



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SULFATO EN LOS SUELOS DE LA
PARROQUIA SIMÓN BOLÍVAR DEL CANTON PORTOVIEJO**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y MOVILIDAD

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO
DE LOS RECURSOS NATURALES**

PREVIO AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL.

AUTORES

CARLOS ANTONIO INTRIAGO SAFADI

ELIAN SILVANO MENENDEZ VARGAS

TUTORA

MG. MARÍA TATIANA ORDÓÑEZ ZAMBRANO.

PORTOVIEJO, DICIEMBRE DE 2024

Certificado del trabajo de integración curricular

MGTR. María Tatiana Ordóñez Zambrano.

PARA

MGTR. Yandri Xavier Vélez Molina.

Coordinador de la carrera de Ingeniería Civil.

CERTIFICA

En mi calidad de tutora del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

(F) _____

MGTR. María Tatiana Ordóñez Zambrano.

C.I 131198197-9

Acta de aprobación del tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí

(F)_____

MGTR. Maria Tatiana Ordoñez Zambrano.

Primer lector

(F)_____

MGTR. Mauricio Henry Colpari Pozzo.

Segundo lector

(F)_____

MGTR. Fabian Rodrigo Espinales.

Tercer lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie

(F)_____

Carlos Antonio Intriago Safadi.

C.I. 1311988040

Dirección: Calle Atanacio Santos, diagonal a parrilladas “El Mosko”.

Correo electrónico: cintriago8040@pucesm.edu.ec

Celular: 0986376975

(F)_____

Elian Silvano Menendez Vargas.

C.I. 0942299231

Dirección: Calle Eduardo Loor, diagonal a la PUCE.

Correo electrónico: emenendez9231@pucesm.edu.ec

Celular: 0996728837

Declaración de derechos de autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo

(F)_____

Carlos Antonio Intriago Safadi.

C.I. 0986376975

(F)_____

Elian Silvano Menendez Vargas.

C.I. 0942299231

Dedicatoria

Queremos dedicarle este nuevo logro de nuestras vidas a Dios Todopoderoso, por habernos dado la sabiduría y la fuerza que se necesitó para poder enfrentar todos los obstáculos que se presentaron en este largo camino, que tiene como resultado nuestro título profesional.

Se menciona en honor a mi compañero de tesis Elian Menéndez, por haber compartido este desafío y por nunca haber bajado los brazos cuando se ponía cada vez más complicado el camino. Esta tesis es tanto tuya como mía.

Esta tesis es dedicada a nuestros Padres, que nunca dejaron de apoyarnos incondicionalmente, fueron el apoyo que nunca nos faltó, los consejos cuando no sabíamos que hacer y la paciencia que fue fundamental.

Esta dedicada a nuestra tutora de Tesis, Ing. Tatiana Ordoñez. Mg, quien siempre nos apoyó y nos aconsejó de la mejor manera para que nuestra investigación vaya por el mejor camino.

Una mención especial de parte de Elian a: mis padres Judith y Silvano que nunca me dejaron de apoyar y siempre estuvieron para mí cuando los necesite, Melissa que siempre me ha apoyado incondicionalmente y nunca me dejó de dar ánimos, Dallely que fue una fuente de apoyo importante, a nuestros compañeros Brayan, Jorge, Diego, Agustina y Fernando quienes fueron de gran ayuda en esta investigación, al Ing. Yandri Vélez. Mgs, que siempre nos brindó ayuda cuando lo necesitamos, a Andrés Casanova quien siempre me brinda su apoyo y ánimo en momentos complicados y a todas las personas que formaron parte de esta investigación.

Una mención especial de parte de Carlos a: mis padres, Carlos y Fátima; mis abuelos, Gilberto y Zoila; mis hermanos, Eduardo y Alejandro, que sin sus palabras de aliento y sus consejos no habría podido obtener la fuerza para poder realizar esta tesis, también quiero mencionar a mis tías abuelas Francisca, Ubefális, Ana, Dalila y Plinio que son mis ángeles que yo sé que aportaron con su granito de arena en cada momento.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que formaron parte de la realización de esta tesis. A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede en Manabí, por habernos brindado la oportunidad de poder realizar los ensayos y muestreos en las instalaciones de esta. Esta institución que ha sido nuestro lugar de formación en donde fortalecimos amistades que son valiosas desde docentes y compañeros.

Nuestro más sincero agradecimiento a el Ing. Yandri Vélez, que fue nuestro primer mentor en nuestra tesis, con su guía y apoyo en los ensayos de laboratorio para poder culminar los muestreos de manera correcta.

Agradecemos a nuestra directora de tesis, Ing. Tatiana Ordóñez, por su invaluable guía, apoyo y paciencia a lo largo de este proceso. Su conocimiento y dedicación nos han inspirado a alcanzar un nivel más alto en nuestra investigación.

Extendemos nuestro agradecimiento también a nuestros compañeros de la Carrera de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica, Sede en Manabí, quienes nos brindaron su apoyo y compañerismo, así como sus valiosas opiniones que nos ayudaron a enriquecer nuestro trabajo.

Hacemos un agradecimiento especial a nuestras familias, que con cuyo amor y aliento nos dieron la fuerza necesaria para poder superar los desafíos que se nos presentaron en el camino de la realización de nuestra tesis. Sin su apoyo incondicional, no habríamos llegado hasta aquí.

Finalmente, agradecemos a todas las personas e instituciones ya sean públicas, privadas y amistades que contribuyeron con su conocimiento y recursos a lo largo de esta investigación. Su colaboración ha sido fundamental para el desarrollo de este arduo trabajo.

Resumen

La determinación de esta investigación cuantitativa fue investigar y evaluar la capacidad de afectación de los sulfatos en las zonas cercanas a construcciones que están en contacto con los suelos de la parroquia Simón Bolívar, en el cantón Portoviejo, Manabí. De tal forma que, esta investigación experimental se llevó a cabo desde enero hasta abril de 2024, en la que se compilaron 20 muestras de suelo a través de calicatas. Se adoptaron mapas de zonificación utilizando sistemas de información geográfica (SIG) para las exploraciones, y se complementaron cinco ensayos de acuerdo con las Normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM D2487) y (ASTM C1580), para poder definir la clasificación del suelo y valorar la concentración de sulfatos, organizándola según lo estandarizado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y ACI 318-19. El producto del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS) manifiesta preponderancia de suelos como arcillas (2 CL), limos (12 entre MH y ML), arena limosa (5 SM) y arena arcillosa (1 SC), reflejando magnitudes de concentraciones de sulfatos que oscilan entre 13 moderadas, 3 severas y 4 bajo, en la que se comprenden daños en las construcciones cercanas a la zona de investigación y también erosiones en las superficies cercanas al suelo. Este análisis comprende un mapeo amplio y completo para la categorización de la exhibición de sulfatos y su intervención en los suelos y superficies de la parroquia Simón Bolívar, aportando de manera esencial para futuras construcciones y reparaciones en dicha parroquia.

Palabras clave: *Sulfatos, Ensayos de laboratorio, Calicatas, Sistema de Información Geográfica (SIG), Patologías.*

Abstract

This quantitative research aimed to investigate and evaluate the impact of sulfates on areas near constructions in contact with soils in the Simón Bolívar parish, Portoviejo canton, Manabí. To achieve this, an experimental study was conducted from January to April 2024, collecting 20 soil samples through boreholes. Geographic Information Systems (GIS) were used to create zoning maps for explorations, and five tests were conducted according to the American Society for Testing and Materials (ASTM D2487 and ASTM C1580) standards to classify the soil and assess the sulfate concentration, organizing it according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC-15) and ACI 318-19. The Unified Soil Classification System (SUCS) product shows a predominance of soils such as clays (2 CL), silts (12 between MH and ML), silty sands (5 SM), and clayey sands (1 SC), reflecting sulfate concentration magnitudes ranging from 13 moderate, 3 severe, and 4 low, which include damage to constructions near the research area and also erosion in surfaces near the ground. This analysis comprises a comprehensive mapping for the categorization of sulfate exposure and its intervention in the soils and surfaces of the Simón Bolívar parish, making an essential contribution to future constructions and repairs in the parish.

Keywords: *Sulfates, Laboratory tests, Boreholes, Geographic Information System (GIS), Pathologies.*

Tabla de contenido

Certificado del trabajo de integración curricular	i
Acta de aprobación del tribunal	ii
Declaración de Originalidad	iii
Declaración de derechos de autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen.....	vii
Palabras clave: Sulfatos, Ensayos de laboratorio, Calicatas, Sistema de Información Geográfica (SIG), Patologías. Abstract	vii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras.....	xiii
Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Metodología	4
Análisis del número de los sondeos realizados: Población.....	8
Tamaño de la muestra.	9
Tipo de muestreo.....	10
Técnicas de investigación.	12
Protocolo de muestreo.....	13

Registro geográfico.....	13
Análisis de Laboratorio.....	13
Preparación de las muestras.....	13
Determinación de sulfato.....	13
Análisis de Datos.....	13
Validación de los Resultados.....	14
Materiales.....	15
Cuchara de casa grande.....	15
Tamices.....	15
Horno.....	16
Balanza:.....	16
Computadores.....	17
Desecador.....	17
Herramientas Varias.....	18
Resultados.....	19
Características geotécnicas del suelo en la parroquia.....	21
Arcillas de baja compresibilidad inorgánica (CL).....	21
Limos de alta compresibilidad inorgánicos (MH y ML).....	21
Arena limosa bien graduada (SM).....	22
Arenas arcillosas bien graduadas (SC).....	22
Concentración de sulfatos.....	23

Moderada (S1)	25
Severa (S2).....	25
Muy Severa (S3)	26
Discusión.....	31
Conclusiones.....	34
Recomendaciones.	36
Referencias bibliográficas.....	38
ANEXOS.	41
<i>Extracción de muestras tomadas en campo -Parroquia Simón Bolívar/Portoviejo</i>	<i>41</i>
<i>Procesamiento de muestras tomadas en campo -Parroquia Simón Bolívar/Portoviejo, se muestran imágenes del proceso en el laboratorio de suelos de la PUCEM.</i>	<i>43</i>

Índice de tablas

Tabla 1: Coordenadas UTM de Muestras de Suelo, Parroquia Simón Bolívar.	19
Tabla 2: Porcentaje de Sulfatos	21
Tabla 3: Niveles de sulfato en la parroquia Simón Bolívar.	26
Tabla 4: Tipo de riesgo según los niveles de sulfatos.....	27
Tabla 5: Categorías y Clase de Exposición.....	28

Índice de figuras.

