



**Evaluación de los Efectos del Evento ENOS en la
Probabilidad de Caída de Ceniza del Volcán Guagua
Pichincha en el Centro Historico de Quito, 2024**

Daniel Alexander Ruano Vargas

Ruano, D. (2024).

Evaluación de los efectos del ENOS en la probabilidad de caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha en el Centro Histórico de Quito, 20224.

Universidad Indoamérica - Quito



**Universidad
Indoamérica**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE ARQUITECTURA**

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL EVENTO ENOS EN LA PROBABILIDAD
DE CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA EN EL CENTRO
HISTÓRICO DE QUITO 2024**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Arquitecto

Autor(a)

Ruano Vargas Daniel Alexander

Tutor(a)

Ing. Jorge Ponce Tamayo

**QUITO - ECUADOR
2024**

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, RUANO VARGAS DANIEL ALEXANDER, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL EVENTO ENOS EN LA PROBABILIDAD DE CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO 2024”. como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorico al sistema de Biblioteca de la Universidad Tecnológica Indoamerica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deba firmar convenios especificos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Quito, a los 29 días del mes de Enero de 2024, firmo conforme:

.....
RUANO VARGAS DANIEL ALEXANDER
C.I. 1717708943
Dirección: Transito Amaguaña y el Tambo
Correo: ruanovargas@outlook.es

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Arquitecto, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 29 de enero de 2024

.....
RUANO VARGAS DANIEL ALEXANDER
C.I. 1717708943

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL EVENTO ENOS EN LA PROBABILIDAD DE CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO 2024” presentado por RUANO VARGAS DANIEL ALEXANDER para optar por el título de Arquitecto., CERTIFICO Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 29 de enero de 2024

.....
PONCE TAMAYO JORGE
C.I. 1757008436

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado sobre el Tema: EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL EVENTO ENOS EN LA PROBABILIDAD DE CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA EN EL CENTRO HISTORICO DE QUITO 2024, previo a la obtención del Título de Arquitecto, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de integración curricular.

Quito, 29 de enero de 2024



Firmado electrónicamente por:
RAUL MARCELO
VILLACIS ORMAZA

.....
VILLACIS ORMAZA RAÚL MARCELO
C.I. 1312200106

.....
PASCUAL WONG TERESA ELENA
C.I. 1756830442

DEDICATORIA

A mis amados padres, cuyo inquebrantable apoyo y amor infinito han sido la fuerza impulsora detrás de cada logro en mi vida. A mi increíble novia, compañera de sueños y fuente constante de inspiración. A mis adorables sobrinos, cuya alegría y energía contagiosa iluminan mi mundo. Y a mi querida hermana, compañera de travesías y confidente fiel. Este logro es el resultado de su amor, aliento y comprensión. A todos ustedes, mi gratitud eterna.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi tutor principal, Ing. Jorge Ponce, cuya guía experta y apoyo constante fueron fundamentales para el éxito de esta investigación. Agradezco profundamente a los arquitectos e ingenieros que compartieron su valioso conocimiento y experiencia, enriqueciendo este trabajo con perspectivas únicas. Mi reconocimiento especial se extiende a la Universidad Indoamerica por brindarme el entorno académico propicio para el desarrollo de este proyecto. Este logro es el resultado del esfuerzo colectivo y apoyo incondicional de cada uno de ustedes.

RESUMEN EJECUTIVO

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL EVENTO ENOS EN LA PROBABILIDAD DE CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO 2024

La investigación llevada a cabo aborda temas sobre simulaciones ejecutadas de manera aleatoria en un rango establecido de los eventos naturales como la caída de ceniza volcánica y conjuntamente asociados a los perfiles de viento en la temporalidad del fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), los cuales puede causar un gran impacto en áreas de infraestructuras edificatorias y patrimoniales. Por medio de una exploración bibliográfica, la investigación tiene por objetivo principal poder establecer la probabilidad de caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha en la zona de amortiguamiento del Centro Histórico de Quito. El desarrollo se basará en la recopilación de documentos académicos para obtener el VEI (Índice de Explosividad Volcánica) del volcán Guagua Pichincha y servicios meteorológicos como el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sintetizando los períodos en el cual se suscitó el evento ENOS en la temporalidad de Niño, Niña y Neutro, por consecuencia se realiza una serie de situaciones eventuales hipotéticas las cuales arrojen resultados de los posibles lugares más afectados mediante la ejecución del software Ash 3D, como resultado se realizó varios mapas ráster y vectorial con los cuales conseguimos condensar los índices probabilísticos de las áreas de estudio. Conforme con el estudio final del análisis estadístico realizado con la ayuda de programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), se logró demostrar la existencia de diferencias significativas en la probabilidad de caída de ceniza que sobrepasa el umbral de 62.5mm en las diferentes condiciones del evento ENOS, en concordancia se elaboran mapas de espesor de ceniza por cada evento en el área del Centro Histórico de Quito en un 95% de probabilidad.

DESCRIPTORES: Ceniza volcánica, centro histórico, ENOS, simulaciones.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF THE ENSO EVENT ON THE PROBABILITY OF ASH FALL FROM GUAGUA PICHINCHA VOLCANO IN THE HISTORIC CENTER OF QUITO 2024

The research carried out approaches topics regarding randomly executed simulations in an established range of natural events such as volcanic ash falls and jointly associated with wind outlines onto the period defined for the ENSO (El Niño-South Oscillation) phenomenon, which may cause great impact on building and heritage infrastructure. Through bibliographic browsing, this research's main goal is to establish the likelihood of Guagua Pichincha's volcanic ash falling onto the Quito Historic Centre's buffer analysis. The development will base on academic document collection to obtain Guagua Pichincha's VEI (Volcanic Explosivity Index) and meteorological services such as NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) summarizing the periods in which the event ENSO went down on the period defined for Niño, Niña, and Neutral; therefore, a series of hypothetical possible events are brought forward which are expected to show results of places more likely to be affected through the execution of Ash 3D software. As a result, several raster and vector maps were developed which allowed the research to condense probabilistic indices of the fields of study. According to the final study of the statistical analysis done with the assistance of the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) program, the existence of significant differences in the probability of ash fall that surpasses the 62.5mm threshold in variant conditions of the ENSO event were proven, thereby, ash thickness maps were elaborated for each event on the Quito Historic Centre with a 95% chance

KEYWORDS: ENSO, historic center, volcanic ash, simulations,

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total, publicación electrónica del trabajo de titulación	4
Declaración de autenticidad	5
Aprobación del tutor	5
Aprobación tribunal	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.	7
Resumen ejecutivo	8
Evaluación de los efectos del evento enos en la probabilidad de caída de ceniza del volcán guagua pichincha en el centro histórico de quito 2024.	8
Abstract	9
Assessment of the effects of the enso event on the probability of ash fall from guagua pichincha volcano in the historic center of quito 2024	9
ETAPA 1. Conocimiento previo	18
1. Conocimiento previo	20
1.1 Introducción	20
1.2 Objetivos	23
1.2.1. Objetivo general	23
1.2.2. Objetivos específicos	23
ETAPA 2. Aplicación metodológica.	25
2. Fundamentación Teórica	27
2.1 Estado del Arte/Estado de la Cuestión	28
2.2 Marco Conceptual.	29
2.2.1. Peligro Volcánico.	29
2.2.1.1. Los Volcanes	30
2.2.1.2. Placas Tectónicas	32

