del terreno en estudio (Rossiter, 2004), una vez ya establecida la escala del mapa a utilizar se procedió a realizar un tipo de muestreo sistemático y muestreo sistemático céntrico, con estratos cuadrados (Haining, 2004), razón por la cual se llegó a tener un total de 70 muestras para realizar el estudio del tema de investigación.

La recolección de los datos necesarios se los realizara mediante campañas de exploración en el área de estudio la cual es el cantón Guano, provincia de Chimborazo, se usará una pala tipo “Bellota”, cada perforación se realizará de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D420-18, la cual indica profundidades de 1 a 5 m (ASTM D420, 2018), para nuestra investigación se decidió realizar las excavaciones a la profundidad de 1 m.

## Método de Análisis e interpretación de las muestras

### Ensayo de Granulometría (INEN-696, 2014)

Después de haber realizado la recolección de muestras de suelo, se realizaron los correspondientes ensayos para definir su tipo acorde al SUCS, guiados en la norma ASTM C136. Para lo cual se realizaron ensayos granulométricos para conocer qué clase de suelo de cada muestra se siguió el siguiente procedimiento.

- De cada una de las muestras recolectadas se tomó una cantidad de 500 gr para las cuales se lavará para retirar cualquier materia orgánica que exista en su interior.
- Este material será llevado al horno de secado a una temperatura entre los 110 °C+/- 5°C por un total de 24 horas.
- Se escogerá una serie de tamices a ser destinados para el ensayo como indica la norma, estos tamices deben estar totalmente libre de cualquier impureza o residuos.

**Tabla 6** Tamices para ensayo de granulometría

<b>Tamices</b>	<b>Tamaño de abertura (mm)</b>
1''	25.40
3/4''	19.10
1/2''	12.50
3/8''	9.52
4	4.76
10	1.19
40	0.29
200	0.07

- El suelo deshidratado será colocado en la serie de tamices una vez apilados de forma decreciente como se muestra en la Tabla 6, el tamizado se lo desarrollará según lo recomendado en la norma (INEN-696, 2014).

- Se inicia con la realización del pesaje del material retenido en cada uno de los tamices, al terminar se realizará una suma de la cantidad del material acumulado y este no debe poseer el 1% del peso total inicial de la muestra seca.
- Se especifica cual es la muestra con el método SUCS basado en la norma INV E-181-13.

### **Concentración de los Sulfatos (ASTM C1580-20 / CP-PEE-\$005)**

Para poder desarrollar el ensayo del cálculo de concentración de sulfatos mediante espectrometría UV-VIS en los suelos obtenidos en el cantón Guano se adaptó la norma ASTM C1580-20 para la cual se siguieron los siguientes pasos.

- Para las muestras obtenidas del suelo se toma una cantidad de 300 gramos de material del sitio extraído.
- El material obtenido será secado a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , por un lapso de 24 horas.
- El material deshidratado se lo molera y se tamiza por una malla de 0.5 mm de abertura.
- Subsiguiente se extrae una cantidad de 10 gramos de la muestra que pasa por el tamiz, en una balanza analítica.
- Se agrega 40 ml de agua destilada, esta será diluida con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 3%, esta mezcla posteriormente será agitada por una hora a  $25^{\circ}\text{C}$ .
- La debe reposar por 30 min para que decante, pasado este tiempo se filtra la mezcla con la ayuda de un embudo de cristal y un papel filtro en un matraz Erlenmeyer.



*Ilustración 3 Filtración de la muestra*

- Lo adquirido se colocará en dos celdas de vidrio de 10 ml para poder así medir la concentración de sulfatos en el espectrómetro.
- El equipo será encendido para así poder usar 450 nm un paso de luz de a 4 a 5 cm.
- En el caso de una de las dos celdas se dispondrá el reactivo en base de cloruro de bario  $BaCl_2$ , se agita la solución y se empezará a cronometrar 5+- 0.5 minutos.
- Se utilizará primero en una de las celdas sin el reactivo en el espectrómetro para poder comenzar a usar el aparato.
- Posteriormente se coloca en la celda la solución de cloruro de bario en el espectrómetro la cual mide la turbidez que generara las partículas de sulfato de bario  $BaSO_4$  y se lo registra en la pantalla digital.



*Ilustración 4. Determinación de sulfatos por turbidimetría*

## CAPÍTULO IV

### 6. Resultados

#### 6.1. Exploración de campo

En la tabla 7 se presenta una lista de las coordenadas de los puntos obtenidos para así posteriormente realizar los análisis de laboratorio respectivos de las muestras obtenidas. En el mapa se puede llegar a identificar los puntos en donde se realizaron las perforaciones que tuvieran una profundidad de 1.00 m, dicho mapa fue realizado con la ayuda del software ArcMap. Ver anexo 1.

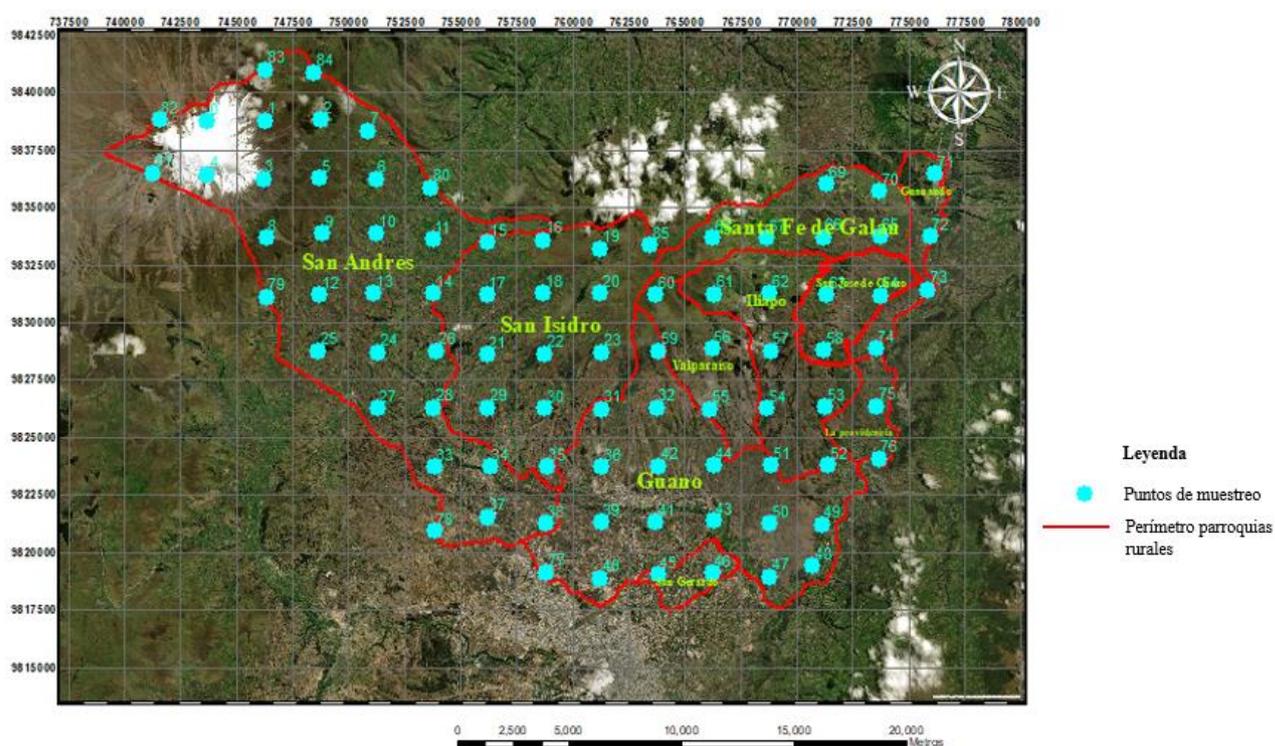
**Tabla 7** Coordenadas UTM, puntos de obtención de muestras de suelo, Cantón Guano

Punto	Elevación m.s.n.m.	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
***0	5519	743736.5829	9838724.074
***1	4661	746324.6793	9838763.287
***2	4217	748795.1349	9838802.501
***3	4888	746226.6453	9836214.404
***4	5680	743716.9761	9836430.079
***5	4290	748755.9214	9836253.618
6	3845	751245.9838	9836234.011
7	4004	750912.6683	9838331.938
***8	4359	746363.8929	9833665.522
9	4012	748873.5621	9833841.983
10	3677	751285.1974	9833861.589
11	3504	753775.2598	9833606.701
12	3671	748755.9214	9831195.066
13	3474	751128.343	9831253.886
14	3415	753834.0802	9831253.886
15	3639	756245.7154	9833469.454
16	3912	758716.1711	9833567.488
17	3511	756186.8951	9831195.066
18	3835	758716.1711	9831234.279
19	4110	761245.4471	9833175.352
20	3869	761245.4471	9831234.279
21	3277	756186.8951	9828567.756
***22	3471	758755.3847	9828626.576
***23	3785	761323.8743	9828665.79
24	3300	751324.411	9828685.397