Figura 1: Límites de la parroquia Simón Bolívar.	10
Figura 2: Muestreo de la parroquia Simón Bolívar.	12
Figura 3: Cuchara de Casagrande.	15
Figura 4: Tamizado de las muestras.	16
Figura 5: Balanza para el pesado de muestras.	17
Figura 6: Desecador.	18
Figura 7: Herramientas varias: contenedores de pesado, espátula, calculadora.	18
Figura 8: Muestreo en la parroquia Simón Bolívar.	20
Figura 9: Clasificación del suelo mediante SUCS.	23
Figura 10: Clasificación de suelo mediante SUCS, Identificando cada punto tomado.	25
Figura 11: Categorización de los niveles de SO ₄ en la Parroquia Simón Bolívar.	28
Figura 12: Concentración de sulfatos según el tipo de suelo.	29
Figura 13: Mapa zonificado de los niveles de SO ₄ en la Parroquia Simón Bolívar identificado cada punto tomado.	30
Figura 14: Acero corroído por sulfatos en la parroquia Simón Bolívar.	32

Introducción

La falta de estudios previos que aborden la naturaleza y las consecuencias de las interacciones químicas entre el hormigón y los sulfatos del suelo en el contexto de la Parroquia Simón Bolívar representa no solo una laguna de conocimiento sino también un problema práctico.

Es por ello por lo que, se realizó este estudio para así poder brindar a la comunidad de la Parroquia Simón Bolívar una referencia de las propiedades del suelo y además se investigó sobre los diferentes tipos de suelos en esta área, ya que así se puede tener una mejor identificación del suelo y con esto los ciudadanos gozarán de una base de estudios previos al momento de realizar alguna construcción en dicho sitio.

Se debe tener en cuenta que la teoría geotécnica con la práctica de la construcción proporciona perspectivas valiosas sobre el diseño, construcción y mantenimiento de estructuras de concreto en presencia de sulfatos, con esto entendemos que, para poder tener una buena perspectiva de diseño, se debe tener clara la presencia de sulfatos en el suelo del área en estudio.

Se sabe que los sulfatos también pueden estar presentes en el agua subterránea. El agua que se mueve a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados puede disolver una parte de los sulfatos, entonces cuando el agua se filtra a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales con sulfatos, estos pueden disolverse parcialmente en el agua.

Smith, (2015) comenta que:

“A medida que los sulfatos se disuelven en el agua subterránea, aumentan su concentración en la misma. Esto puede afectar la calidad del agua que se utiliza para

consumo, riego o procesos industriales, ya que el exceso de sulfatos puede tener efectos no deseados, como alterar el sabor del agua o provocar corrosión en infraestructuras”

Este desafío no es solo a nivel científico, ya que a nivel de la parroquia hay cierta falta de conciencia y de las regulaciones adecuadas pueden llevar a ciertas repercusiones a nivel social y económico. Las estructuras de hormigón no están diseñadas para soportar niveles de sulfatos mayores a “1.2% en áridos finos y gruesos” Goma, (2015), esto conlleva a que la estructura pueda sufrir daños y por lo tanto a que surjan costos de reparación y, en el peor de los casos incluso puede ponerse en riesgo la seguridad de los habitantes.

Este trabajo busca llenar un vacío de conocimiento en la zona de investigación, también se busca establecer un precedente para las futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la geotecnia y la construcción, resaltando la importancia de la investigación aplicada y el impacto en la vida diaria de las comunidades.

Una de las partes más importantes de la presente investigación es que sea una contribución a la geotecnia, ya que esta aborda una problemática específica, en la cual se ofrece soluciones basadas en los resultados obtenidos documentando y sustentando los mismos con fuentes bibliográficas confiables obtenidas de bases de datos.

Finalmente, este trabajo busca llenar una falencia de conocimiento en la parroquia Simón Bolívar en aspectos de geotecnia y nivel de sulfatos en el suelo, también la intención es constituir una base para futuras investigaciones en el campo de la geotecnia y también en la construcción en general, dando así una mejor perspectiva constructiva en la vida diaria de esta comunidad.

Objetivos

Objetivo General.

- Determinar los niveles de sulfato en el suelo de la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo.

Objetivos Específicos.

- Caracterizar el suelo mediante el sistema SUCS, conforme a la norma ASTM C-2487.
- Determinar los niveles de sulfato del suelo según la norma ASTM C-1589.
- Establecer un mapa de zonificación de los niveles de sulfato en la parroquia Simón Bolívar.

Metodología

Para cumplir con los objetivos del presente Trabajo de Titulación se utilizó un método de investigación cualitativo, fundamentado en revisión bibliográfica en bases de datos, además se realizaron ensayos de laboratorio tales como humedad, granulometría, límite plástico y límite líquido; esto, en el laboratorio de suelos que nos brinda la PUCEM. Estos ensayos nos permitieron llegar a distintos resultados de las muestras tomadas, y así se realizó un mapa de calor con las zonas con más niveles de sulfatos en la parroquia Simón Bolívar, gracias a la intervención de softwares como Q-gis (desarrollado por Open Source Geospatial Foundation “OSGeo” en su versión 3.26.3), y Microsoft Excel.

Según Retos (2023):

“La metodología de un proyecto consiste en todos los pasos recopilados en planificación y gestión de un proyecto. Esta suele recoger desde la gestión de recursos hasta la coordinación del equipo de trabajo, o incluso la relación con todos los interesados en los resultados del proyecto.”

Stsepanets. (2022) dice que:

“Para hacer la gestión de proyecto se suele aplicar algún tipo de metodología, método o conjunto de técnicas. Todos los proyectos, tanto como sus equipos, entornos y condiciones, son diferentes y cada uno requiere un método diferente y ajustado. Al mismo tiempo, todos los equipos, proyectos y organizaciones, tienen características parecidas.”

Con base en lo anterior mencionado y para dar cumplimiento a los objetivos, la metodología de la presente investigación fue guiada por los siguientes puntos:

Recopilación y análisis de documentación, mediante la plataforma digital que brinda la biblioteca de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador como Scielo, Dialnet, EBSCO, E

LIBRO, SCOPUS, SCIENT DIRECT. Se realizaron técnicas de muestreo aleatorio sistemático, y así se pudieron seleccionar las muestras representativas para las pruebas.

Revisión exhaustiva de normas específicas tanto nacionales (Norma Ecuatoriana de la Construcción), como internacionales (ASTM C1580-20) para poder determinar los sulfatos y los ensayos que debían realizarse a las muestras de suelo.

Se realizó una inspección visual para observar el estado de algunas edificaciones de hormigón y la exposición de varillas en determinadas estructuras

Según Arias F. G. (2012) “Para poder llevar a cabo el proceso de investigación científica se requiere de un enfoque sistemático y estructurado, en lo que se propician obtener resultados confiables y replicables.”

Con respecto a esto, la presente investigación se suma a los esfuerzos globales por comprender y mitigar los efectos que tienen los sulfatos en el hormigón, pero con un planteamiento regional específico en la Parroquia Simón Bolívar, del cantón Portoviejo.

Este estudio es de carácter cuantitativo, ya que se basa en la recolección de datos específicos. En este contexto, los datos hacen referencia a las muestras de suelo analizadas, su comparación con estudios previos, la validez de las pruebas realizadas en suelos previamente estudiados, la precisión de los procedimientos empleados en los ensayos y la viabilidad de los métodos utilizados para su ejecución.

Se llevó a cabo una investigación experimental mediante 20 sondeos, con la recolección de muestras basadas en un mapa de zonificación. A partir de estas muestras, se realizaron ensayos de laboratorio, los cuales incluyeron análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayo de humedad, realizados por los autores del presente Trabajo de Titulación.

Adicionalmente, se efectuaron los ensayos correspondientes para evaluar la concentración de sulfatos en el suelo, en colaboración con el laboratorio de hidráulica donde se pudieron secar las muestras y fue de gran aporte para obtener los resultados de los ensayos. (se adjunta en los anexos el informe obtenido).

(Grajales, 2000). Menciona que:

“La investigación experimental consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento provocado por el investigador, le permite introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas”.

Una vez realizados los ensayos antes mencionados, se elaboró un mapa de zonificación de los niveles de concentración de sulfato utilizando los softwares antes mencionados con el fin de poder optimizar el procesamiento y análisis de datos obtenidos en esta investigación.