2.2.1.3.	Tipos de Erupciones	32
2.2.1.4.	Erupciones Plinianas (Subplinianas y Ultraplínianas)	33
2.2.1.5.	Índice de Explosividad Volcánica (VEI)	34
2.2.1.6.	Antecedentes Volcánicos	35
2.2.2.	ENOS (El Niño-Oscilación del Sur)	37
2.2.2.1.	Fenómenos Naturales	38
2.2.2.2.	Antecedentes del ENOS.	38
2.2.2.3.	El Niño Fase Cálida	38
2.2.2.4.	La Niña Fase Fría	39
2.2.2.5.	Condiciones Neutras	39
2.2.2.6.	Cambios en la Atmosfera.	39
2.2.3.	Centro Historio de Quito	40
2.2.3.1.	Memoria Histórica	40
2.2.4.	Software Ash3D.	41
2.2.4.1.	Programa de Peligros Volcánicos	41
2.2.4.2.	Dispersión de Ceniza	42
2.2.4.3.	Pronóstico de Carga de Nubes	42
3.	Material es y métodos.	43
3.2.1.	Fase 1. Recopilación de Datos Bibliográficos	44
3.2.2.	Fase 2. Configuración del Software Ash3d	46
3.2.3.	Fase 3. Interpretación de Datos Probabilísticos	47
ETAPA 3.	Discusión de resultados	51
4.	Discusión de resultados	53
4.2.1.	Mapas Temporalidad del evento ENOS	54
4.1	Valores a partir de puntos aleatorios.	57
4.2	Análisis Comparativos Estadísticos de las diferentes temporalidades del ENOS	60
5.	Reflexiones finales	63
6.	Recomendaciones	63
7.	Referentes Bibliográficos	64
8.	Anexos	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Daños causados por la ceniza volcánica según los espesores	37
Tabla 2. Episodios de viento ENOS.	46
Tabla 3. Tamaño de la muestra La Niña.	49
Tabla 4. Resultados Estadístico Unidireccional	61
Tabla 5. Resultado Estadístico ANOVA.	61
Tabla 6. Comparaciones múltiples.	62
Tabla 7. Sub conjuntos homogéneos.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de niños oceánicos.	21
Figura 2. Períodos recientes cálidos (rojo), neutro (gris) y fríos (azul) del Pacífico.	22
Figura 3. Configuración habitual de la circulación durante El Niño y La Niña.	22
Figura 4. ENOS neutral para abril-junio de 2024 (73% de probabilidad).	23
Figura 5. Organización progresiva del marco teórico desde una perspectiva amplia hasta centrarse en aspectos más específicos.	28
Figura 6. Volcanes potencialmente peligrosos	31
Figura 7. Tectónica de Placas	33
Figura 8. Tipos de erupciones magmáticas.	34
Figura 9. Erupciones pueden dividirse en efusivas y explosivas.	36
Figura 10. Informes de actividad volcánica en los últimos tiempos.	36
Figura 11. Indicadores de determinación del riesgo por caída de ceniza.	37
Figura 12. Ubicación Geográfica Volcán Guagua Pichincha.	38
Figura 13. ENSO	38
Figura 14. Cambios de temperatura sobre la STM.	39
Figura 15. Anomalías de la temperatura en la superficie del mar.	40
Figura 16. Diferencia de la temperatura superficial del mar.	41
Figura 17. Mapas de área afectada por nubes de ceniza y depósitos	42
Figura 18. Depósito de espesor de ceniza.	43
Figura 19. Modelo metodológico.	44
Figura 20. Ingreso de datos probabilísticos	47
Figura 21. Secuencia de Metodología	50
Figura 22. Zona de Estudio en el Centro Histórico de Quito	54
Figura 23. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m ² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad El Niño en el Centro Histórico de Quito	55
Figura 24. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m ² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad La Niña en el Centro Histórico de Quito.	56

Figura 25. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m ² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad Neutral en el Centro Histórico de Quito	57
Figura 26. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENOS en su temporalidad El Niño.	58
Figura 27. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENOS en su temporalidad El Niña.	59
Figura 28. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENOS en su temporalidad Neutral.	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Valores Aleatorios La Niña 69

ETAPA 1

Conocimiento previo

Conocimiento previo

1.1 Introducción

La interacción entre fenómenos naturales como la caída de ceniza volcánica y el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) crea preocupación global por sus potenciales consecuencias devastadoras. Esta inquietud se agudiza en áreas específicas, destacándose la preservación de edificaciones patrimoniales como en el Centro Histórico de Quito.

El ENOS, con su amplio impacto en las condiciones climáticas globales, se convierte en un componente crucial cuando se combina con la caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha en Ecuador, con volcanes y amenazas latentes, resalta principalmente como uno de los países mayormente afectados por el ENOS. La posible erupción del Guagua Pichincha, afecta especialmente al Centro Histórico de Quito como Patrimonio Cultural de la Humanidad, plantea consecuencias significativas para su patrimonio arquitectónico. Este incluye escuelas, hospitales, edificios gubernamentales e iglesias, que podrían sufrir daños estructurales y estéticos ante la amenaza de la caída de ceniza. Ante esta complejidad, la investigación se propone determinar la probabilidad de la caída de ceniza en Quito mediante el uso del Software Ash3d, buscando optimizar la preparación y resiliencia ante acontecimientos naturales para proteger el valioso patrimonio de la ciudad.

Se puede señalar que las afecciones provocadas debido a los eventos naturales como la caída de ceniza volcánica y conjuntamente asociados con el fenómeno ENOS puede ocasionar un gran impacto a nivel global. En va-

rios países, localidades y ciudades, esta amenaza genera una gran inquietud sobre la preservación de los edificios, esto crea constantes preocupaciones relacionadas en las cantidades significativas de caída de ceniza volcánica sobre las áreas más antiguas y patrimoniales arquitectónicas, que posee el Centro Histórico de Quito.

Asociado a este escenario, el ENOS, tiene una repercusión a escala muy significativa en las condiciones meteorológicas y climáticas a nivel global. Los efectos combinados de este fenómeno en asociación a la caída de ceniza volcánica expulsada por el volcán Guagua Pichincha, pueden amplificar los impactos, en donde varios sectores podrían verse afectados.

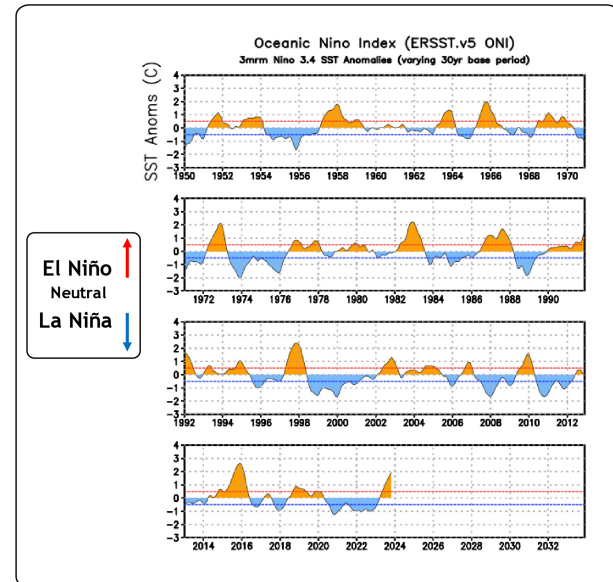


Figura 1. Índice de niños oceánicos

Fuente: (Climate Prediction Center / NCEP, 2024)

Como en los modelos históricos, para ser catalogado como un episodio de El Niño o La Niña en toda medida, estos umbrales convienen excederse en el transcurso un período de al menos cinco temporadas consecutivas superpuestas de tres meses. (Climate Prediction Center / NCEP, 2024)

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	

Figura 2. Períodos recientes cálidos (rojo), neutro (gris) y fríos (azul) del Pacífico.