<b>25</b>	3478	748677.4942	9828744.217
<b>26</b>	3192	753932.1141	9828724.61
<b>27</b>	3205	751304.8042	9826234.548
<b>28</b>	3123	753834.0802	9826273.761
<b>29</b>	3217	756226.1087	9826254.155
<b>30</b>	3143	758755.3847	9826234.548
<b>31</b>	3309	761323.8743	9826195.334
<b>32</b>	3368	763755.1163	9826254.155
<b>33</b>	3103	753853.687	9823685.665
<b>34</b>	2984	756324.1426	9823705.272
<b>35</b>	2895	758853.4186	9823705.272
<b>36</b>	2841	761304.2675	9823685.665
<b>37</b>	2989	756186.8951	9821509.311
<b>38</b>	2950	758794.5983	9821215.209
<b>39</b>	2858	761265.0539	9821274.03
<b>40</b>	2809	761225.8403	9818823.181
<b>41</b>	2766	763735.5095	9821293.637
<b>42</b>	2857	763833.5435	9823724.879
<b>*43</b>	2589	766284.3923	9821332.85
<b>44</b>	2766	766284.3923	9823764.092
<b>45</b>	2748	763813.9367	9818999.642
<b>46</b>	2619	766225.572	9819058.462
<b>47</b>	2631	768813.6684	9818901.608
<b>48</b>	2694	770695.9203	9819391.778
<b>49</b>	2614	771107.6629	9821195.603
<b>50</b>	2685	768794.0616	9821215.209
<b>51</b>	2817	768852.8819	9823744.485
<b>***52</b>	2699	771382.158	9823764.092
<b>53</b>	3210	771264.5172	9826293.368
<b>54</b>	2982	768676.4208	9826234.548
<b>55</b>	3118	766127.538	9826214.941
<b>56</b>	3521	766225.572	9828822.644
<b>57</b>	3271	768833.2751	9828744.217
<b>58</b>	3384	771225.3036	9828763.824
<b>59</b>	3827	763853.1503	9828724.61
<b>60</b>	3821	763715.9027	9831195.066
<b>61</b>	3925	766303.9991	9831214.673
<b>62</b>	3661	768774.4548	9831253.886
<b>63</b>	3262	771342.9444	9831175.459
<b>64</b>	2839	773715.3661	9831155.852
<b>65</b>	3026	773715.3661	9833724.342
<b>66</b>	3495	771166.4833	9833685.128
<b>67</b>	3674	768676.4208	9833645.915
<b>68</b>	3859	766245.1788	9833665.522
<b>69</b>	3460	771342.9444	9835998.73
<b>70</b>	2620	773695.7593	9835685.021

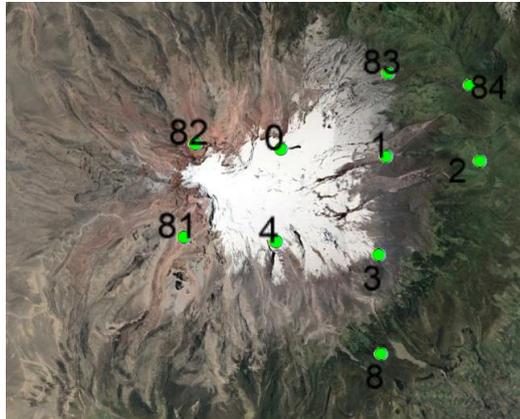
71	2638	776166.2149	9836449.686
72	2338	775930.9334	9833724.342
73	2423	775832.8995	9831410.741
74	2355	773519.2981	9828822.644
75	2613	773538.9049	9826332.582
76	2452	773656.5457	9824038.587
77	2862	758833.8118	9819078.069
***78	3100	753853.687	9820901.501
79	3841	746363.8929	9831097.032
80	3679	753696.8326	9835861.482
***81	5156	741324.9476	9836488.899
***82	5311	741599.4427	9838802.501
***83	4536	746305.0725	9840978.855
84	4014	748481.4263	9840861.214
***85	3971	763449.2817	9833341.735

**Nota:** \*Puntos con nivel freático 0.55-1.0m.; \*\* Puntos con nivel freático a nivel del suelo natural;  
 \*\*\*Puntos de los que no se logró obtener la muestra de estudio.



**Ilustración 5** Puntos de extracción de muestras de suelo, cantón Guano.

Una vez realizada la campaña de exploración en los puntos 0,1,2,3, 4,5,8, 22,23, 52 78,81,82,83 no se pudo obtener una muestra para los ensayos de laboratorio ya que no se cuenta con un acceso vial y la ubicación geográfica impide su extracción por lo que se han obviado mencionados puntos.



**Ilustración 6** Puntos 0,1,2,3, 4,5,8, 22,23, 52 78,81,82,83 de muestras no extraídas

**Tabla 8** Recolección de muestras con nivel freático

Puntos	Nivel Freático (m)	Observación
43	0.60	

**Nota:** Suelo saturado donde se extrajo una muestra a 0.60 m

## 6.2. Ensayo de Granulometría

Una vez realizado el análisis de las muestras de suelo del cantón Guano se obtuvieron cuatro tipos de suelos según la clasificación SUCS: ML (Limo Arenoso), SM (Arena limosa con grava, GM (Grava arenosa con limo), MH (Limo elástico arenoso), como se detalla a continuación en la tabla 9.



**Ilustración 7.** Preparación de muestras previo el ensayo de limite liquido

**Tabla 9** Resultados de ensayos de clasificación SUCS, cantón Guano

N° de muestra	% PASA								Limite Líquido	Índice plástico (IP)	Índice Plástico	w%	SUCS	DESCRIPCION SUCS
	N° 1"	N° 3/4"	N° 1/2"	N° 3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200						
0	Sin Datos													
1	Sin Datos													
2	Sin Datos													
3	Sin Datos													
4	Sin Datos													
5	Sin Datos													
6	100	100	100	100	100	100	95	59	37	31	6	24	ML	Limo Arenoso, Plastico, Humedo, Color café oscuro
7	100	100	100	100	100	100	98	68	0	NP	0	11	ML	Limo arenoso, no plastico, ligeramente humedo, color café clara
8	Sin Datos													
9	100	100	100	100	95	94	85	84	0	NP	0	7	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café claro
10	100	100	100	100	100	100	95	63	40	32	8	25	ML	Limo Arenoso, Plastico, Humedo, Color café oscuro

11	100	100	100	100	100	99	94	25	0	NP	0	12	SM	Arena limosa, no plastica,humedo,color negruzco
12	100	100	100	100	100	100	95	59	37	31	6	23	ML	Limo Arenoso, Plastico,Humedo,Color café oscuro
13	100	100	100	100	95	86	68	38	0	NP	0	19	SM	Arena limosa con grava,no plastica,humeda,color café clara
14	100	100	100	100	100	100	89	51	0	NP	0	15	ML	Limo arenoso con raices, no plastico,humedo,color café oscuro
15	100	100	100	100	100	100	94	60	0	NP	0	35	ML	Limo arenoso, no plastico,humedo,color negruzco
16	100	100	100	100	41	33	19	15	0	NP	0	2	GM	Grava arenosa con limo, no plastica, seca, color gris clara
17	100	100	100	100	95	86	68	38	0	NP	0	19	SM	Arena limosa con grava,no plastica,humeda,color café clara
18	100	100	100	100	100	100	92	53	0	NP	0	16	ML	Limo arenoso con raices, no plastico,humedo,color café oscuro
19	100	100	100	100	100	99	80	46	0	NP	0	22	SM	Arena limosa, no plastico,humedo,color café oscuro
20	100	100	100	100	100	100	94	61	0	NP	0	34	ML	Limo arenoso, no plastico, humedo, color negruzco
21	100	100	100	100	100	100	97	65	0	NP	0	15	ML	Limo arenoso, no plastico,humedo,color negruzco
22	Sin Datos													
23	Sin Datos													
24	100	100	100	100	100	100	94	64	0	NP	0	20	ML	Limo Arenoso, no plastico,humedo,color café claro
25	100	100	100	100	100	100	93	53	0	NP	0	11	ML	Limo arenoso, no plastico,ligeramente humedo, color café clara
26	100	100	100	100	95	86	68	38	0	NP	0	19	SM	Arena limosa con grava,no plastica,humeda,color café clara
27	100	100	100	100	41	33	19	15	0	NP	0	2	GM	Grava arenosa con limo, no plastica, seca, color gris clara
28	100	100	100	100	100	100	90	48	0	NP	0	9	SM	Arrena limosa, no plastica,ligeramente humeda,color café clara
29	100	100	100	100	100	100	93	53	0	NP	0	11	ML	Limo arenoso, no plastico,ligeramente humedo, color café clara
30	100	100	100	100	100	100	98	39	0	NP	0	7	SM	Arena limosa, no plastica,ligeramente seca,color café oscuro
31	100	100	100	100	100	99	91	57	0	NP	0	6	ML	Limo arenoso con raices, no plastico,seco,color claro
32	100	100	100	100	100	97	78	36	0	NP	0	7	SM	Arena limosa, no plastica, seca, color café oscuro
33	100	100	100	100	95	88	49	22	0	NP	0	8	SM	Arena limosa, con grava, no plastica,ligeramente humeda,color café claro
34	100	100	100	100	100	100	92	30	0	NP	0	7	SM	Arena limosa, no plastica,ligeramente seca, color café clara
35	100	100	100	100	100	100	85	17	0	NP	0	4	SM	Arena limosa, no plastica,seca,color café oscuro
36	100	100	100	100	95	94	84	35	0	NP	0	7	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café oscuro
37	100	100	100	100	100	100	88	41	0	NP	0	5	SM	Arena limosa, no plastica,ligeramente seca,color gris claro
38	100	100	100	100	98	92	64	35	0	NP	0	10	SM	Arena limosa, con grava, no plastica,ligeramente seca, color gris clara