(Grajales, 2000) menciona que “el investigador plantea un problema, pero no sigue un proceso preestablecido con claridad. Sus planteamientos iniciales no son tan delimitados como en el enfoque cuantitativo y las preguntas de investigación no siempre se han conceptualizado ni definido por completo.”

Esto sugiere que los investigadores pueden adoptar un enfoque más flexible y menos estructurado en su proceso de investigación, por lo tanto, es lo que se ha aplicado en el presente Trabajo de Titulación, donde en lugar de seguir una secuencia predeterminada de pasos, se ha adoptado la adaptación de la metodología, lo que facilitó una mayor exploración y descubrimiento a lo largo del estudio.

Vale la pena señalar que este enfoque tiene sus ventajas y desventajas. Por un lado, puede proporcionar mayor flexibilidad y adaptabilidad a medida que se descubren nuevos aspectos del problema de investigación. Por otro lado, es posible que falten claridad y definición en las primeras etapas del proceso.

Análisis del número de los sondeos realizados: Población.

Boiero. (2020) Afirma que:

“En general, todo el mundo tiene una idea que les permite diferenciar gravas, arenas, limos y arcillas. Sin embargo, desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos, términos generales como grava, arena, limo o arcilla, incluyen un amplio rango de características ingenieriles, por lo que se requieren subdivisiones adicionales o modificaciones de esos términos, de manera que sean más útiles en la ingeniería práctica. Esto deriva en la necesidad de un método sistemático para categorizar y clasificar el suelo en base a su comportamiento ingenieril más probable.”

Basados en esta afirmación, es posible identificar las diferentes características del suelo, incluso hay profesionales que reconocen el comportamiento del suelo con solo ver su color o palpar sus características.

Sobre los límites de Atterberg la ASTM, (2020) menciona que “La ASTM D4318 clasifica los suelos de cualquier ubicación geográfica en categorías que representan los resultados de pruebas de laboratorio prescritas para determinar las características del tamaño de las partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad.”

La norma ASTM (2023), al referirse al ensayo de humedad menciona que “la norma ASTM C-D 2216 indica que, para muchos materiales, el contenido de agua es una de las propiedades más significativas utilizada para establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades”

Es por todas estas incógnitas ingenieriles que hay sobre los suelos, que se escogió como población la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo.

Según Grajales, (2000) “Una vez que se ha definido cuál será la unidad de muestreo/análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.”

Tamaño de la muestra.

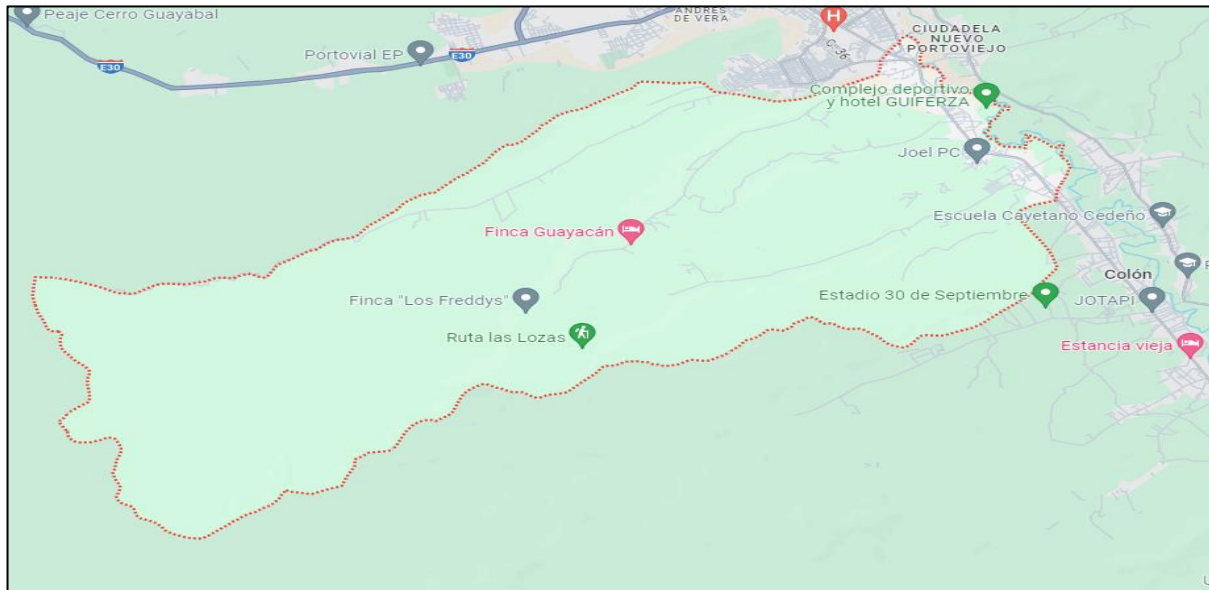
Arias F. G. (2012) indica que el muestreo sistemático “se basa en la selección de un elemento en función de una constante K. De esta manera se escoge un elemento cada k veces.” En esencia, “Un muestreo sistemático es aquel en el que se elige un elemento al azar y, para escoger el resto de la muestra, se utilizan intervalos regulares basados en un valor numérico.” Esto según Rus, (2021).

Sampieri, (2014). Comenta que:

“El muestreo sistemático es útil e implica elegir dentro de una población N un número n de elementos a partir de un intervalo K, el cual se va a determinar por el tamaño de la población y el tamaño de la muestra. De manera que tenemos que $K = N/n$, en donde K = un intervalo de selección sistemática, N = tamaño de la población y n = tamaño de la muestra.”

Basándonos en estas afirmaciones de los distintos autores se procedió a tomar el tamaño de la muestra, se presenta a continuación una imagen de la parroquia Simón Bolívar que es la que se ha escogido para realizar la evaluación de los niveles de sulfatos en los suelos:

Figura 1:
Límites de la parroquia Simón Bolívar.



Nota: Imagen que muestra los límites de la parroquia Simón Bolívar. Tomada en noviembre de 2024.

Fuente: Recuperada de Google Maps.

Tipo de muestreo.

Universidad Internacional de La Rioja, (2021) explica que es el muestreo y las técnicas que este utiliza y las generalidades de todo el conjunto de elementos.

“El muestreo es un conjunto de técnicas estadísticas que implican el análisis y la obtención de conclusiones acerca de un determinado tema de un subgrupo o subconjunto pequeño de elementos (muestra) para extrapolarlas o inferirlas a todo el conjunto de elementos de interés (población). Esto supone que las conclusiones obtenidas de la muestra las consideraremos válidas o aceptables para toda la población, es decir, las generalizaremos a todo el conjunto de elementos.”

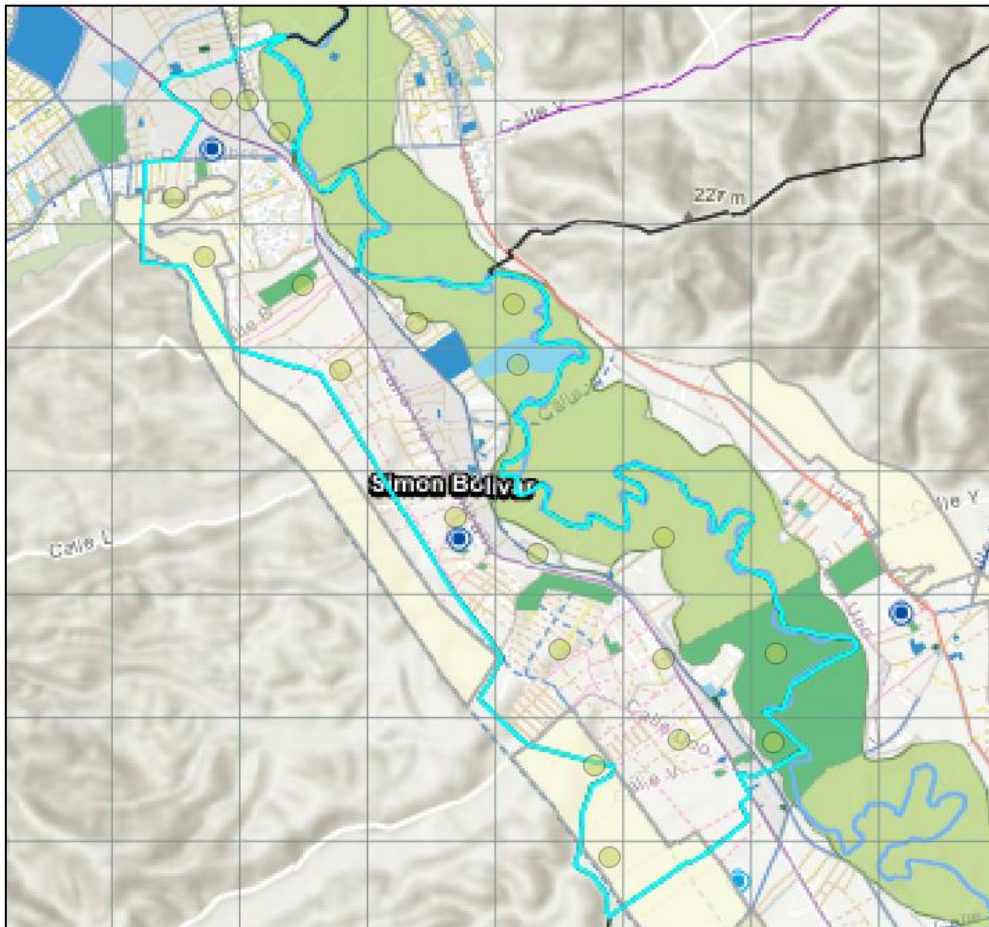
En el presente Trabajo de Titulación se realiza el muestreo sistemático de suelo en 20 puntos de la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo. Georreferenciado debido a la factibilidad de combinar la situación financiera de los investigadores con la precisión que se

puede lograr con el muestreo, en la representación física georreferenciada del terreno identificado en el mosaico ortofotográfico se coloca una cuadrícula de lado igual al salto sistemático.