Fuente: (Climate Prediction Center / NCEP, 2024)

La caída de ceniza volcánica es un riesgo importante en muchas partes de América Latina, ya que la región alberga una gran cantidad de volcanes activos y se localiza en El Cinturón de Fuego del Pacífico, en un territorio con un alto dinamismo volcánico. Países como Ecuador, Colombia, Perú, México, Chile, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Argentina tienen volcanes activos, además coligando que muchos de ellos también se ven afectado por el evento ENOS un fenómeno atmosférico que se identifica por el calentamiento de las aguas superficiales del Océano Pacífico puede causar cambios climáticos significativos que incluyen lluvias intensas que soplan de Este a Oeste por medio los de vientos alisios que generan inundaciones en algunas regiones y sequías en otras.

Ecuador, país donde alberga 84 volcanes, posee varias amenazas volcánicas que están consideradas potencialmente peligrosas en su territorio nacional, entre los más activos, están los volcanes Cotopaxi, Guagua Pichincha y Chiles. Ecuador uno de los países ubicados en América Latina se ve afectado por el fenómeno ENOS de manera significativa, este evento puede tener varios impactos en el clima y en el medio ambiente. Aquí varían sus efectos según la intensidad que se presente.

Añadiendo una posible erupción volcánica potencial del volcán Guagua Pichincha, el cual se sitúa en La Cordillera Occidental de los Andes, podría provocar un gran índice de afectaciones en la ciudad, este problema se incrementa cuando se ve afectado principalmente un patrimonio cultural de la humanidad como es El Centro Histórico de Quito, esta ciudad esta flanqueada por 17 volcanes. En 1999, posterior a varios meses de actividad freática, el volcán Guagua Pichincha inicio en una etapa eruptiva caracterizada por la extrusión de diversos domos dacíticos, erupciones plinianas y flujos piroclásticos. (Garcia-Aristizabal et al., 2007)

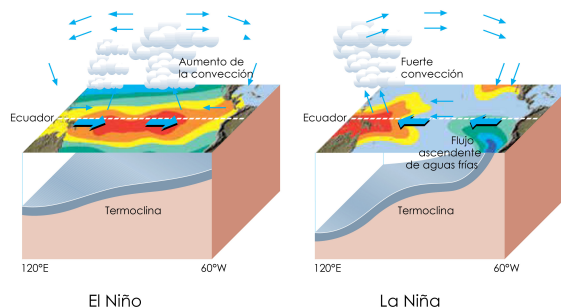


Figura 3. Configuración habitual de la circulación durante El Niño y La Niña.

Fuente: Organización Meteorológica Mundial, 2014.

Según un análisis registrado en la ciudad de Quito, la actividad eruptiva provocada por el volcán Guagua Pichincha registrada en 1660 d. C., la última erupción notable del volcán, afectó en gran cantidad a la capital de Ecuador, con fuertes caídas de ceniza, tefra y flujos de escombros provocados por las lluvias. (Robin et al., 2010a)

La ciudad patrimonial de Quito, con su riqueza en herencia arquitectónica que abarca: escuelas, hospitales, edificios gubernamentales e iglesias, enfrentaría consecuencias significativas bajo la amenaza de la deposición de ceniza volcánica del Pichincha, especialmente cuando se ve exacerbada por los provenientes vientos alisios asociados al fenómeno ENOS.

La delicada ornamentación de las estructuras históricas, con sus detalles arquitectónicos, sería vulnerable a la corrosión y degradación causadas por la ceniza volcánica, que podría acumularse en tejados, fachadas y espacios interiores.

Además, las escuelas y hospitales podrían enfrentar interrupciones en sus operaciones, ya que la ceniza podría afectar la calidad del aire y representar riesgos para la salud. Los edificios gubernamentales, importantes para la administración y gobernanza, podrían experimentar disrupciones en sus funciones, mientras que las iglesias, con su invaluable patrimonio cultural, podrían sufrir daños estructurales y estéticos.

La limpieza y restauración de estos tesoros arquitectónicos serían desafíos monumentales, y la ciudad de Quito requeriría medidas de mitigación y preparación para preservar su valioso patrimonio frente a tales eventos naturales.

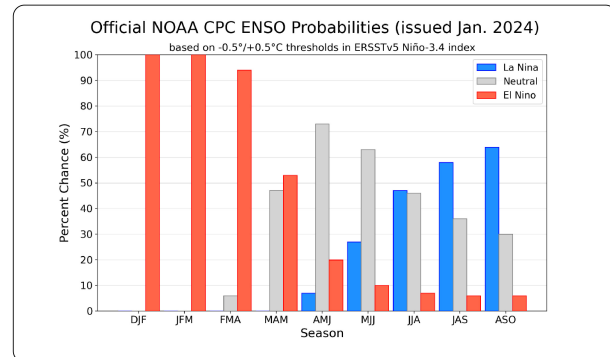


Figura 4. ENOS neutral para abril-junio de 2024 (73% de probabilidad).

Fuente: (Climate Prediction Center / NCEP, 2024)

Dada esta explicación se justifica la caída de ceniza coligada con el evento ENOS brinda un panorama crucial para comprender los impactos adversos en los espacios más afectados del patrimonio del Centro Histórico de Quito. La capacidad de prever estos fenómenos de manera eficaz es fundamental para proteger la zona urbana crítica. Esta investigación proporciona una base sólida para el conocimiento de zonas mayormente vulnerables en el área patrimonial, así como para la mejora de la preparación y la respuesta a situaciones ante dichos desastres naturales.

La anticipación y la respuesta efectiva ante estas amenazas se establecen como pilares fundamentales de la gestión del riesgo y la protección de áreas. La falta de preparación adecuada puede dar lugar a consecuencias devastadoras.

En este contexto, la investigación desempeña un papel esencial al suministrar una fuente de conocimiento con-

sistente sobre la cual se pueden fundamentar estrategias de adaptación específicas. Además, esta base de conocimiento sirve como punto de partida a fin de optimizar la preparación y la respuesta en situaciones de emergencia.

La hipótesis nula H0. No se registran cambios significativos en la caída de ceniza sobre el centro histórico de Quito en presencia del fenómeno meteorológico ENOS (Niño y Niña) en sus dos fases y en ausencia de ellas.

La hipótesis alternativa H1 La ocurrencia de caída de 62.5 mm de ceniza en el centro histórico de Quito, si presenta diferencias significativas en cada eventualidad del ENOS.