39	100	100	100	100	100	100	94	43	0	NP	0	3	SM	Arena limosa, no plastica,seca, color gris clara
40	100	100	100	100	100	99	85	38	0	NP	0	6	SM	Arena limosa, no plastica,seca,color café clara
41	100	100	100	100	99	98	78	16	0	NP	0	5	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color gris clara
42	100	100	100	100	100	98	86	39	0	NP	0	6	SM	Arena limosa, no plastica,seca,color café clara
43	100	100	100	100	100	99	94	76	152	91	61	###	MH	Limo elastico arenoso organico con raices y olor organico,muy plastica,muy humedo,color gris clara
44	100	100	100	100	99	98	89	42	0	NP	0	5	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color café clara
45	100	100	100	100	100	98	86	46	0	NP	0	7	SM	Arena Limosa, No Plastica,seca,color café clara
46	100	100	100	100	100	99	80	19	0	NP	0	2	SM	Arena Limosa, No plastica,seca, color café clara.
47	100	100	100	100	91	87	74	38	0	NP	0	7	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color café clara.
48	100	100	100	100	91	84	64	28	0	NP	0	2	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color gris clara
49	100	100	100	100	41	33	19	15	0	NP	0	2	GM	Grava arenosa con limo, no plastica, seca, color gris clara
50	100	100	100	100	100	98	84	34	0	NP	0	5	SM	Arena limosa, no plastica, seca, color café oscuro
51	100	100	100	100	100	98	85	38	0	NP	0	5	SM	Arena limosa, no plastica,seca,color café claro
52	Sin Datos													
53	100	100	100	100	48	35	23	14	0	NP	0	12	GM	Grava arenosa con limo, no plastica,ligermente seca,color café claro
54	100	100	100	100	98	94	59	21	0	NP	0	1	SM	Arena limosacon grava, no plastica, seca, solo gris claro
55	100	100	100	100	100	97	78	36	0	NP	0	7	SM	Arena limosa, no plastica, seca, color café oscuro
56	100	100	100	100	95	88	49	22	0	NP	0	8	SM	Arena limosa, con grava, no plastica,ligeramente humeda,color café claro
57	100	100	100	100	99	93	66	24	0	NP	0	6	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color café oscuro
58	100	100	100	100	100	100	92	53	0	NP	0	16	ML	Limo arenoso con raices, no plastico,humedo,color café oscuro
59	100	100	100	100	100	97	78	36	0	NP	0	7	SM	Arena limosa, no plastica, seca, color café oscuro
60	100	100	100	100	48	36	24	15	0	NP	0	11	GM	Grava arenosa con limo, no plastica,ligermente seca,color café claro
61	100	100	100	100	100	99	91	57	0	NP	0	6	ML	Limo arenoso con raices, no plastico,seco,color claro
62	100	100	100	100	82	75	56	29	0	NP	0	7	SM	Arena Limosa con grava, no plastica,seca,color café oscuro
63	100	100	100	100	100	98	86	46	0	NP	0	7	SM	Arena Limosa, No Plastica,seca, color café oscuro
64	100	100	100	100	88	79	59	32	0	NP	0	10	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café oscuro
65	100	100	100	100	96	94	84	46	0	NP	0	16	SM	Arena limosa con grava, no plastica,humeda,color negruzco
66	100	100	100	100	95	92	79	38	0	NP	0	8	SM	Arena limosa con grava, no plastica,seca,color negruzca
67	100	100	100	100	100	99	90	55	0	NP	0	25	ML	Limo arenoso,humedo,color negruzco
68	100	100	100	100	97	95	83	45	0	NP	0	16	SM	Arena limosa con grava, no plastica,humedo,color negruzco
69	100	100	100	100	100	99	92	50	0	NP	0	18	ML	Limo arenoso, no plastico,humedo,color negruzco
70	100	100	100	100	100	99	92	52	0	NP	0	22	ML	Limo arenoso, no plastico,humedo,color negruzco

71	100	100	100	100	92	88	75	37	0	NP	0	13	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, ligeramente seca, color café oscuro
72	100	100	100	100	88	79	59	32	0	NP	0	10	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café oscuro
73	100	100	100	100	99	95	76	34	0	NP	0	16	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, humeda, color café oscuro
74	100	100	100	100	85	78	63	30	0	NP	0	3	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café claro.
75	100	100	100	100	99	95	78	33	0	NP	0	1	SM	Arena limosa con grava, no plastica, seca, color café claro.
76	100	100	100	100	98	93	71	22	0	NP	0	2	SM	Arena limosa con grava, no plastica, seca, color gris oscuro.
77	100	100	100	100	99	98	72	14	39	33	6	3	SM	Arena limosa con grava, plastica, seca, color café claro
78														
79	100	100	100	100	100	100	97	60	45	34	11	26	ML	Limo arenoso, plastico, humedo, color café oscuro.
80	100	100	100	100	100	100	94	53	39	30	9	26	ML	Limo arenoso, plastico, humedo, color café oscuro.
81	Sin Datos													
82	Sin Datos													
83	Sin Datos													
84	100	100	100	100	85	78	63	30	0	NP	0	3	SM	Arena Limosa con grava, no plastica, seca, color café claro.
85	Sin Datos													

Nota: NP (No plástico).

Del total de las muestras; 20 son Limo arenoso, 45 Arena limosas con grabas, 5 Grabas arenosas con limo y 1 Limo elástico arenoso, en las cuales se realizó la clasificación SUCS la cual comprende Granulometría (ASTM S422), humedad natural (ASTM D2216), limite líquido (ASTM D4318), Limite plástico (IP), Índice plástico, Índice de grupo.



**Ilustración 8.** Muestras de suelo ensayado el límite líquido, limite plástico y índice plástico

### 6.3. Concentración de sulfatos

Se realizó el análisis de las muestras de suelo extraídas del cantón Guano, se omitió el análisis de las muestras en los puntos 0,1,2,3, 4,5,8, 22,23, 52 78,81,82 y 83 ya que no se logró acceder a la ubicación geográfica debido a la complejidad de acceso de estos puntos. Se logró obtener dos categorías y clases de exposición de los elementos superficiales de hormigón a los sulfatos acorde a los valores de la normativa ecuatoriana (NEC-SE-HM, 2015).