Las 20 muestras se toman debido al muestreo sistemático explicado por Sampieri, (2014). Estas 20 muestras se derivan de aspectos como el área de nuestra parroquia elegida con respecto al área total de Portoviejo y también el factor geográfico, ya que algunas zonas son de acceso complicado, por ello se efectuó el mallado correspondiente a estos 20 sondeos. Ya que así se toma el mayor número de muestras posibles y se abarca toda la parroquia.

Con respecto a las dimensiones del mallado; se determinó siguiendo los pasos del muestreo sistemático, diviendo el área total de Portoviejo con 967.5 kilómetros cuadrados con el área de la parroquia seleccionada con 423.94 kilómetros cuadrados, dando un resultado de 2.28 km². Entonces, con este resultado de 2.28 km² se le solicita al programa que elabore un mallado con esta área mencionada; una vez realizado el mallado, este se coloca sobre la parroquia de análisis y según la cantidad de celdas que quepan sobre la superficie a analizar se escoge el número de muestras, que en el caso del presente Trabajo de Titulación son 20 celdas y por lo tanto, 20 muestras. Este puede estar sujeto a modificaciones dependiendo de ciertas circunstancias como la geografía del terreno o un acceso restringido.

Figura 2:
Mallado de la parroquia Simón Bolívar.



Nota: Delimitación y mallado de la parroquia Simón Bolívar

Fuente: Elaboración propia con base en mapa proporcionado por programa Q-gis.

Técnicas de investigación.

Según Grajales, (2000) “Las técnicas de recolección de los datos pueden ser múltiples. Por ejemplo, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas, aparatos de precisión”.

En este caso se usó la investigación cuantitativa, ya que el estudio a realizar es por número de muestras.

Protocolo de muestreo.

Se siguen estrictas medidas de control para evitar la contaminación cruzada de las muestras. Cada muestra será identificada con un código único que indique la ubicación exacta, profundidad y fecha de recolección.

Registro geográfico.

Cada punto de muestreo será georreferenciado utilizando GPS para el análisis posterior de los niveles de sulfato en relación con su ubicación geográfica.

Análisis de Laboratorio.

Las muestras serán trasladadas a un laboratorio especializado para el análisis de los niveles de sulfato. Se utilizará el método de gravimetría con precipitación de sulfato como sulfato de bario para cuantificar las concentraciones de sulfato en cada muestra de suelo.

Preparación de las muestras.

Las muestras serán secadas al aire, trituradas y tamizadas correspondientemente siguiendo los estándares de las normas a utilizar para garantizar la homogeneidad antes del análisis.

Determinación de sulfato.

Se sigue el protocolo estándar de determinación de sulfatos. Se disuelve una cantidad conocida de la muestra en agua destilada y se precipita con cloruro de bario. Posteriormente, se filtra, seca y pesa el sulfato de bario precipitado.

Análisis de Datos.

Los datos obtenidos se procesan mediante estadística descriptiva para obtener los valores promedio, desviación estándar y rango de las concentraciones de sulfato en las

diferentes muestras. Además, se realiza un análisis espacial de los datos utilizando un software de SIG (Sistema de Información Geográfica) para identificar posibles patrones de distribución de sulfatos en la parroquia.

Validación de los Resultados.

Se lleva a cabo una validación cruzada de los resultados comparando los niveles de sulfato obtenidos con estudios previos o bases de datos ambientales disponibles. Además, se realiza un análisis de correlación con otros parámetros del suelo, como la clasificación SUSC o el contenido de materia orgánica, para identificar posibles relaciones que afecten la concentración de sulfato.

Materiales.

A continuación, vamos a ver los materiales más destacados usados en la presente tesis:

Cuchara de casa grande: este equipo se usa para determinar el límite líquido y el límite plástico, Gavidia, (2023) comenta que “El límite líquido se expresa como un porcentaje de contenido de humedad que representa la transición entre los estados líquido y plástico del suelo.”

Figura 3:
Cuchara de Casagrande.



Nota: se muestra fotografía tomada en el laboratorio mientras se realizaban los ensayos.

Fuente: Elaboración propia

Tamices: Estos se utilizaron para realizar la clasificación granulométrica del suelo, según COTECNO, (2022) “La granulometría permite estudiar y conocer el tamaño de las partículas y sedimentos presentes en una muestra, y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen.”

Figura 4:
Tamizado de las muestras.



Nota: se muestra fotografía tomada en el laboratorio mientras se realizaban los ensayos.

Fuente: Elaboración propia

Horno: Este se usó para obtener las humedades de las muestras tomadas. “La muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ” esto según Gutiérrez, (2023).

Balanza: Esta se utilizó para llevar un control muy exhaustivo con respecto al peso de las muestras antes y después de haber pasado el proceso de secado, éstas deben tener un 0.01% de porcentaje de error.

Figura 5:
Balanza para el pesado de muestras.



Nota: se muestra fotografía tomada en el laboratorio mientras se realizaban los ensayos.

Fuente: Elaboración propia

Computadores: Estas se usaron para el procesamiento de los resultados obtenidos en los respectivos softwares antes mencionados.

Desecador: Esta herramienta se utilizó para poner las muestras apenas estas hayan salido del horno, y de esta manera no les vuelva a entrar humedad y podamos tener resultados confiables.

Figura 6:
Desecador.



Nota: se muestra fotografía tomada en el laboratorio mientras se realizaban los ensayos.

Fuente: Elaboración propia

Herramientas Varias: Espátulas, contenedores para secado, brochas, contenedores para pesado, palas, fundas plásticas, guantes, cepillos, rejillas.

Figura 7:
Herramientas varias: contenedores de pesado, espátula, calculadora.



Nota: se muestra fotografía tomada en el laboratorio mientras se realizaban los ensayos.

Fuente: Elaboración propia

Resultados

A continuación, veremos la ubicación geoespacial de los sondeos tomados en la Parroquia Simón Bolívar, esta ubicación es crucial en nuestra investigación ya que se puede saber con exactitud donde se tomaron los puntos y así también demostrar que los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorios son precisos.


Tabla 1: *Coordenadas UTM de Muestras de Suelo, Parroquia Simón Bolívar.*

Sondeos de la Parroquia Simón Bolívar.		
Sondeo	Este	Norte
P1	563835.1	9877756.3
P2	562930.2	9880337.4
P3	564159.1	9878323.2
P4	563765.3	9878197.5
P5	564603.1	9878312.0
P6	562394.6	9880517.0
P7	563603.4	9878758.8
P8	564089.3	9878714.1
P9	564089.3	9879300.6
P10	563497.3	9879222.4
P11	563111.9	9879395.5
P12	561933.5	9880657.7
P13	562843.8	9879769.7
P14	562570.1	9880104.8
P15	563385.6	9880428.7
P16	563407.7	9880131.2
P17	561791.7	9880943.3
P18	562286.7	9881254.6
P19	564615.1	9878741.6
P20	562009.1	9881417.1

Figura 8:
Sondeos en la parroquia Simón Bolívar.



Nota: Puntos de sondeo en la parroquia Simón Bolívar

*  Este símbolo muestra cada uno de los puntos tomados.

Fuente: Elaboración propia con base en mapa del programa Q-gis.

En la figura anterior se observan los sondeos realizados en la parroquia, estos como ya se menciona, tienen profundidades de hasta 1.50 metros y están georreferenciados, entonces podemos estar seguros de que están en el punto geográfico correcto.

Este mapa también nos será de gran utilidad al momento de interpretar los resultados, a continuación, veremos los resultados obtenidos de los niveles de sulfatos en cada punto.

Tabla 2:
Porcentaje de Sulfatos

Puntos de sondeo	Porcentaje (%)	Puntos de sondeo	Porcentaje (%)
P1	0,319	P11	3,34
P2	0,158	P12	0,268
P3	0,152	P13	3,27
P4	0,046	P14	0,215
P5	0,37	P15	0,367
P6	0,084	P16	0,051
P7	0,17	P17	0,323
P8	0,69	P18	3,39
P9	0,159	P19	0,22
P10	0,18	P20	0,048

Fuente: Elaboración Propia.

Características geotécnicas del suelo en la parroquia.

A continuación, veremos los resultados de las propiedades geotécnicas del suelo, fundamentado en el sistema SUCS y basados por la normativa ASTM D2487-17.

Esta evaluación se llevó a cabo en 20 puntos específicos de la parroquia Simón Bolívar, en el cantón Portoviejo, y revela características fundamentales para anticipar comportamientos del suelo ante distintas condiciones y cargas.

Arcillas de baja compresibilidad inorgánica (CL): Se encontraron 2 muestras con este tipo de suelo, las cuales fueron el sondeo 4 y el sondeo 20, este tipo de suelos tiene una característica muy peculiar ante los cambios de humedad y cargas que pueden recibir, por ello estos suelos deben tener un tratamiento previo.