Como consiguiente se llegó al objetivo general de esta tesis a evaluar la probabilidad de la caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha, dentro el centro histórico de Quito, asociado a los efectos causados por el ENOS, mediante la utilización del Software Ash3d para generar una simulación de la caída de ceniza con predicción del tiempo y otras propiedades meteorológicas, dispersión y deposición de ceniza para determinar las afectaciones con mayor vulnerabilidad en el área, utilizando variables específicas, como el entender y analizar el VEI (Índice de Explosividad Volcánica) del volcán Guagua Pichincha en El Centro Histórico de Quito en la probabilidad que se suscite el evento ENOS, mediante una revisión bibliográfica para determinar una serie de situaciones eventuales, que arrojen resultados de los posibles lugares más afectados.

Este proceso continuo con la simulación del software Ash 3D mediante una serie de simulaciones, aplicando las especificaciones al previo estudio realizado del volcán Guagua Pichincha, para obtener un rango de índices probabilísticos de las áreas más afectadas en El Centro

Histórico de Quito.

Finalmente, aumentar la resiliencia del Centro Histórico al conocer la probabilidad de deposición de la ceniza, este estudio permitirá desarrollar estrategias y medidas preventivas que mejoren la preparación y respuesta ante tales eventualidades, protegiendo así el valioso patrimonio cultural y la infraestructura histórica de la ciudad ante posibles impactos adversos.

ETAPA 2

Aplicación metodológica



Fundamentación Teórica

El estudio de caída de ceniza volcánica asociada a los efectos del fenómeno ENOS y como se verían afectadas varias áreas edificadas en regiones y ciudades. Son dos fenómenos naturales relacionados con la atmósfera y el clima. Sin embargo, para comprender como se producen cada uno de ellos, será trascendental definir varios conceptos claves para la investigación.



Figura 5. Organización progresiva del marco teórico desde una perspectiva amplia hasta centrarse en aspectos más específicos
Fuente: Elaboración propia 2024

2.1 Estado del Arte/Estado de la Cuestión

El estudio del estado del arte que se desarrollan aquí se asocia en dos temas de eje principal: la primera es la evaluación de los efectos del ENOS y la segunda aborda el tema de investigación sobre la probabilidad de que el volcán Guagua Pichincha expulse ceniza y finalmente la valoración de los resultados obtenidos.

Investigaciones Internacionales

Gonzales Dulce, Escobar Wolf Rüdiger y Chigna Gustavo: Mapas de amenaza por caída de ceniza y proyectiles balísticos, volcán de Pacaya, Guatemala (Gonzales et al., 2023).

Objetivo: Investigar el ranking de peligrosidad volcánica alrededor del mundo definiendo tres volcanes con actividad cotidiana relevante: Santiaguito, Pacay y Fuego. Las cuales forman productos volcánicos que perturban las poblaciones, vías aéreas, medios de vida e infraestructuras (Gonzales et al., 2023).

Muestra: Se empleó una metodología mixta para evaluar las áreas de impacto asociadas con la caída de ceniza y proyectiles balísticos, la cual consta de tres etapas principales: la recopilación inicial de información, que abarca tanto la investigación bibliográfica como el trabajo de campo; el análisis estadístico de datos para la selección de variables pertinentes para los modelos de procesos volcánicos, involucrando el análisis de datos de sensores remotos y la evaluación estadística de las variables candidatas; y por último, la modelación de procesos volcánicos mediante el uso de modelos numéricos, con el fin de proyectar la probabilidad de ocurrencia de las amenazas mencionadas. (Gonzales et al., 2023)

Resultados: En su totalidad, se llevaron a cabo aproximadamente 480 simulaciones para modelar la caída de ceniza, abarcando una amplia gama de parámetros que van desde el mínimo reportado hasta los valores teóricos establecidos para un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) de 3. Los parámetros considerados incluyen la altura de la columna eruptiva, el volumen de la ceniza expulsada, la distribución del tamaño de partículas y los perfiles de viento específicos obtenidos para cada uno de los 12 meses del año. (Gonzales et al., 2023)

Conclusiones: Se identifican cuatro niveles de amenaza asociados a los centros eruptivos: una amenaza extrema, delimitada en un radio no mayor a 500 metros de dichos centros, con una frecuencia de ocurrencia de hasta 2.8 años; una amenaza alta, abarcando un área entre 0.5 y 1.2 kilómetros de los centros eruptivos y con un período de recurrencia de hasta 24.4 años; una amenaza media, que se extiende entre 1.2 y 3.5 kilómetros de distancia de los mismos, con una periodicidad de hasta 24.4 años; y por último, una amenaza baja, proyectada en un área de impacto de 3.5 a 5.4 kilómetros de los centros eruptivos, con un período de recurrencia de hasta 66.7 años. (Gonzales et al., 2023)

Investigaciones Nacionales

Pavón Fernando y Contreras Diana: Zonificación de la amenaza por dispersión y caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha, Ecuador. (Gonzales et al., 2023).

Objetivo: La cantidad de ceniza proveniente del volcán mencionado tendría diversos efectos dependiendo de su espesor. Esto afectaría la salud humana y animal, la infraestructura productiva y el entorno del medio ambiente (Gonzales et al., 2023).

Muestra: Los análisis de dispersión de cenizas se llevaron a cabo mediante el software Ash 3D, el cual emplea, además de los parámetros vulcanológicos detallados en la Tabla 2, información sobre la velocidad y dirección del viento suministrada por el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos. (Gonzales et al., 2023)

Resultado: Mediante un análisis probabilístico de las simulaciones, se generaron diversos mapas de amenazas por caída de ceniza, abarcando diferentes escenarios. Estos mapas, que representan probabilidades del 99%, 75%, 50%, 25% y 1%, revelan variaciones significativas entre sí. El mapa más cauteloso corresponde al 1% de probabilidad, reflejando la máxima caída de ceniza esperada en los sectores considerados, mientras que el mapa del 99% muestra un enfoque más conservador al anticipar una menor caída de ceniza en esos mismos sectores. (Gonzales et al., 2023)

Conclusión: Los hallazgos de este estudio representan una valiosa contribución para la elaboración de planes de prevención y mitigación en áreas susceptibles a la caída de ceniza del volcán bajo análisis. Esta información es fundamental para priorizar parroquias y desarrollar estrategias adaptadas según el grado de impacto, la población afectada, el uso del suelo predominante y la naturaleza del asentamiento. (Gonzales et al., 2023)

2.2 Marco Conceptual

Esta sección se refiere a la base teórica y bibliografía que ayuda a comprender el tema de estudio en esta investigación. Donde se revisan todos los temas relevantes para establecer un contexto en la investigación, como, el fenómeno ENOS, los peligros volcánicos y todo su matiz de eventualidades. Ayuda a corroborar la tesis, con información de otros autores que anteriormente han investigado temas similares. Lo que certifica la confiabilidad de esta investigación, estableciendo, conceptos clave, contexto, premisas básicas y datos fundamentales. De esta manera se presenta la recopilación del marco conceptual.

2.2.1. Peligro Volcánico

El crecimiento demográfico del entorno volcánico ha generado un impulso imperativo de valorar la peligrosidad de un volcán en cuestión, cuál sería el peligro que implica para la existencia de los sistemas vivos y financieros potencialmente afectados (D'Elia & Carrera, 2021). Se precisa como riesgo volcánico al rango estadístico de la probabilidad de erupción de un volcán, teniendo en cuenta determinadas cuantificaciones o sucesión de incidentes, sea cual sea el índice de daño que ocasione (Scandone et al., 1993).