**Tabla 10** Categorización de acuerdo con la cantidad de concentración de las muestras analizadas

Nº de muestra	Concentración total de sulfatos mg/kg	Concentración total de sulfatos mg/l	Concentración de sulfatos ppm	% en masa de sulfatos	NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)	ACI (American Concrete Institute)	BSI (British Standards Institution)	DIN (Deutsches Institut für Normung)
0	Sin datos							
1	Sin datos							
2	Sin datos							
3	Sin datos							
4	Sin datos							
5	Sin datos							
6	4.6	4.6	4.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
7	2.7	2.7	2.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
8	Sin datos							
9	4.7	4.7	4.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
10	3.3	3.3	3.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
11	1.8	1.8	1.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
12	4.4	4.4	4.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
13	4.7	4.7	4.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
14	2.7	2.7	2.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
15	3.1	3.1	3.1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
16	3.8	3.8	3.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
17	4.6	4.6	4.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
18	3.8	3.8	3.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
19	2.1	2.1	2.1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
20	3.2	3.2	3.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
21	5.2	5.2	5.2	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado

<b>22</b>	Sin datos								
<b>23</b>	3.4	3.4	3.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>24</b>	4.6	4.6	4.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>25</b>	2.7	2.7	2.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>26</b>	4.8	4.8	4.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>27</b>	4.4	4.4	4.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>28</b>	2.7	2.7	2.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>29</b>	2.7	2.7	2.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>30</b>	1.8	1.8	1.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>31</b>	5.8	5.8	5.8	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>32</b>	1	1	1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>33</b>	2.6	2.6	2.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>34</b>	3.1	3.1	3.1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>35</b>	1.3	1.3	1.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>36</b>	4.9	4.9	4.9	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>37</b>	3.3	3.3	3.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>38</b>	1.3	1.3	1.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>39</b>	9.4	9.4	9.4	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>40</b>	9.4	9.4	9.4	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>41</b>	1.8	1.8	1.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>42</b>									
<b>43</b>	2746.6	2746.6	2746.6	0.275	Severa	Exposición clase 3	Entorno químico ligeramente agresivo	Entorno químico ligeramente agresivo	
<b>44</b>	4.4	4.4	4.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>45</b>	6.2	6.2	6.2	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>46</b>	1.7	1.7	1.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>47</b>	1.9	1.9	1.9	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>48</b>	3.4	3.4	3.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>49</b>	4.4	4.4	4.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>50</b>	1.5	1.5	1.5	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>51</b>	5.8	5.8	5.8	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>52</b>	Sin datos						Exposición clase 0		
<b>53</b>	0.6	0.6	0.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>54</b>	1.4	1.4	1.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>55</b>	1	1	1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>56</b>	2.6	2.6	2.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>57</b>	0.8	0.8	0.8	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	
<b>58</b>	3.7	3.7	3.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado	

59	0.9	0.9	0.9	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
60	0.6	0.6	0.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
61	6.5	6.5	6.5	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
62	2.2	2.2	2.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
63	7	7	7	0.001	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
64	3.3	3.3	3.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
65	2.9	2.9	2.9	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
66	2.4	2.4	2.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
67	4.5	4.5	4.5	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
68	1.9	1.9	1.9	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
69	2.5	2.5	2.5	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
70	1.6	1.6	1.6	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
71	1.4	1.4	1.4	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
72	3.3	3.3	3.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
73	4.2	4.2	4.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
74	3.1	3.1	3.1	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
75	1.7	1.7	1.7	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
76	1.2	1.2	1.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
77	2.2	2.2	2.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
78	sin datos							
79	2.3	2.3	2.3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
80	2.2	2.2	2.2	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
81	sin datos							
82	sin datos							
83	sin datos							
84	3	3	3	0.000	No aplicable	Exposición clase 0	No considerado	No considerado
85	Sin datos							

Según las características de los puntos analizados en donde la concentración de sulfatos en el suelo permite llegar a caracterizarlos mediante la comparación de dos normativas existentes se realizan dos diagramas de georreferenciación.

Mediante las normativas NEC (Tabla 1) y ACI (Tabla 2), que comprenden rangos de concentración de sulfatos de 0 a 1000 ppm (partes por millón), se logró obtener dos clasificaciones bajo criterios de severidad S0 no aplicable de 0 a 150 ppm en las 71 muestras excepto en la muestra 43, ya que esta pertenece a una clase S2 que se considera

Severa con un rango entre 1500 a 10000 ppm. Este punto se lo representó en un mapa georreferenciado con la ayuda del programa ArcMap. Ver anexo 2.

Basándonos en la normativa británica BSI (Tabla 3), los valores obtenidos de concentración de sulfatos presentan dos tipos de categorías entorno químico no considerado y entorno químico ligeramente agresivo, de las 71 muestras ensayadas 69 pertenecen a la categoría de entorno químico no considerado que tiene valores  $<200$  mg/l, y la 43 que pertenece a la categoría de entorno químico ligeramente agresivo que tiene valores  $\geq 2000$  y  $\leq 3000$  mg/l o ppm.

De los ensayos realizados en el laboratorio se obtuvieron valores de 9.4 ppm y menores de hasta 0.6 ppm. Por una parte, la normativa DIN Y BSI no consideran estos valores para su categorización, Sin embargo, debemos tener en cuenta que la NEC y ACI clasifican los mismo dentro del rango de no aplicables.

Dentro de los resultados analizados según su tipo de suelo, tenemos una cantidad predominante de 45 muestras de Arenas limosas (SM) con valores de cantidad de sulfatos entre 0.8-9.4 ppm, 20 muestras de Limo arenoso (ML) con valores de cantidad de sulfatos entre 1.6 a 6.5, 5 muestras de Grava arenosa (GM) tiene cantidades de sulfatos que van en un intervalo de 0.6 a 4.4 ppm y 1 muestra de Limo elástico arenosos (MH) tiene valores superiores a los 2000 ppm siendo esta la de mayor consideración.

## Descripción de los elementos estructurales en viviendas en Guano.

Dentro de los resultados obtenidos en los estudios para la clasificación SUCS como con en la cantidad de sulfatos en el suelo y mediante las observaciones realizadas durante la campaña de exploración se pudo obtener que la mayor parte de la viviendas posee bajos criterios de severidad no aplicable S0, donde se ubican algunas viviendas las cuales no presentan patologías de ningún tipo, en el caso de ciertas viviendas analizadas las cuales tienen un valor de 6.2 a 2746.6 ppm siendo los valores más altos dentro del presente estudio presentan patologías superficiales en ciertos elementos pero no de gran importancia, es decir no afecta directamente a los elementos estructurales de hormigón, en el caso de las viviendas que se encuentran alrededor del punto 43 la cual es considerada como severa S2 presentan patologías que afectan directamente al hormigón, cimentaciones y otros elementos superficiales que se encuentran directamente con el suelo expuesto.

**Tabla 11** Puntos que no presentan patologías en las estructuras de concreto cercanas a estos.

Puntos	m.s.m	Coordenadas UTM		Sulfatos SO4 (ppm)	Patología
		Este	Norte		
6	3845	751245.9838	9836234.011	4.6	S.P
9	9	4012	748873.5621	4.7	S.P
10	10	3677	751285.1974	3.3	S.P
12	3671	748755.9214	9831195.066	4.4	S.P
13	3474	751128.343	9831253.886	4.7	S.P
15	3639	756245.7154	9833469.454	3.1	S.P
16	3912	758716.1711	9833567.488	3.8	S.P
17	3511	756186.8951	9831195.066	4.6	S.P
18	3835	758716.1711	9831234.279	3.8	S.P
20	3869	761245.4471	9831234.279	3.2	S.P
21	3277	756186.8951	9828567.756	5.2	S.P
23	3785	761323.8743	9828665.79	3.4	S.P
24	3300	751324.411	9828685.397	4.6	S.P
26	3192	753932.1141	9828724.61	4.8	S.P
27	3205	751304.8042	9826234.548	4.4	S.P
31	3309	761323.8743	9826195.334	5.8	S.P
34	2984	756324.1426	9823705.272	3.1	S.P
36	2841	761304.2675	9823685.665	4.9	S.P
37	2989	756186.8951	9821509.311	3.3	S.P
44	2766	766284.3923	9823764.092	4.4	S.P

<b>48</b>	2694	770695.9203	9819391.778	3.4	S.P
<b>49</b>	2614	771107.6629	9821195.603	4.4	S.P
<b>51</b>	2817	768852.8819	9823744.485	5.8	S.P
<b>58</b>	3384	771225.3036	9828763.824	3.7	S.P
<b>64</b>	2839	773715.3661	9831155.852	3.3	S.P
<b>67</b>	3674	768676.4208	9833645.915	4.5	S.P
<b>72</b>	2338	775930.9334	9833724.342	3.3	S.P
<b>73</b>	2423	775832.8995	9831410.741	4.2	S.P
<b>74</b>	2355	773519.2981	9828822.644	3.1	S.P
<b>84</b>	4014	748481.4263	9840861.214	3	S.P

Nota: SP (Sin Patología)

**Tabla 12** Puntos que presentan patologías en las estructuras de concreto cercanas a estos.

Puntos	m.s.m	Coordenadas UTM		Sulfatos SO4 (ppm)	Patología
		Este	Norte		
<b>39</b>	2858	761265.0539	9821274.03	9.4	Desprendimiento de recubrimiento
<b>40</b>	2809	761225.8403	9818823.181	9.4	Desprendimiento de recubrimiento
<b>43</b>	2589	766284.3923	9821332.85	2746.6	Humedad, eflorescencia, desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero de refuerzo
<b>45</b>	2748	763813.9367	9818999.642	6.2	Desprendimiento de recubrimiento
<b>61</b>	3925	766303.9991	9831214.673	6.5	Desprendimiento de recubrimiento
<b>63</b>	3262	771342.9444	9831175.459	7	Humedad, eflorescencia, desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero de refuerzo (Anexo 6).