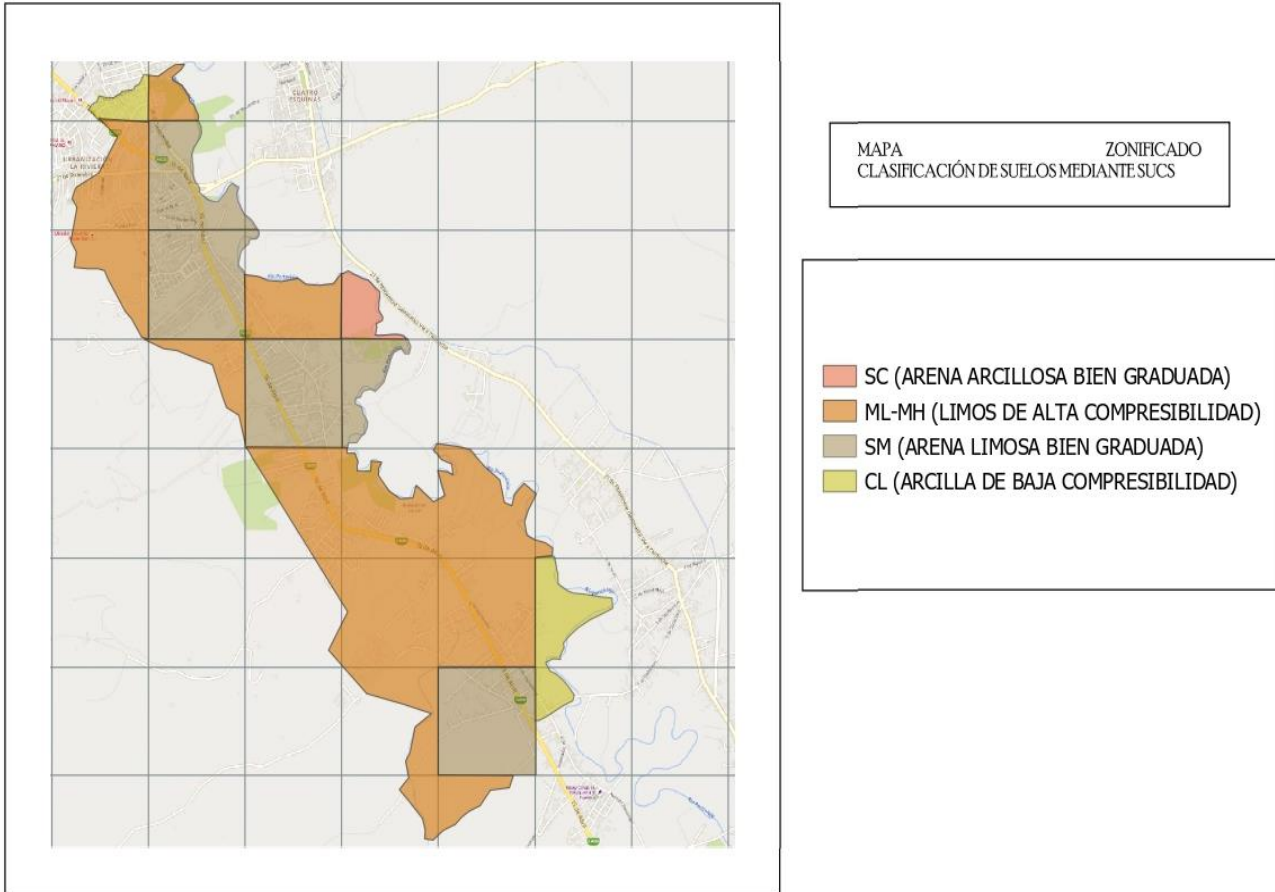
Limos de alta compresibilidad inorgánicos (MH y ML): Dentro de esta categoría se encuentran la mayoría de los sondeos tomados, siendo los sondeos: 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 16, 18. 19. Estos suelos a diferencia de las arcillas tienen menos cohesión, pero sus propiedades pueden ser variadas dependiendo del nivel de humedad que estos puedan tener.

Arena limosa bien graduada (SM): Este tipo de suelo está presente en 5 de los sondeos tomados, los cuales son: 2, 11, 12, 15, 17. Está en una mezcla entre limos y arena, esta última debe ser previamente tratada dependiendo del propósito (uso) que esta vaya a tener.

Arenas arcillosas bien graduadas (SC): Este suelo está presente en uno de los sondeos tomados, el cuál es el número 13. Este suelo tiene la característica de ser bien graduado y tener unas características mecánicas relativamente buenas.

Se presenta a continuación el mapa zonificado, donde se identifica cada tipo de suelo en la parroquia:

Figura 9:
Clasificación del suelo mediante SUCS.



Nota: Mapa Zonificado de los distintos tipos de suelo de la Parroquia Simón Bolívar

Fuente: Elaboración Propia con base en el programa Q-gis.

Concentración de sulfatos.

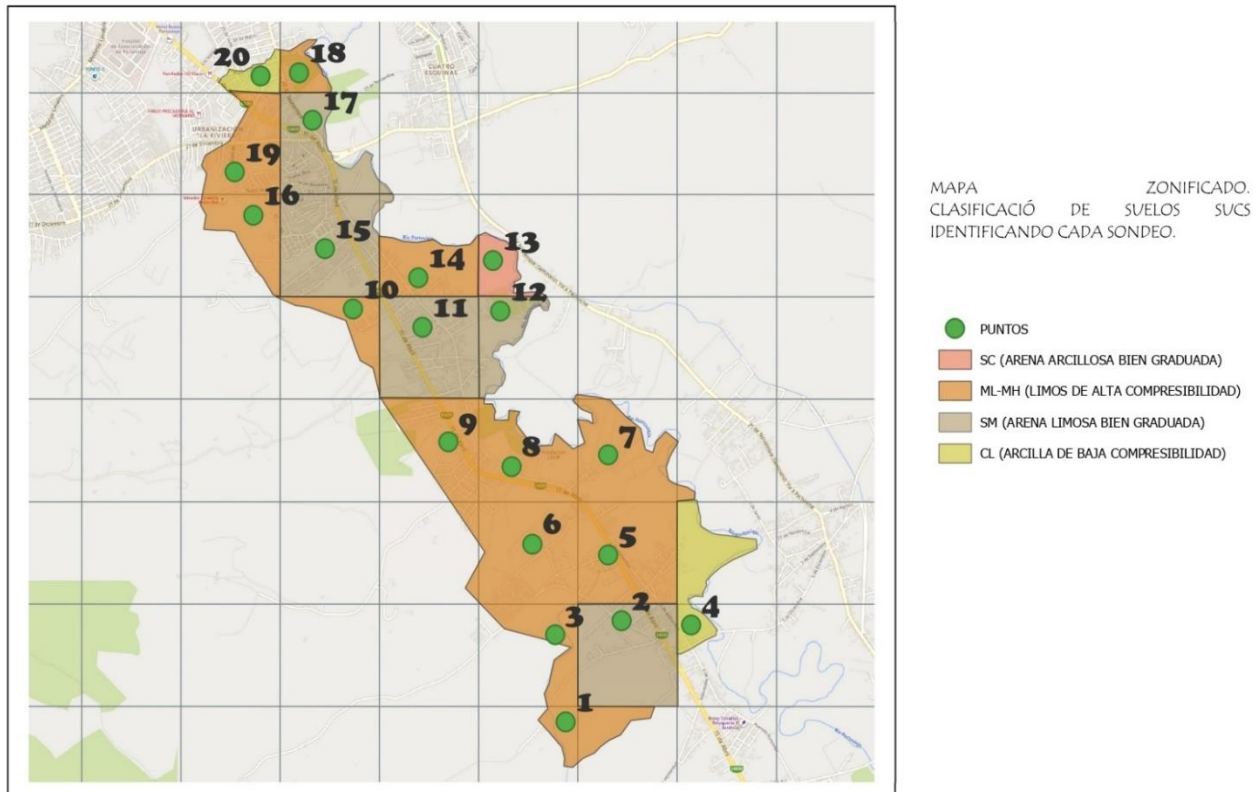
En esta parte se puede observar la concentración de sulfatos en cada sondeo tomado en la parroquia Simón Bolívar, este es el objetivo principal de la investigación ya que así se puede conocer la concentración de sulfatos en dicha parroquia y de esta manera saber cómo lidiar ante esta situación, más aún cuando estamos hablando de estructuras que tienen como

material principal de su estructura el hormigón, el cual puede llegar a sufrir bastante daño si se ve expuesto a estos sulfatos, estos daños pueden desembocar en una “degradación por expansión y fisuración, una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento” Londoño, (2022).

Hay algunos tipos de sulfatos que se concentran en la superficie del concreto, lo que aumenta el riesgo de daño. ASOCRETO, (2021) menciona que “Existen diferentes tipos de sulfatos como los de sodio, potasio, calcio y magnesio todos encontrados en estado sólido, líquido y gaseoso”, dicho esto, se encuentra que el tipo de sulfato que más podría afectar al hormigón según esta revisión es el calcio, ya que al momento de hidratarse este provoca un cambio de volumen en la pasta de cemento y por lo tanto hace que la estructura pierda resistencia.