La amenaza volcánica pende, principalmente, de un mecanismo explosivo y el cuerpo de materiales expulsados a la corteza terrestre. Estos componentes están profun-

(roca fundida) al solidificarse obtiene diferentes formas, aun así, el resultado más común en la naturaleza es cónico. El proceso de formación inicia con la emanación de magma, donde una o múltiples erupciones llevan roca fundida hacia la superficie terrestre donde el material se enfría y da origen a dos clases de productos resultantes de la actividad volcánica: ceniza y lava.

En este sentido, el magma sube a través de un conducto volcánico, Al alcanzar la superficie, el volcán libera flujos de lava y cenizas, modelando su apariencia a medida que ocurren erupciones sucesivas.(D'Elia & Carrera, 2021)

El cráter es el punto más alto del cono volcánico además es conecta el conducto volcánico con la superficie. Su estructura se compone de un apilamiento paulatino de capas formadas por diversos movimientos de mareas eruptivas hechas ceniza y lava, denominada como flancos.

Es crucial señalar que, en algunas instancias, al examinar un cono volcánico, se notará la presencia de elementos no expulsados a partir del centro del cráter. En cuantiosos períodos, durante la subida del magma hacia la zona superficial, los canales volcánicos pueden encontrar atajos y manifestarse en diversas ubicaciones a lo largo del flanco del volcán. A estos conductos laterales se les conoce como chimeneas satélites o adventicias.(D'Elia & Carrera, 2021)

Existen diversas maneras en las que se forman los volcanes. Por ejemplo, en la cúspide en ciertos volcanes se observa un cráter, en otros se puede notar picos rugosos formados por grandes depósitos de lava, en tanto otros se configuran por mesetas, es decir extensas altiplanicies. En este contexto, los volcanes exhiben gran variedad en tamaño y forma, desde volcanes tan pequeños llegan a medir solo 1 kilómetro de diámetro, inclusive co-

losales montañas de fuego. También están los volcanes que han formado islas como ejemplo esta Hawái, las Islas Galápagos o Tenerife.

Los condicionantes en cuanto al tamaño y forma están definidos por el volumen y el tipo de materiales volcánicos. Las formas en relieve positivo, de la mano con el clima, dan forma a la morfología definitiva de los dispositivos volcánicos. Estas variables son consideradas al concretar los proyectos de categorización de las erupciones y volcanes. (D'Elia & Carrera, 2021)

Hace aproximadamente 4 500 millones de años, al momento de la formación del planeta Tierra, ya ocurrían erupciones volcánicas. En promedio, se registran aproximadamente 60 erupciones volcánicas cada año en el mundo, Gran parte de estas erupciones exhiben niveles bajos de explosividad y afectan áreas geográficas limitadas con derivados volcánicos, como ejemplo están las erupciones: el volcán Llaima en 2009, el Volcán Copahue, 2012 y por último el Volcán Villarrica en 2015. Históricamente, se ha llevado a cabo una clasificación popular para asociar la frecuencia eruptiva de los volcanes. Socialmente se conoce como “volcán activo” a aquellos que han tenido una erupción histórica y está en erupción o tiene el potencial para en un futuro erupcionar, “volcanes dormidos” que en algún tiempo erupcionaron, pero en la actualidad ya no presentan indicios de actividad, de esta manera, los volcanes que no han experimentado una erupción se denominan “volcanes extintos”. (D'Elia & Carrera, 2021)

erupciones, la ceniza es transportada de dos formas, la primera es suspendida en el aire, En el momento que penetran la atmósfera a elevadas altitudes, se dispersan mediante las corrientes ventosas a distancias de miles de kilómetros.

Posteriormente la ceniza se asienta sobre la superficie, de esta manera, se forman los depósitos de caída de ceniza. En el segundo caso, los flujos de ceniza y flujos piroclásticos se calientan a 700 grados centígrados, y baja a gran velocidad; puede alcanzar una velocidad de 300 m/s. Fluye por la ladera del volcán donde todo a su paso es calcinando, este proceso alcanza cientos de kilómetros. Recapitulando, la cantidad de lava y ceniza define el tipo de erupción, donde puede ser efusiva o explosiva. Es así como las erupciones efusivas predominan las coladas de lava, en tanto, las erupciones subyugan donde se almacena la ceniza. (D'Elia & Carrera, 2021)

En síntesis a nivel destructivo se puede decir que las erupciones explosivas presentan menos afectación a la población, en relación con el nivel destructivo de una erupción efusiva y su flujo de lava.

Walker, reconoce ocho distintos tipos de erupciones, que se clasifican en magnéticas e hidro-magnéticas. Las magnéticas están definidas por hawaiana, estromboliana, Subplinianas, pliniana, ultraplíniana y vulcaniana. Las Hidro-magnéticas se componen de las surtseyana y freatoplíniana. (Walker, 1973)

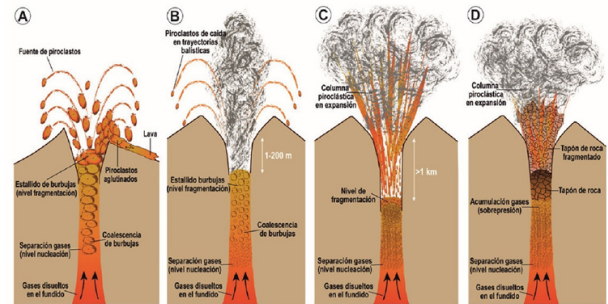


Figura 8. Tipos de erupciones magmáticas

Fuente: ilustraciones de los distintos tipos de erupciones magmáticas. A) Hawaiana; B) Estromboliana; C) Pliniana; D) Vulcaniana (figuras modificadas de Francis, 1993) tomadas de (Perez-Torrado & Rodriguez-Gonzalez, 2015).

2.2.1.4. Erupciones Plinianas (Subplinianas y Ultraplínianas)

Son eventos explosivos donde una corriente continua y agitada de magma fragmentado y gases magmáticos se expulsan a gran velocidad desde un respiradero. Presenta como rasgo distintivo la generación de una columna de erupción compuesta por una mezcla de piroclastos, gas magmático y aire arrastrado, comúnmente alcanzan alturas de al menos 30 kilómetros. (LIRER et al., 1973)

Este tipo de erupciones, son característicos de magmas ácidos e intermedios, se identifican por su alta viscosidad y concentración de volátiles disueltos. A medida que el magma asciende, los volátiles se separan de la fase líquida debido a la disminución de solubilidad, generando una sobrepresión interna. (Perez-Torrado & Rodriguez-Gonzalez, 2015) Cuando el magma se acerca a la superficie, la sobrepresión provoca la ruptura violenta

del magma y del conducto de salida, desencadenando erupciones explosivas.