## 7. Discusión

El cantón de Guano al estar rodeado de tres grandes volcanes como lo son el Chimborazo, Altar y Tungurahua, tiene una geología de formaciones volcánicas en gran parte de su territorio, razón por la cual la formación de aluviones es muy común en este territorio (GAD Municipal de guano, 2019). Por lo general los aluviones están compuestos por gravas, arenas, arcillas o limos; De los 85 puntos que se tenía programado analizar en el cantón de Guano solo fue posible analizar 71 puntos, ya que para los puntos restantes se dificultó el acceso debido a su ubicación geográfica motivo por el cual se optó por el descarte de estos puntos. De acuerdo con los ensayos realizados a los 71 puntos que si se logró acceder y obtener muestras se pudo constatar que gran parte del territorio de Guano está conformado por suelos de tipo ML (Limo Arenoso) y SM (Arena limosa con grava).

El hormigón es vulnerable al ataque de sulfatos encontrados en el ambiente, lo cual es denominado un ataque químico y la importancia del daño que provoca este ataque se determina por la concentración de sulfatos encontrados en el suelo o agua (Aguirre & Mejía de Gutiérrez, 2013), para que un ataque químico por sulfatos en el hormigón se llegue a considerar crítico de consecuencias graves el porcentaje de concentración de sulfatos deberá ser superior a los 2000 ppm y 0.5% (Bernal Camacho et al., 2013). Según las normativas empleadas para la realización del trabajo de investigación el porcentaje de concentración de sulfatos corresponde a un nivel de ataque de clase exposición 0 (ACI 201, 2012) o de nivel no considerado (BSI, 2013), a excepción del punto 43 que posee una concentración de sulfatos de 2746.6 ppm o 0.275 %, superando el 0.2 % establecido en las normas ACI 201 y NEC-SE-HM, lo cual se considera una concentración severa o exposición de clase 3. Eso se debe a que es un terreno agrícola en donde el nivel freático no es tan profundo, si bien concentraciones lo suficientemente altas como la del punto 43 no impiden el crecimiento de la vegetación, es lo suficientemente alta como para causar problemas y patologías en el hormigón.

La mayoría de las muestras analizadas en este estudio presentan bajos porcentajes de concentración de sulfatos a excepción de 6 muestras que presentan valores mayores a 6 ppm, esto se debe a la baja salinidad que existe en el territorio del cantón de Guano según estudios realizados por equipo técnico de la fundación CESA el 91,71 % del territorio de guano es no salino, el 0.11 % es ligeramente salino, el 0.75 % es salino y el 7.43 % son tierras misceláneas es decir no aplica (GAD Municipal de guano, 2019). Los resultados

obtenidos de las muestras ensayadas en esta investigación coinciden con los realizados por la fundación CESA ya que en los lugares en donde existe salinidad en el territorio del cantón Guano fue en donde se registró o se obtuvo los valores más altos de concentración de sulfatos.

La presencia de cantidades altas o una prolongada exposición de sulfatos provocan fisuras en el hormigón ya que este sufre un aumento del volumen de los sólidos y en consecuencia puede llegar a provocar desprendimientos del hormigón (NMX-C-414-ONNCCE-1999, 2007), las viviendas que presentaron este tipo de patologías fueron las cercanas a los puntos en los que se obtuvo una mayor cantidad de sulfatos, se puede evidenciar desprendimientos del hormigón en la vivienda mostrada en el anexo 4, lo cual es un claro ejemplo del tipo de patologías que son provocadas por un ataque químico de iones de sulfatos.

Las aguas residuales contienen un gas llamado ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) el cual no es muy agresivo con el hormigón, sin embargo, al entrar en contacto con el agua se puede formar ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) el cual es altamente agresivo con el hormigón ya que produce un ataque químico doble el de ácidos y el de sulfatos, la reacción que tiene el hormigón al entrar en contacto con el ácido sulfúrico es la de neutralizar las sustancias alcalinas del hormigón dando paso a la formación de sales solubles de carácter expansivo (Otero Huerta, 2021), la muestra con el valor más alto de concentración de sulfatos es el punto 43 con una cantidad de 2746.6 ppm, este punto se encuentra cercano a una planta de tratamiento de aguas residuales, construcciones ubicadas cercanas al punto 43 evidenciaron fisuras y desprendimientos del hormigón lo cual es un claro indicativo de un ataque químico debido a sulfatos ya que el hormigón ha sufrido un aumento del volumen de los sólidos hasta llegar a las fisuras.

## CAPÍTULO V

### 8. Conclusiones

Los suelos de las parroquias del cantón Guano al estar conformados en su mayoría por terrenos con zonas áridas donde existe la presencia de arenas limosas y limos arenosos en su mayor parte, da lugar a la presencia de sulfatos ya sea por el origen natural del suelo o por la acción de aguas que fluyen a través del medio arenoso en donde se estanca y por la presencia de material orgánico, debido a que la mayor parte es usado para el cultivo, la acumulación de sulfatos en ciertos puntos es mayor que en otros lo cual causa el deterioro de los elementos superficiales de hormigón en el caso de viviendas cercanas a cultivos.

Realizados los ensayos de concentración de sulfatos solubles en el suelo del cantón Guano mediante turbidimetría arrojan que los niveles de  $SO_4$  en el suelo no representan un riesgo considerable para elementos de hormigón en viviendas, excepto en ciertos casos donde debido a la presencia del nivel freático y suelos agrícolas donde el uso de fertilizantes en el terreno causa un aumento del nivel de concentración de sulfatos en el terreno, razón por la cual se evidencia daños en los elementos de hormigón de viviendas cercanas.

Los resultados obtenidos mediante la investigación realizada en las parroquias del cantón Guano, nos arroja dos clases de exposiciones según las normativas utilizadas como es la NEC, ACI y BSI donde la exposición por ataques químicos es S0 (no aplicable) y S2 (muy severa), en donde en las zonas con clase S2, son suelos usados para pastoreo en donde pasan vertientes de agua subterránea y tiene un nivel freático a 0.60 cm (punto 43) y de la misma manera con las normas europeas como es el BSI, el suelo del área de estudio presenta dos entornos en su mayor parte un entorno no considerado dentro de la norma y uno como ligeramente agresivo siendo un suelo MH (limo elástico arenoso) que posee

concentraciones de sulfatos altos y por tal razón afectaría a los elementos superficiales de hormigón cercanos a este punto.

El estado de los elementos superficiales de hormigón de las viviendas pertenecientes al cantón Guano, presentan patologías superficiales específicamente en el hormigón como son en su mayor parte humedad en paredes y eflorescencia y desprendimiento de material en el recubrimiento de mampuestos y enlucidos provocadas por la concentración de sulfatos en el suelo, las mismas características se las encontró en viviendas y complejos (punto 43) pero con una mayor severidad.

## 9. Recomendaciones

Sin importar que los resultados del trabajo investigativo en su mayoría por no decir en su totalidad evidenciaran bajas concentraciones de sulfatos y que estas cantidades no representan afectaciones graves en el hormigón, debido al tipo del suelo que se tiene en el cantón de Guano que es rico en minerales y posee una buena absorción del agua, se debería emplear medidas de prevención para el ataque de sulfatos como un recubrimiento impermeable o drenajes que no permitan que el hormigón entre en contacto con el agua ya que el agua además de ser el transporte de los sulfatos es el reactivo necesario para que se presente el ataque químico en el hormigón.

Se debe constatar que tipo de cemento se está usando o se usara para la construcción y el lugar donde se realizara la construcción para así evitar posibles patologías que se presenten en el hormigón debido a la concentración de sulfatos, ya que un hormigón poco denso y permeable no tiene un buen desempeño si la cantidad de sulfatos en el terreno es alta.

Para futuras investigaciones se debe considerar la afectación que tienen los sulfatos si entran contacto con el acero, ya que este es otro material importante para el buen desempeño de las construcciones.