El daño se manifiesta a través de un aumento en el volumen sólido, expansiones, fisuras, ablandamientos y una notable disminución de la resistencia, debido a la pérdida de cohesión del cemento. Se presenta a continuación los distintos niveles de contenido de sulfatos, especificando cuáles de las muestras obtuvieron estos distintos resultados:

Figura 10:
Clasificación de suelo mediante SUCS, Identificando cada punto tomado.



Nota: Mapa Zonificado de los distintos tipos de suelo de la Parroquia Simón Bolívar identificando cada sondeo.

Fuente: Elaboración Propia con base en el programa Q-gis.

Moderada (S1): Esta categoría de sulfatos abarca las muestras número 4, 6, 16, 20.

Estas muestras cuentan con un porcentaje de sulfato que ronda entre 0.046 y 0.084. A pesar de ser considerada una estimación baja, es necesario llevar ciertos cuidados si vamos a construir en estas zonas antes mencionadas.

Severa (S2): Las muestras que están dentro de este rango son 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 19. El porcentaje por el cual oscilan estas muestras es entre 0.152 y 0.69. Ya en este rango es necesario considerar una protección focalizada para el hormigón a usarse.

Muy Severa (S3): En este caso, solo tres de las muestras presentan una gran cantidad de sulfatos, estas son las muestras 11, 13 y 18. El rango de estas oscilan entre 3.27 y 3.39.

Para este nivel de contaminación de sulfatos ya es necesario tomar medidas de prevención especializadas para que el hormigón a usarse llegue a su resistencia máxima sin irregularidades. En la siguiente tabla podremos evidenciar de mejor manera los niveles de sulfatos en porcentaje y en ppm (partes por millón) que hay en cada zona de la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo. Esta tabla ha sido elaborada siguiendo el estándar de la norma “ASTM C-1589”

Tabla 3:
Niveles de sulfato en la parroquia Simón Bolívar.

Muestras	Este	Norte	% de SO4	ppm o mg/kg
P1	563835.1	9877756.3	0,319	3190,0
P2	54456.4	9877745.1	0,158	1580,0
P3	564159.1	9878323.2	0,152	1520,0
P4	563765.3	9878197.5	0,046	460,0
P5	564603.1	9878312.0	0,370	3700,0
P6	564189.8	9878742.1	0,084	840,0
P7	563603.4	9878758.8	0,170	1700,0
P8	564089.3	9878714.1	0,690	6900,0
P9	564089.3	9879300.6	0,159	1590,0
P10	563497.3	9879222.4	0,180	1800,0
P11	563111.9	9879395.5	3,340	33400,0
P12	56335.2	9879764.1	0,268	2680,0
P13	562843.8	9879769.7	3,270	32700,0
P14	562570.1	9880104.8	0,215	2150,0
P15	563385.6	9880428.7	0,367	3670,0
P16	562804.7	9889350.5	0,051	510,0
P17	561933.5	9880657.7	0,323	3230,0
P18	562286.7	9881254.6	3,390	33900,0
P19	541999.1	9881292.1	0,220	2200,0
P20	562009.1	9881417.1	0,048	480,0

Fuente: Elaboración Propia

Como ya se conocen los niveles de sulfatos, a continuación, se observa una tabla detallada del nivel de “riesgo” que presentan los niveles de sulfatos y como estos se relacionan con el tipo de suelo que hay en la parroquia Simón Bolívar.

Tabla 4:
Tipo de riesgo según los niveles de sulfatos.

Sondeo	Concentración de sulfatos mg/kg (ppm)	Tipo de suelo (SUCS)	Riesgo	Clase (NEC)
P 1	3190	ML	MODERADO	S2
P 2	1580	SM	MODERADO	S2
P 3	1520	MH	MODERADO	S2
P 4	460	CL	BAJO	S1
P 5	3700	ML	MODERADO	S2
P 6	840	ML	BAJO	S1
P 7	1700	ML	MODERADO	S2
P 8	6900	ML	MODERADO	S2
P 9	1590	MH	MODERADO	S2
P 10	1800	ML	MODERADO	S2
P 11	33400	SM	SEVERO	S3
P 12	2680	SM	MODERADO	S2
P 13	32700	SC	SEVERO	S3
P 14	2150	ML	MODERADO	S2
P 15	3670	SM	MODERADO	S2
P 16	510	SM	BAJO	S1
P 17	3230	SP/SM	MODERADO	S2
P 18	33900	ML	SEVERO	S3
P 19	2200	MH	MODERADO	S2
P 20	480	CL	BAJO	S1

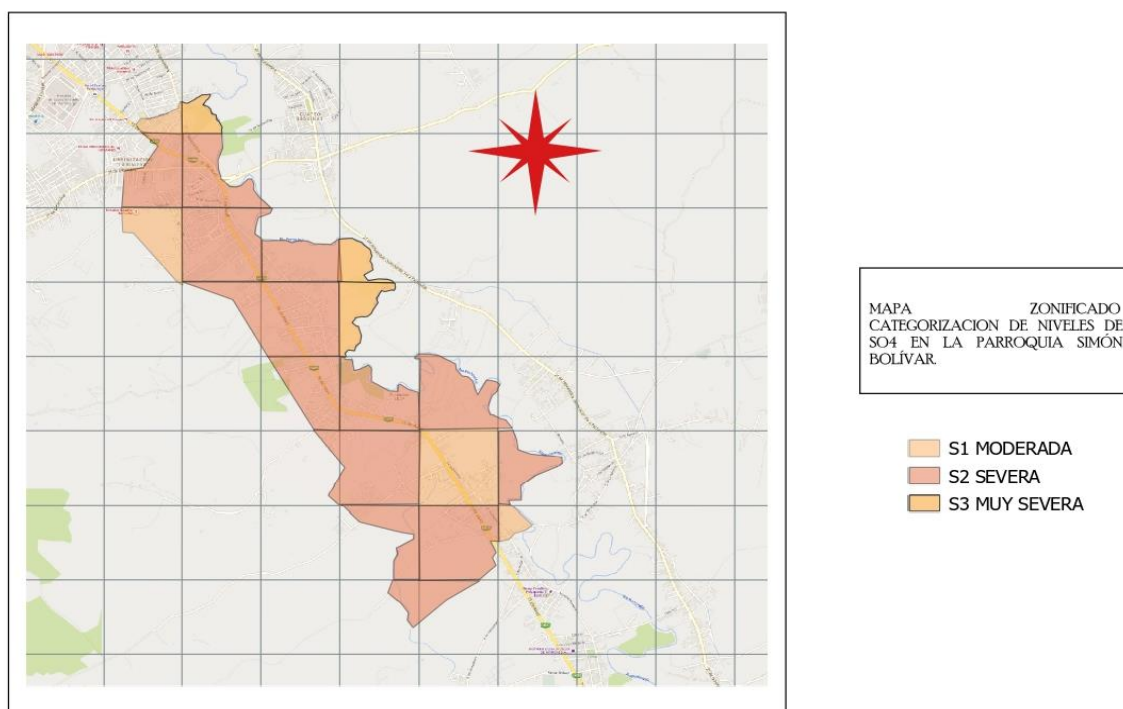
Fuente: Elaboración Propia.

Para establecer la clase de niveles de sulfatos tenemos la siguiente tabla extraída de la NEC, (2014).

Tabla 5:
Categorías y Clase de Exposición.

Categoría.	Severidad.	Clase.	Condiciones. (Rango de SO₄).	
	No aplica	S0	0	150
	Moderada	S1	150	1500
Sulfatos.	Severa	S2	1500	10000
	Muy severa	S3	10000	>10000

Figura 11:
Categorización de los niveles de SO₄ en la Parroquia Simón Bolívar.



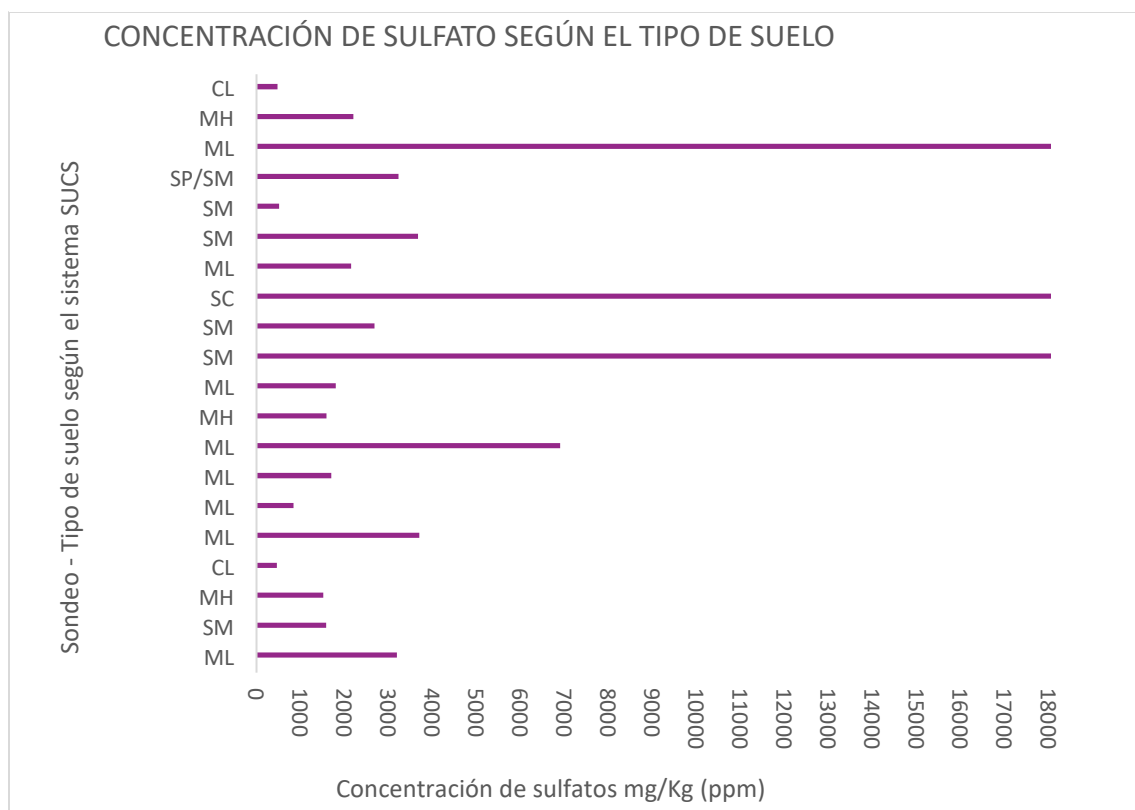
Fuente: Elaboración propia con base en el programa Q-gis

Conociendo estos niveles de riesgo, a continuación, se mostrará un mapa zonificado de la parroquia Simón Bolívar para poder identificar de manera geográficamente menos compleja, la clase de severidad que hay en cada punto de la parroquia.