Estas erupciones pueden generar columnas piroclásticas, conocidas como columnas plinianas, que pueden alcanzar alturas de hasta 50 km. Estas columnas liberan aerosoles y partículas piroclásticas en la atmósfera, formando mantos piroclásticos en la topografía circundante o generando flujos piroclásticos dirigidos a altas velocidades en la superficie. (Perez-Torrado & Rodríguez-González, 2015)

A una elevación significativa, la reserva térmica se extinguirá principalmente debido al calentamiento de todo el aire introducido en la columna y a la caída de los piroclastos más grandes en las proximidades del suelo. Finalmente, la temperatura en la columna variará de manera gradual, prevaleciendo sobre la disminución de la densidad originada por la reducción exponencial de la presión atmosférica con la altitud. (Wilson, 1976)

Entre los fenómenos volcánicos más peligrosos está la caída de la ceniza volcánica. El impacto que genera la lluvia de ceniza volcánica provoca derrumbes en los tejados, interrumpe la comunicación de los transportes terrestres y daña las líneas de vida de la población. (Spence et al., 2005).

Las erupciones plinianas (subplinianas y ultraplinianas), están precedidas por una columna de ceniza y explosiones freatomagmáticas. (Bonasia et al., 2014). Por lo tanto, se caracterizan por ser erupciones magmáticas explosivas en conductos abiertos. Propias de lavas ácidas a intermedias, siendo estos los resultados preponderantes los almacenamientos de piroclásticos. (Perez-Torrado & Rodríguez-González, 2015)

2.2.1.5. Índice de Explosividad Volcánica (VEI)

El Índice de Explosividad Volcánica (IEV), conocido en inglés como Volcanic Explosivity Index (VEI), es una medida que considera diversos parámetros específicos, tales como el volumen de material piroclástico generado, la altura alcanzada por la columna piroclástica, y su correspondencia con los mecanismos eruptivos según la clasificación de Walker, entre otros. Este índice varía en un rango de 0 a 8, donde cada incremento numérico representa un aumento de diez veces en la explosividad volcánica con respecto al valor inmediatamente anterior. (Perez-Torrado & Rodríguez-González, 2015)

La magnitud de los peligros eruptivos se suele determinar por IEV, pensado por Newhall & Self, (1982) ahonda y explora los fenómenos volcánicos y explora una amplia variedad de magnitudes, estrechamente vinculadas con la potencia explosiva.

El vulcanólogo francés formó una sistematización fundamentada en los primordiales materiales implicados en una erupción. Véase en la figura 4, donde delimita a 4 tipos de erupciones. (Perez-Torrado & Rodríguez-González, 2015).

Precisamente, el VEI engloba distintas cuantificaciones como: la magnitud de tefra y la elevación lograda mediante la columna piroclástica. El Índice de explosividad volcánica, mantiene valores oscilantes de 0 a 8, es decir cada momento personifica un ampliación de 10 períodos de VEI en relación al número preliminar. La manera más fácil de entender es utilizar la escala de la misma manera que la escala de Richter. (Perez-Torrado & Rodríguez-González, 2015)



Figura 9. Erupciones pueden dividirse en efusivas y explosivas.

Fuente: Clasificación de Gèze (1964) de los mecanismos eruptivos en base a un sencillo diagrama triangular en cuyos vértices se encuentran los tipos principales de productos volcánicos. En cursiva se han indicado los tipos equivalentes considerados en la actualidad (modificado de Gèze, 1964), tomado de (Perez-Torrado & Rodríguez-Gonzalez, 2015)

el VEI engloba distintas cuantificaciones como: el volumen del material piroclástico del volcán y la altura alcanzada por la columna piroclástica. El Índice de explosividad volcánica, mantiene valores oscilantes de 0 a 8, es decir cada intervalo representa un aumento de diez veces la explosividad volcánica respecto al número anterior. La manera más fácil de entender es utilizan la escala de la misma manera que la escala de Richter. (Perez-Torrado & Rodríguez-Gonzalez, 2015)

2.2.1.6. Antecedentes Volcánicos

Como antecedente volcánico, el mayor referente a estudiar es El volcán Guagua Pichincha, presenta una latitud de 0.17° en el lado norte y una longitud de -78.61° en el oeste. Su creación data en el periodo El Holoceno y Pleistoceno tardío, en conjunto al volcán Ruco Pichincha, forman la zona volcánica del Pichincha. (Robin et al., 2008, 2010).

El Guagua Pichincha está constituido por un flujo de material piroclástico proveniente del Ruco pichincha, este evento ocurrió hace 50 000 – 60 000 años. Posteriormente, hace aprox. 20 000 – 30 000 años, las extrusiones de domo y la actividad explosiva su estructura volcánica sigue en curso. (Monzier et al., 2002)

Escenario	Tamaño	Erupción de referencia	VEI	Altura columna sobre el cráter (km)	Duración (horas)	Volumen caído DRE (km ³)	ENOS		
							Niño	Niña	Neutro
Guagua Pichincha – S2	Menor moderada	1999	VEI 2-3	6	24	0.005			
Guagua Pichincha – S3	Menor extensa	1960	VEI 3-4	23	1	0.06			
Guagua Pichincha – S4	Extensa	1 000 años A.P	VEI 4	26	2	0.25			
Guagua Pichincha – S5	Muy Extensa	11 000 años A.P	VEI 5	30	4	0.75			

Figura 10. Informes de actividad volcánica en los últimos tiempos.

Fuente: Modificado de (Pavón & Contreras, 2021)

También, alrededor de los 11 000 años atrás, ocurrió un cataclismo en un sector en específico dando a luz a un anfiteatro con dirección al suroeste. En la época del Holoceno medio, hace 4.000 años, se documentó, la alineación de una nueva Toaza, a partir de la expulsión de oleadas de lava viscosa y de domos adentro del anfiteatro teniendo un fin con un desmayo. El centro activo actual de este volcán identificado como el domo de cristal, se formó en el tercer periodo, y tuvo lugar en el holoceno tardío. (Monzier et al., 2002)

Categoría	Indicador	Fuente	Año	Porcentaje Asignado
Amenaza	Exposición a caída de ceniza	IGEPN	2018	100%
Resiliencia	Porcentaje de acceso a agua potable	INEC	2010	23%
	Porcentaje de hogares con acceso a internet	INEC	2010	8%
	Porcentaje de hogares con telefonía móvil	INEC	2010	-
	Postas de Salud por cada 10000 personas	MSP	2014	23%
	Tiempo de viaje a la ciudad más cercana	MAGAP SIGTERRAS	2015	15%
	Conexión a redes eléctricas	INEC	2010	8%
	Número de centros educativos por cada 10 000 personas	MINEDUC	2014	23%
Voluntarios de la Cruz Roja Ecuatoriana (CRE)	CRE	2018	-	

Figura 11. Indicadores determinación del riesgo por caída de ceniza.