Se recomienda basarse en la normativa ASTM C1580-20 para la determinación de la cantidad de concentración de sulfatos para próximos estudios acerca del tema.

Se recomienda realizar un estudio acerca de posibles fugas o infiltraciones de aguas residuales en el terreno debido a la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la avenida de los Elenes, ya que fue el punto con el valor más alto de concentración de sulfatos del estudio realizado.

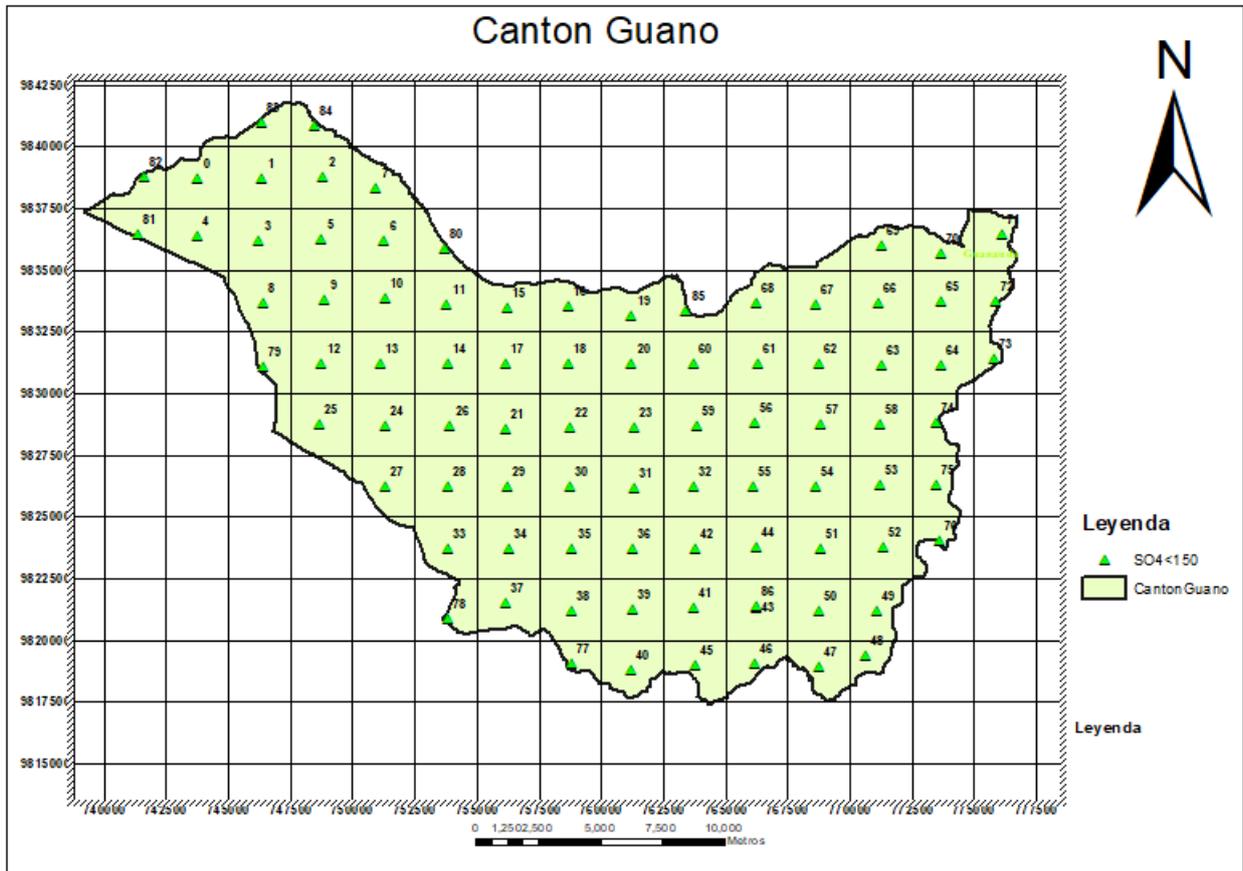
## 10. Bibliografía

- ACI 201. (2012). *Guía para la Durabilidad del Hormigón*.
- Aguirre, A. M., & Mejía de Gutiérrez, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, 63(309), 7–38. <https://doi.org/10.3989/mc.2013.00313>
- ASTM D2487. (2011). *Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos): Vol. i (Issue C)*. <https://doi.org/10.1520/D2487->
- ASTM D420. (2018). Standard Guide for Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes. In *ASTM*. [https://doi.org/10.1520/D0420\\_D0420M-18](https://doi.org/10.1520/D0420_D0420M-18)
- Bernal Camacho, J., Mahmoud Abdelkader, S., Reyes Pozo, E., & Monteagudo Viera, S. (2013). Estudio de la influencia de los medios con presencia de sulfatos en hormigones con cementos sulforresistentes y adiciones minerales. Parte 2. Hormigones expuestos a sulfato magnésico (MgSO<sub>4</sub>). *Revista de La Construcción*, 12(3), 36–46. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2013000300004>
- BSI. (2013). *BSI Standards Publication Concrete — Specification , performance , production and conformity*. British Standards Institution.
- Cabrera Palacios, E. (2010). Estudio comparativo de cimentaciones aisladas en la ciudad de Cuenca diseñadas por el método de la presión admisible con los obtenidos aplicando el método de los estados límites (tesis de maestría). In *Universidad de Cuenca*.
- Calvo, N. R. (2008). *Estimación del contenido de sulfato en suelos del sudeste bonaerense*. 39–41.
- Díaz Malagón, J. (2019). *Alteraciones que producen el ciclo hielo-deshielo y los ataques por sulfato en el concreto*. Universidad de Santo Tomás.
- GAD CHIMBORAZO. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo 2019-2023. *Prefectura de Chimborazo*, 681.
- GAD Municipal de Guano. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del GADM de Guano*. <http://www.municipiodeguano.gob.ec/index.php/transparencia/pdot/pdot-2019-2023>
- García, P. (2021, November 8). *¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?* - *GeoInnova*. GeoInnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>
- García Pincay, M. J., & Moreira, R. J. (2018). Importancia de las cimentaciones, y el estudio del suelo para estructuras construidas en la ciudad de Manta en la zona de Tarqui, Ecuador. *Universidad Técnica de Manabí*.
- Garza Vasquez, L. (2000). Diseño y Construcción de Cimentaciones. In *Universidad Nacional de Colombia*.
- Garzón Roca, J., Garrido de la Torre, M. E., & Hidalgo Signes, C. (, July). *Clasificación de un suelo según SUCS*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/84314?show=full>