Una vez que se conoce porqué los sulfatos se clasifican de esta manera, vemos la cantidad de sulfatos que hay en cada tipo de suelo de la parroquia Simón Bolívar. En la siguiente ilustración se observa cómo el tipo de suelo está relacionado con los niveles de sulfatos respectivamente.

Figura 12:

Concentración de sulfatos según el tipo de suelo.

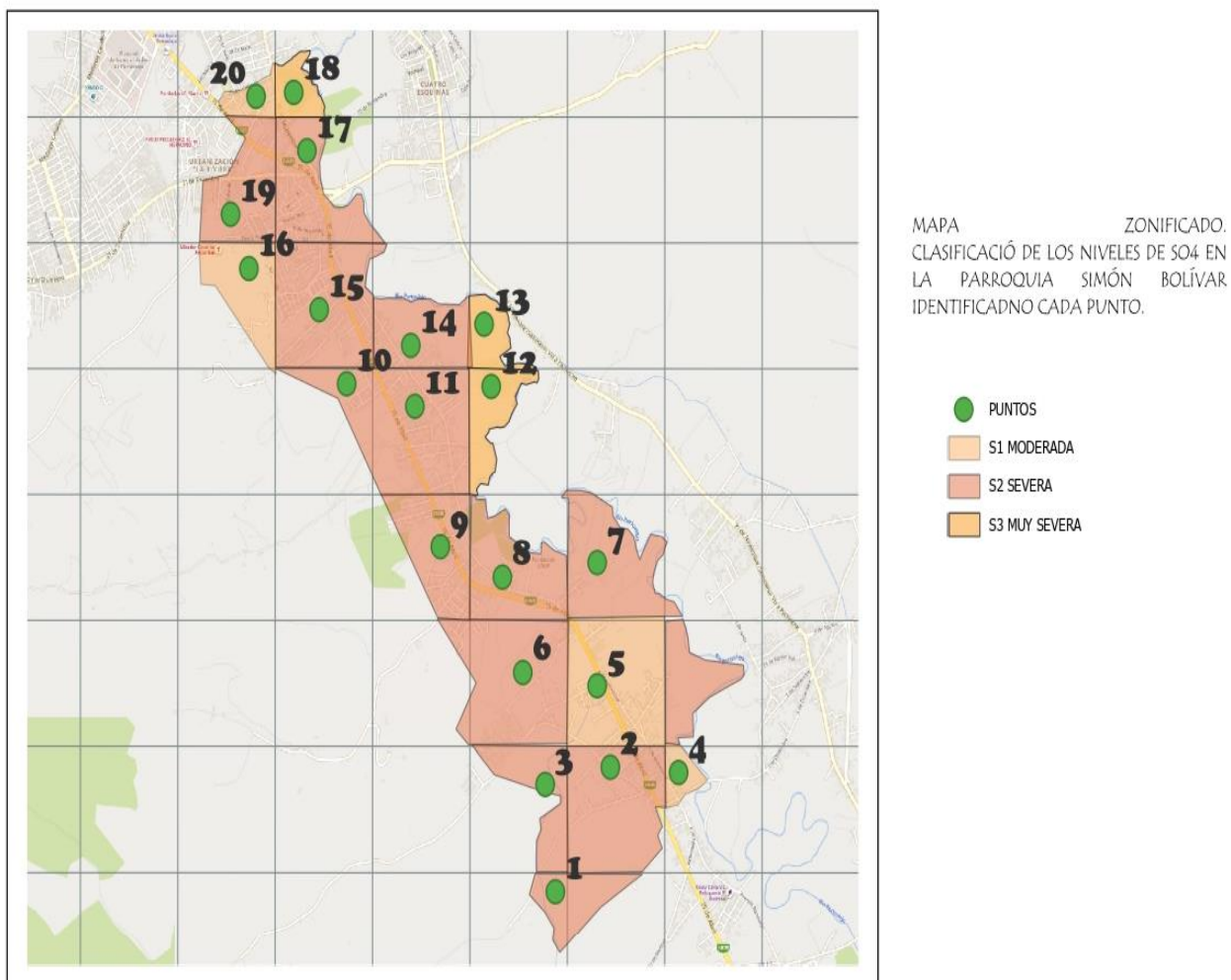


Nota: Gráfico de barras que interpola el tipo de suelo con el nivel de sulfato correspondiente obtenido.

Fuente: Elaboración Propia en programa Q-gis.

Figura 13:

Mapa zonificado de los niveles de SO₄ en la Parroquia Simón Bolívar identificado cada punto tomado.



Nota: Mapa Zonificado de los distintos niveles de SO₄ de la Parroquia Simón Bolívar identificando cada sondeo.

Fuente: Elaboración Propia con base en el programa Q-gis

Discusión

Tomando en cuenta que la parroquia Simón Bolívar se analizó de manera química, por los niveles de sulfatos analizados y de manera geotécnica por los ensayos realizados a los suelos de esta, se aprecia que esta exhibe una interacción bastante compleja entre suelo y sulfato.

Es muy importante realizar bien la clasificación del suelo, ya que “Un error de clasificación en laboratorio puede traer consecuencias graves en la predicción del comportamiento de la estructura una vez construida.” Esto según Hernández (2016).

Los limos de alta compresibilidad (MH – ML) o las arenas limosas (SM), que en el caso de esta investigación fueron los tipos de suelos que se encontraron con mayor frecuencia, presentan una gran variación con respecto a los niveles de sulfatos encontrados en estos sondeos, esto nos da la idea de que no son factores propios del suelo los que generan estos cambios bruscos en los niveles de sulfatos.

Algunos de estos factores externos, según Kogut (2024) pueden ser “fertilizantes sintéticos y los pesticidas, y disminuye la nutrición de las plantas: afecta a la cantidad de microbios beneficiosos y al contenido de humus, y cambia el pH del suelo”.

Esta influencia es evidente en 3 de las muestras, una de ellas fue tomada muy cerca de la rivera del río Portoviejo, y las otras 2 fueron tomadas en lugares donde habían zonas de sembrío (maíz, plátano, cacao). Estas zonas con sus muchos cambios químicos y aun más en la zona de sembríos modifican la saturación del suelo, es por ellos que la concentración de sulfatos puede variar tanto.

En un estudio realizado por Castro et. al (2009), sobre la cantidad de sulfatos en agua subterránea, esta está ligada principalmente a la idea de que los fertilizantes son los principales causantes de las alteraciones químicas de un determinado suelo.

Según Kunak, (2024) “con la escorrentía y lixiviación de los suelos agrícolas, el nitrógeno se incorpora, como nitritos, nitratos y sulfatos, a las aguas subterráneas, masas de agua continentales como lagos y charcas, así como a los océanos”

Además, en el que uno de los puntos (P18) se haya encontrado nivel freático agrega un nivel más complejo a la situación, abarcando niveles de sulfatos desde Moderada (S1) hasta Muy Severa (S3). Desde el punto de vista de la geotécnica, es importante resaltar el impacto que los sulfatos pueden llegar a tener sobre las estructuras de hormigón, los cuales van desde fisuras, hasta reducir medianamente su resistencia, estos en los puntos de mayor concentración (P11, P13, P18), entonces en esta zona donde en algún caso se vaya a interactuar sulfato/concreto, sabemos que tendremos efectos adversos, esto lo corrobora Camacho et. al (2013), los cuales comentan al respecto de los sulfatos: “su agresividad se basa en la degradación de la matriz cementicia modificando las características iniciales de diseño.”

Figura 14:
Acero corroído por sulfatos en la parroquia Simón Bolívar.



Nota: En la figura se aprecia una columna de cerramiento de estructura de hormigón armado de una vivienda de la parroquia Simón Bolívar.

Fuente: Elanoración propia.

También, se debe tomar en cuenta la clasificación SUCS al momento de realizar construcciones de hormigón. Es crucial tomar medidas constructivas especiales en ciertos casos de tipos de suelos, combinados con la alta concentración de sulfatos, se prioriza un diseño estructural específico para este tipo de suelos y este tipo de concentraciones químicas, teniendo así que tomar en cuenta algunos detalles de manera rigurosa, tales como el tipo de material a usarse, esto último lo recomienda (Osorio, 2024).