Fuente: Modificado de (Pavón & Contreras, 2021)

En la última etapa de 3.000 años el Domo Cristal ha experimentado cuatro fases eruptivas, donde se han caracterizado por la formación de domos y erupciones plinianas, con una reactivación notable en los años de 1999 y el 2001, teniendo lugar las explosiones de tipo vulcano-subplinianas, como se puede observar en la tabla 1. (Robin et al., 2008)

Espesores de ceniza	Posibles afectaciones
Espesor > 0.1 mm	<p>Salud: irritación a causa de la ceniza.</p> <p>Ambiente: contaminación de fuentes de agua.</p> <p>Infraestructura y actividades productivas: cierre de aeropuertos por posibles daños a las aeronaves.</p>

Espesor > 1 mm	<p>Además de los expuestos por los espesores > 0.1 mm:</p> <p>Actividades productivas: pérdidas de cultivos, la ceniza abrasiva fina causaría daños menores en las edificaciones y vehículos a motor.</p>
Espesor > 10 mm	<p>Además de los expuestos por los espesores > 1 mm:</p> <p>Salud: afecciones a las vías respiratorias como secreción nasal, dolor de garganta, entre otros.</p> <p>Actividades productivas: afectación al ganado con problemas de desnutrición o desgaste de piezas dentales por contaminación de pastos.</p> <p>Ambiente: contaminación severa de fuentes de agua por acumulación de químicos.</p>
Espesor > 100 mm	<p>Además de los expuestos por los espesores > 10 mm:</p> <p>Salud: afecciones severas de las vías respiratorias, además de lagrimeo, dolor ocular.</p> <p>Actividades productivas: deshidratación severa del ganado por consumo de ceniza y obstrucciones intestinales. Pérdida de cultivos y pastos con acumulaciones superiores a los 50 mm de ceniza.</p> <p>Infraestructura: pérdidas económicas por cierre de aeropuertos por labores de limpieza.</p>

Tabla 1. Daños causados por la ceniza volcánica según los espesores

Fuente: Modificado por (Pavón & Contreras, 2021)

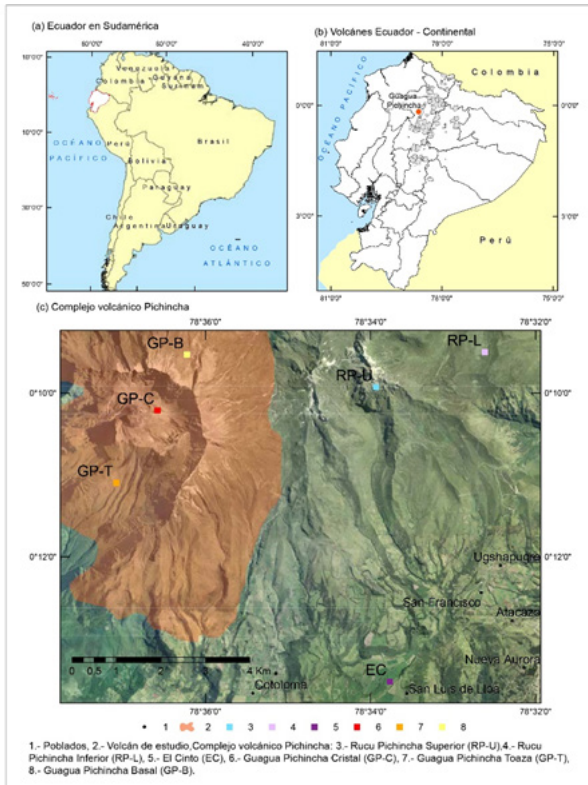


Figura 12. Ubicación Geográfica Volcán Guagua Pichincha

Fuente: Figura 1. a y b) Ubicación del área de estudio y c) Ortofoto (IGM, 2019) en donde se muestra las ubicaciones de los principales centros eruptivos que ha caracterizado la evolución del Complejo Volcánico Guagua Pichincha. Fuente: adaptado de (Robin et al., 2008), tomado de (Monzier et al., 2002)

2.2.2. ENOS (El Niño-Oscilación del Sur)

“El ENOS es uno de los eventos más importantes en el sistema climático que afecta el clima a nivel global” (Benjumea Garcés, 2021) esta caracterizado al estado cambiante de las temperaturas en los océanos, específicamente en el océano pacifico oriental y central. Esta fluctuación está relacionada con los cambios de la atmosfera. El clima está directamente relacionando e influencia el cambio climático a nivel mundial. El avance científico aporta más artículos científicos en bien de la comprensión del ENOS, con el fin de modernizar y predecir el temporal climatológico. Una de las mejoras científicas tiene que ver con las escalas temporales con una predicción de anticipación en un rango de 1 a 9 meses. Contribuyendo principalmente a su población con la información idónea y antelada, para impulsar su preparación en contra de los riesgos vinculados a este fenómeno, como, por ejemplo: Lluvias torrenciales, inundaciones en algunos sectores y sequias en otros sectores.(Organización Meteorológica Mundial, 2014)

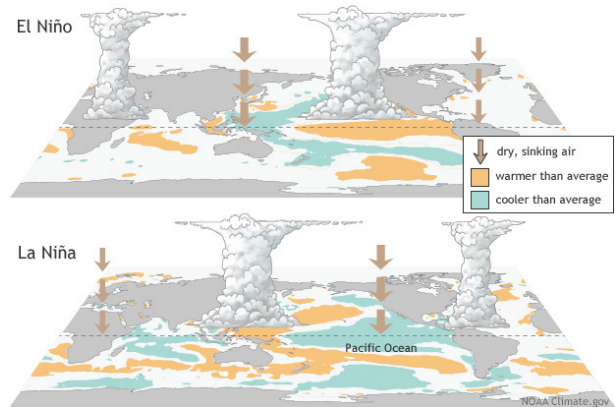


Figura 13. ENSO

Según la Organización Meteorológica Mundial (2014) El origen del término proviene de los corrientes oceánicas el niño y la niña, a estos dos componentes se suma un componente atmosférico, de ambos nace el término. Esta comprendido de tres fases, el niño, la niña y una fase neutra.

2.2.2.1. Fenómenos Naturales

El fenómeno ENOS ocurre cada 2 a 7 años, se caracteriza por tener una variabilidad climática, puesto que se define como una manifestación natural de la incertidumbre atmosférica entre años. (Capotondi et al., 2015). La fase del niño, el fenómeno se caracteriza por un calentamiento en la porción oriental del Océano Pacífico, esta anomalía es vinculada mediante su pérdida de fuerza en los vientos alisios. (McPhaden et al., 2006) Por otro lado, la Niña, se distingue por un enfriamiento, de la temperatura superficial del mar (TSM), en cuanto a los céfiros alisios, estos toman fuerza al contrario de la fase del niño. (Khider et al., 2011).

2.2.2.2. Antecedentes del ENOS

El año más cálido fue registrado en 2010, aun así, el niño anteriormente ya habido dado un golpe de calor intenso en el año de 1998, donde se produjo el segundo año más caluroso documentado. No obstante, en 2005 se observaron olas de calor a nivel mundial, superan los 0.55 grados Celsius. Y en los años de 1961 – 1990 mantuvo un curso de 14 °C. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

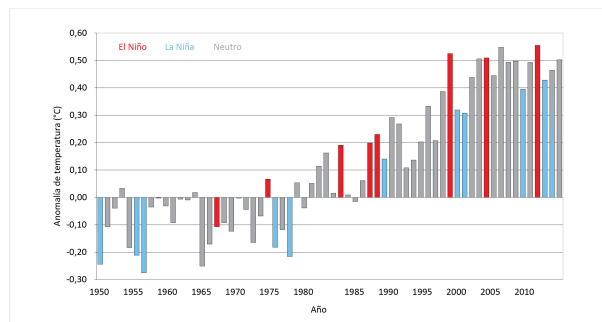


Figura 14. Cambios de temperatura sobre la STM

Fuente: En el gráfico se presentan los cambios de temperatura, en una tasa anual mundial sobre la superficie terrestre y la superficie del mar. Entre los años 1950 – 2010, se nota el cambio drástico entre los años de 1961 hasta 1990. En color azul figura el episodio de La Niña con intensidad moderado o fuerte. Por lo tanto, en rojo se perciben los años donde el fenómeno De El niño fue de moderado a fuerte. Y los periodos neutros se pintan de color gris. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