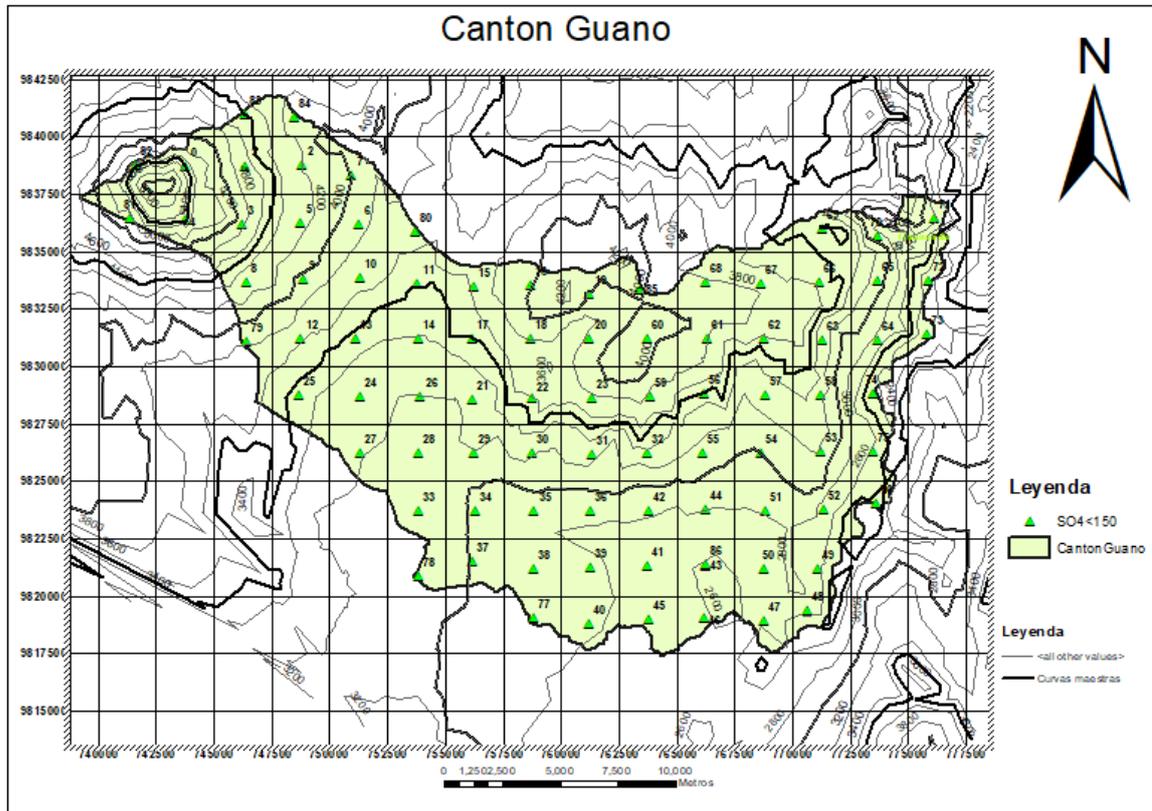
- Garzón Zúñiga, M. A., González Zurita, J., & García Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 199–211. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.06>
- Haining, R. (2004). *Análisis Espacial de Datos*. Cambridge University Press, 454. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- INIFED. (2015). Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. In *Normatividad e Investigación*.
- Instituto Espacial Ecuatoriano, & MAGAP. (2012). *Memoria Técnica Cantón Guano Proyecto : “ Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000”*. 64.
- NEC-SE-HM. (2015). *Estructuras de hormigón armado*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NMX-C-414-ONNCCE-1999. (2007). Causas Y. In *Concreto en la obra* (Vol. 13, pp. 67–71). Instituto Mexicano del cemento y concreto. [www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn](http://www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn)
- Otero Huerta, E. (2021). Corrosión y Degradación de Materiales. In *Corrosión y Degradación de Materiales* (p. 186).
- Porto Quintián, J. (2005). *Manual de Patologías en las estructuras de hormigón armado*. Universidad da Coruña. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn401.html>
- Rodríguez, E. (2019). *Representación gráfica de estructuras*.
- Rossiter, D. G. (2004). Metodologías para el Levantamiento del Recurso Suelo. *International Institute for Geo-Information Science & Earth Observation (ITC)*, 145. <http://www.itc.nl/~rossiter>
- Toirac Corral, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y Sociedad*, 34(4), 463–504. <https://doi.org/10.22206/cys.2009.v34i4.pp463-504>

## 11. Anexos

**Anexo 1** Mapa de concentración de sulfatos medidos con los rangos de la norma NEC. realizado con la ayuda del software ArcMap



**Anexo 2** Mapa de zonificación de acuerdo con la concentración de sulfatos encontrados del cantón Guano.



**Anexo 3** Desprendimiento del recubrimiento del hormigón punto 45



**Anexo 4** Desprendimiento del hormigón, Humedad y eflorescencia del punto 61



**Anexo 5** Desprendimiento del recubrimiento del punto 40



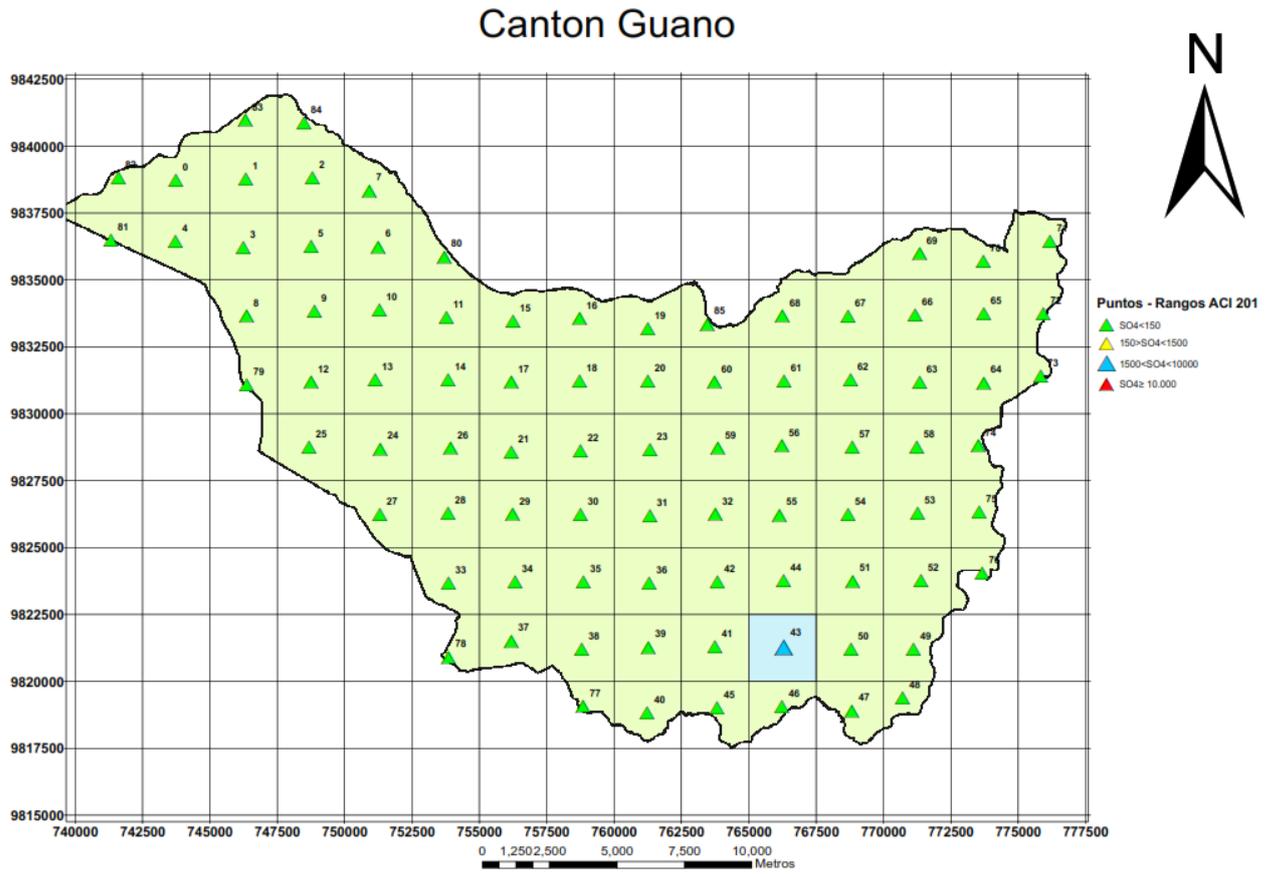
**Anexo 6** Desprendimiento del recubrimiento y exposición del acero del punto 63