Tomando en cuenta los resultados de la presente investigación, es necesario tomar en cuenta que, se deben realizar algunos estudios adicionales en las riveras del río Portoviejo, y en las zonas donde se encuentran los sembríos. Al realizar estos ensayos se podría saber de mejor manera como estos factores pueden alterar las concentraciones de sulfatos en el suelo. Estos aspectos a su vez, pueden influir en futuras construcciones y así tener un conocimiento previo sobre el suelo en el cual se desea construir.

Conclusiones.

Dándole respuesta al primer objetivo específico: Caracterizar el suelo mediante el sistema SUCS, conforme a la norma ASTM C-2487.

Se concluye que en la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo existen varios tipos de suelo conforme al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), una vez tomados los 20 puntos donde de los cuales se realizaron los ensayos, destacan 12 limos de alta compresibilidad inorgánicos (MH/ML), 7 arenas limosas bien graduadas (SM), 2 arcillas de baja compresibilidad inorgánica (CL) y 1 arena arcillosa bien graduada (SC).

Estos suelos son de alta compresibilidad por lo que algunos sitios de la parroquia están sometidos a cambios de volumen cuando se aplica una carga. Estos factores geológicos nos obligan a considerar ciertas características como la compresibilidad, estabilidad, potencial de expansión y las características químicas al momento de realizar alguna determinada construcción en la parroquia antes mencionada.

Dando respuesta al objetivo general y al segundo objetivo específico del presente Trabajo de Titulación que mencionan sobre el estudio de niveles de sulfatos en la parroquia lo siguiente:

Objetivo general: Determinar los niveles de sulfato en el suelo de la parroquia Simón Bolívar del cantón Portoviejo.

Objetivo específico 2: Determinar los niveles de sulfato del suelo según la norma ASTM C-1589.

Se concluye que, los análisis realizados para saber los niveles de sulfatos (SO_4) se reparten en 3 facciones: Moderada (S1) la cual esta presenta en 4 de los sondeos realizados, Severa (S2)

la cual consta de la mayor parte de la parroquia con 13 sondeos dentro de esta facción y por último Muy Severa (S3), la cual consta de 3 sondeos de los 20 que se realizaron en total.

La presencia de estos sulfatos está relacionada a algunos factores, como se mencionó anteriormente, el río Portoviejo y las zonas con sembríos tienen un nivel freático alto (es decir, que se encuentra un nivel freático desde 0.9 m de profundidad medida desde el suelo), en este caso es en el sondeo (P18) y la capacidad de ciertos suelos de la zona para retener agua.

También se observó superficialmente como los sulfatos afectaban ciertas construcciones de hormigón (corrosión de aceros, desgaste superficial), esto nos da a entender que la exposición a ciertas concentraciones de sulfatos está relacionada de manera directa con un deterioro mucho mayor de los elementos superficiales del hormigón.

Dándole respuesta al tercer objetivo específico que indica: Establecer un mapa de zonificación de los niveles de sulfato en la parroquia Simón Bolívar.

Se concluye que, se logró generar mapas de zonificación, identificando las diferentes zonas donde se encuentra la concentración de sulfatos, y posteriormente se detectó las zonas donde se encuentra la mayor concentración de sulfatos de la parroquia. Esto lo podemos evidenciar en las figuras [11](#) y [13](#).

Recomendaciones.

Algunas recomendaciones que podemos tomar en cuenta para futuras construcciones en la parroquia Simón Bolívar, para el nivel freático elevado (es decir, que se encuentra un nivel freático desde 0.9 m de profundidad medida desde el suelo) obtenido en uno de los puntos, se deben tomar medidas de construcción que disminuyan la infiltración de agua en las estructuras, esto se realiza principalmente para evitar la exposición del hormigón a usarse con las concentraciones de sulfatos y así poder aumentar su durabilidad.

En caso de que se vaya a realizar un proyecto de construcción en áreas con concentraciones de sulfatos de categoría (S3), es de mucha importancia seleccionar materiales de construcción resistentes a la exposición química, específicamente los cementos tipo HS (High Sulfate Resistance- Alta Resistencia a los sulfatos) ya que estos están diseñados especialmente para resistir la exposición a cierta cantidad de sulfatos.

También es de vital importancia capacitar a los constructores en la identificación de estos sulfatos, ya sea en mapas de zonificación o en tablas de resultados (ambas mostradas en la presente investigación). Esto permitirá tomar mejores decisiones durante el proceso de diseño, la ejecución y construcción de ciertos proyectos mejorando así la seguridad y resistencia de las construcciones.

Por último, es importante tener en cuenta que se pueden seguir realizando otro tipo de investigaciones para complementar el presente trabajo de titulación tales como la capacidad de soporte, licuación, socavación, entre muchas otras, dependiendo de la necesidad requerida.

Como recomendación a futuras investigaciones, se sugiere que el presente Trabajo de Titulación pueda ser utilizado para hacer ensayos similares y obtener los niveles de sulfatos de las distintas parroquias de un cantón, se sugiere también que pueda ser del cantón

Portoviejo para que sumando investigaciones quizás se llegue a una evaluación donde consten gran parte de las parroquias de la ciudad.

Referencias bibliográficas

- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Em F. G. Arias. Caracas: EDITORIAL EPISTEME, C.A.
- ASOCRETO. (25 de 03 de 2021). *360 en concreto*. 360 en concreto:
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/5-acciones-quimicas-que-deterioran-el-concreto/>
- ASTM. (02 de 04 de 2020). *ASTM*. ASTM: <https://www.astm.org/d2487-17.html>
- ASTM. (14 de 02 de 2023). *ASTM*. ASTM: https://www.astm.org/c1589_c1589m-18.html
- Boiero, A. (2020). *GEO*. GEO: <https://geo-webonline.com/sistema-unificado-de-clasificacion-del-suelo/>
- Camacho, B., Abdelkader, M., Pozo, R., & Terrades, M. (12 de 11 de 2013). *Scielo*. Scielo: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000200002
- Castro, G., Medina, P., & Peraza, C. (2009). *Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán*. Redalyc. <https://doi.org/1665-529X>
- COTECNO. (14 de 11 de 2022). *COTECNO*. COTECNO:
<https://www.cotecno.cl/granulometria-analisis-granulometrico-suelos/>
- Gavidia, A. (21 de 06 de 2023). *ingeotecnia*. ingeotecnia: <https://ingeotecnia.com/quien-soy>
- Goma, F. (08 de 2015). *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas:
<https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/981/1038/1136#:~:text=En%20la%20actualidad%20la%20instrucci%C3%B3n,finos%20y%20en%20los%20gruesos.>

Grajales, T. (27 de 03 de 2000). *Tipos de Investigación*.

<https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>

Gutiérrez, W. (01 de 03 de 2023). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. Ciencia

Latina Revista Científica Multidisciplinar:

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5834/8838#:~:text=PREPAR>

[ACI%C3%93N%20DE%20LA%20MUESTRA&text=Seque%20la%20muestra%20o](https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5834/8838#:~:text=PREPAR)

[btenida%20hasta,60%20%C2%B1%205%C2%B0C.](https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5834/8838#:~:text=PREPAR)

Hernández, J. (26 de 04 de 2016). *Todo Civil*. Todo Civil: <https://todocivil.com/2016/la->

[importancia-en-la-clasificacion-del-suelo-de-acuerdo-a-su-granulometria/](https://todocivil.com/2016/la-)

Kogut, P. (02 de 02 de 2024). *EOS DATA ANALYTICS*. EOS DATA ANALYTICS:

<https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>

Londoño, E. (12 de 07 de 2022). *360 en concreto*. 360 en concreto:

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el->

[concreto/#:~:text=Las%20consecuencias%20del%20ataque%20de,las%20part%C3%](https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-)

[ADculas%20de%20los%20agregados.](https://360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-)

NEC. (2014). *Estructuras de Hormigón Armado*. CAMICON. <https://doi.org/NEC - SE - HM>

Osorio, J. (04 de 01 de 2024). *360 en concreto*. 360 en concreto:

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y->

[compresion/](https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-)

Retos. (4 de Septiembre de 2023). *Bussines School Barcelona*. Bussines School Barcelona:

<https://retos-operaciones-logistica.eae.es/metodologia-de-un-proyecto-todo-lo-que->

[debes-tener-en-cuenta/](https://retos-operaciones-logistica.eae.es/metodologia-de-un-proyecto-todo-lo-que-)

Rus, E. (01 de 01 de 2021). *economipedia*. economipedia:

<https://economipedia.com/definiciones/muestreo-sistematico.html>

Sampieri, R. H. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico: McGRAW-

HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Smith, J. (2015). Impact of Sulfates on Groundwater Quality . *Environmental Chemistry*,

22(4), 312-315.

Stsepanets, A. (26 de Septiembre de 2022). *GANTTPRO*. GANTTPRO:

<https://blog.ganttpro.com/es/metodologia-proyecto/>

Universidad Internacional de La Rioja. (09 de 06 de 2021). *UNIR*. UNIR:

<https://www.unir.net/ingenieria/revista/tipos-de-muestreo/>

ANEXOS.

Anexo 1

Extracción de muestras tomadas en campo -Parroquia Simón Bolívar/Portoviejo



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)



k)



l)



m)



n)



o)



p)



q)



r)



d)



e)



f)