**Anexo 7** Desprendimiento del recubrimiento del hormigón y fisuras del punto 39

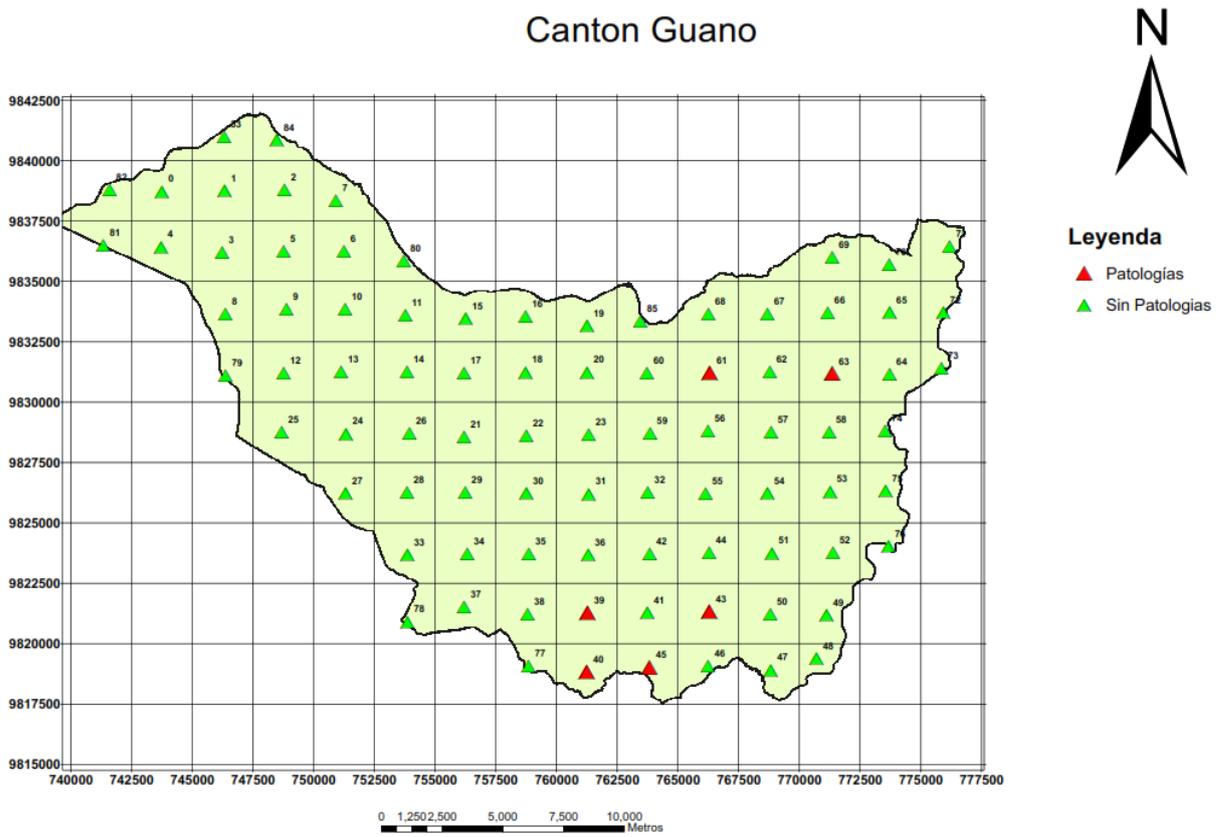


**Anexo 8** Concentración del sulfato de acuerdo con lo establecido en la norma ACI 201

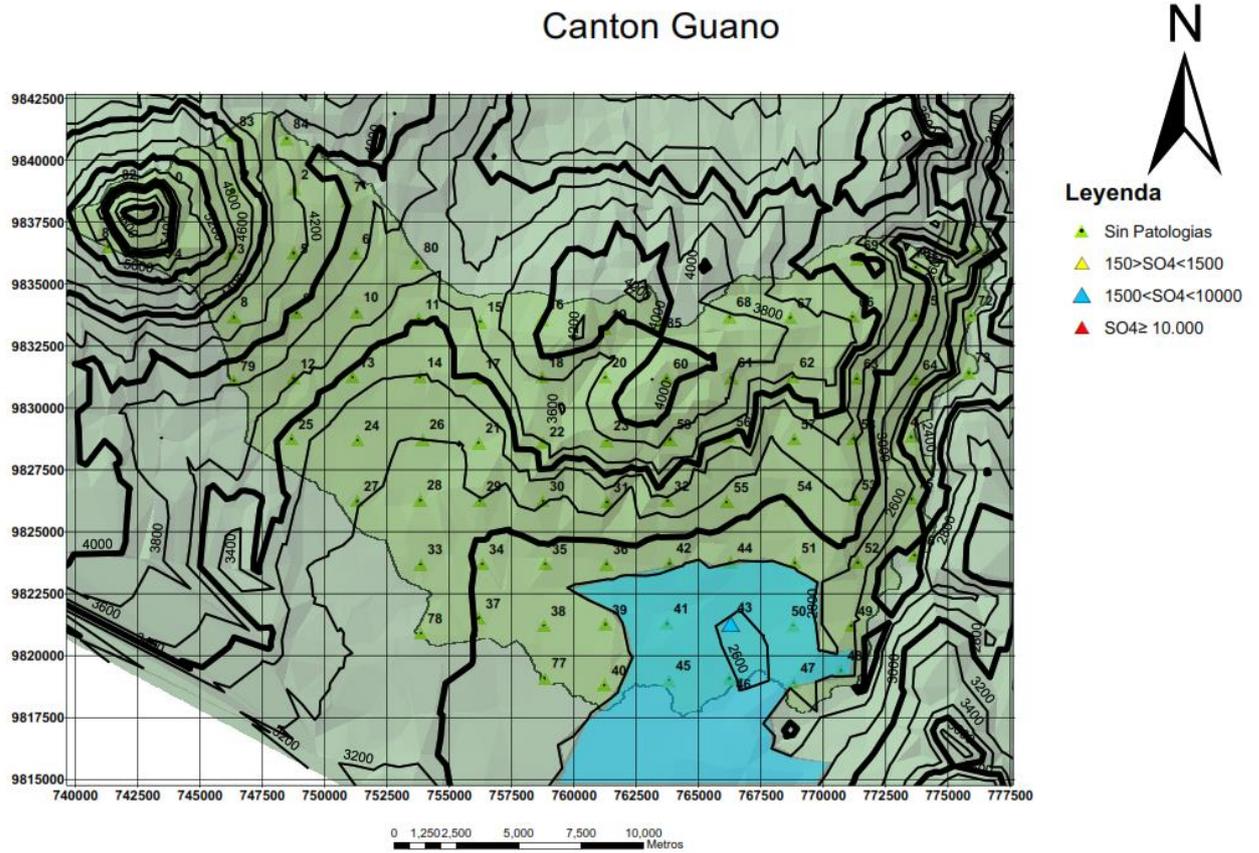


# Anexo 9 Identificación de viviendas que presentaron patologías y sin patologías

## Canton Guano

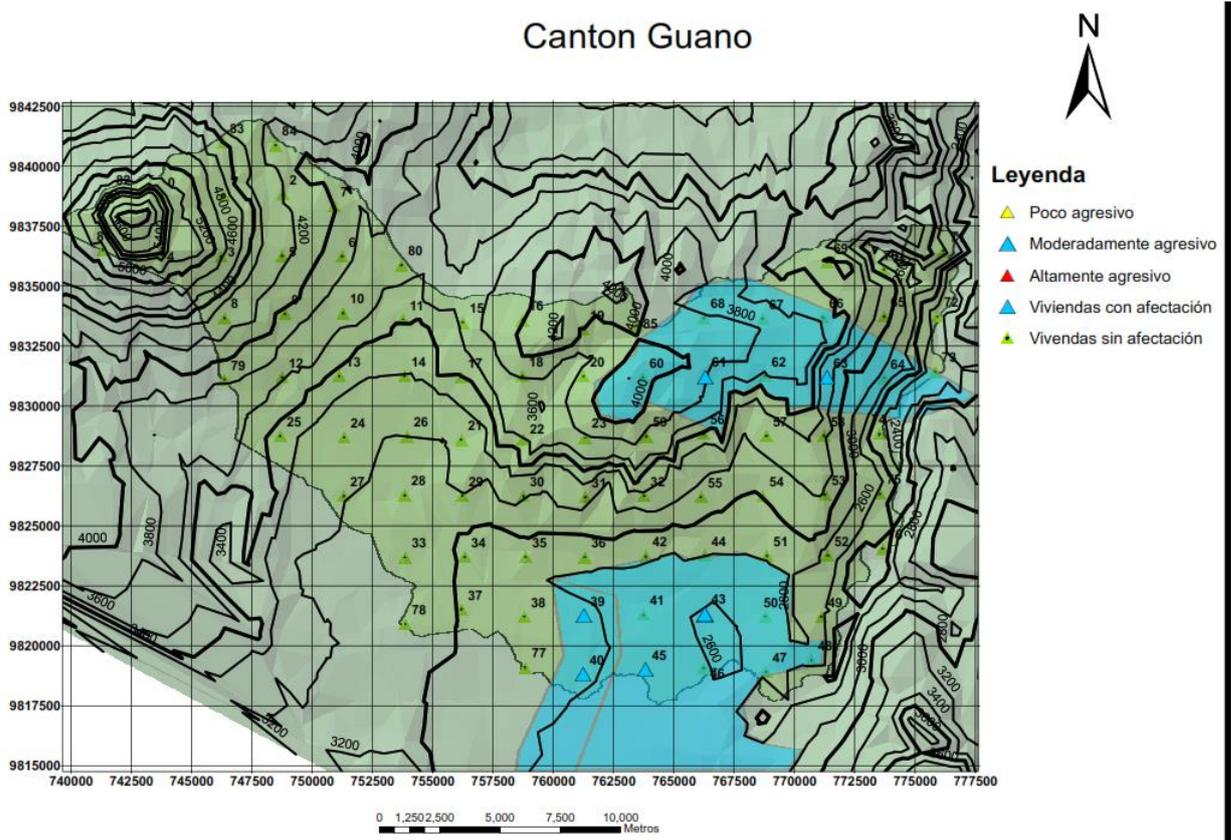


# Anexo 10 Mapa de zonificación de la concentración de sulfatos del cantón Guano



# Anexo 11 Mapa de zonificación de las viviendas con afectaciones debido a los sulfatos

## Canton Guano



**Anexo 12.** Punto con mayor concentracion de sulfatos (43).