2.2.2.3. El Niño Fase Cálida

El fenómeno de El niño fue denominado por primera vez en el siglo XIX, la historia cuenta que lo habitantes del Perú y Ecuador, se referían así a las aguas cálidas, que consigo traían de una pérdida en el volumen de peces en el mar, por lo tanto, notaban una disminución en sus cenas. La época en el que el fenómeno ocurría era cerca de diciembre. A mitad del año, el ENOS se hace presente en la superficie calentando a gran escala las aguas de las zonas central y oriental del Océano Pacífico, también existen permutas cuando se inicia la circulación atmosférica tropical; en otras palabras, El niño afecta, al viento, a la presión, y la precipitación. Los meses donde El niño gol-

pea las costas es de noviembre a enero, posteriormente su decaimiento tiene ocurrencia en la siguiente mitad del año. Y su fluctuación ocurre de dos a siete años y su duración es de 18 meses. En la superficie El niño causa, episodios globales de calor siendo intensos y moderados. (Organización Meteorológica Mundial, 2014))

2.2.2.4. La Niña Fase Fría

Fenómeno opuesto al de El niño, por consiguiente, en el ciclo ENOS, se lo nombro La niña, por lo tanto, este fenómeno enfría a gran escala de la temperie del área marítima del Océano Pacífico, afectando a las mismas regiones del pacifico. Las condiciones en este caso se invierten y la atmosfera también presenta cambios. En los trópicos la niña, su episodio frio afecta al clima, produciendo variaciones contrapuestas a fenómeno del niño. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

2.2.2.5. Condiciones Neutras

La fase neutra del fenómeno del ENOS, tiene otros factores determinantes climáticos, que fijan las condiciones atmosféricas. (Organización Meteorológica Mundial, 2014) La TSM, en el Océano Pacífico Ecuatorial no se registra fluctuación de temperaturas extremadamente cálidas o frías, sus aguas permanecen neutras con temperaturas normales en la mayoría de las zonas. Aun así, en las costas de Sudamérica se observó un calentamiento en la superficie del mar, con una temperatura que oscilaba entre los 120º O. En cuanto, al viento alisios, sus valores son relativamente normales. El ENOS, con la finalización del periodo de La niña, registra una disminución en sus valores, llegando a tornarse negativos. (Aldeco et al., 2023)

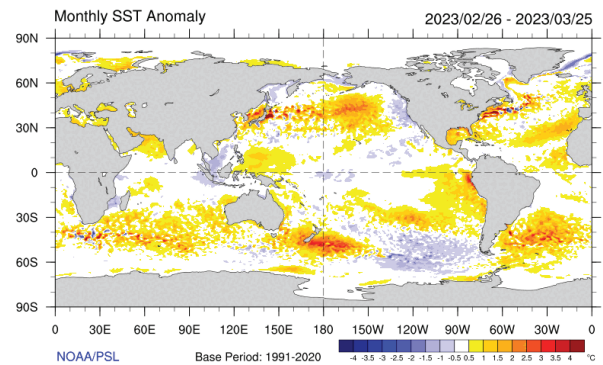


Figura 15. Anomalías de la temperatura en la superficie del mar.

Fuente: Anomalías de la temperatura superficial del mar en marzo de 2023. Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-NCEP/CPC tomado de (Aldeco et al., 2023)

2.2.2.6. Cambios en la Atmosfera

Lo que se conoce como oscilación del sur, se refiere a la presión del aire, que con las variaciones de las temperaturas oceánicas a lo largo de los sucesos registrado de El Niño y La Niña se elevan.

Los cambios en la circulación atmosférica son resultado de una fluctuación en las TSM, es así como, el movimiento en forma vaivén de grandes masas de aire, con dirección de este a oeste, tiene influencia cuando se suscitan los eventos del El Niño y La Niña. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

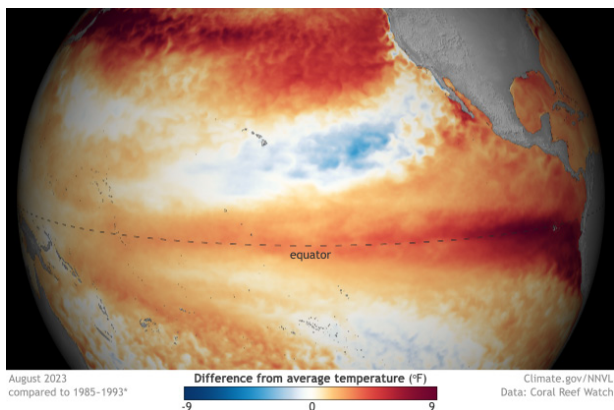


Figura 16. Diferencia de la temperatura superficial del mar.

Fuente: Anomalías de la temperatura superficial del mar en marzo de 2023. Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-NCEP/CPC tomado de (Aldeco et al., 2023)

2.2.3. Centro Historio de Quito

Construida sobre los 2.850 m.s.n.m. y fundada en el siglo XVI, San Francisco de Quito, fue declarada como Patrimonio Nacional de Ecuador y Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, por poseer el Centro Histórico más extenso, mejor conservado y menos alterado de toda América Latina. (QUITO – Ministerio de Cultura Y Patrimonio, 2019)

2.2.3.1. Memoria Histórica

La conservación del patrimonio cultural en la ciudad de Quito, ha causado gran preocupación desde el siglo XVII. En la época desde 1830 a 1835, la libertad de expresión y

la propiedad intelectual forman parte de los instrumentos y normativa para la preservación del patrimonio y el conocimiento. Es así, que desde el siglo XIX hasta la actualidad instituciones públicas se encargan de proteger al patrimonio de la ciudad y su legado cultural. (Museo et al., n.d.)

Contexto Histórico

La arquitectura de Quito se ha visto influenciada a un contexto español, aun así, antes de la colonización la ciudad ya contaba con diferentes expresiones culturales. Aun así, se traza un inicio predominante con la fundación española. (Museo et al., n.d.). En 1534, el distrito metropolitano de Quito ahora como

o lo conocemos consta de grandes diferencias, pues el diseño pensado en ese tiempo incluía la topografía de la ciudad, esta se plasmaba por encima de sus quebradas, volcanes y riachuelos. (Sánchez & Woolfson 2016).

En la Ciudad de Quito, ha ocurrido un incremento gradual con direccionalidad desde el norte de la ciudad, donde las personas que acumulan más riquezas del país buscan satisfacer el deseo de modernidad. La creciente demanda por lo contemporáneo y la comodidad, hacen del norte un lugar ideal que cubra esas necesidades de confort, lujo y exclusividad. (Crespo 2007)

En la actualidad se experimenta un abandono del Centro Histórico, por la rapidez de su expansión, ponderando una expansión hacia el norte, brindando al urbanismo mayor modernidad con relación a la arquitectura colonial del Centro Histórico, la marcada diferencia toma un papel fundamental en el diseño de la ciudad en su contenido y forma, dando a luz barrios residentes y con el paso de los años la formación de una nueva zona eco-

nómica. Desde 1920, la constante fue el crecimiento urbano hacia las afueras de la ciudad, los factores en bien de la movilidad y la accesibilidad fueron el uso del automóvil y la ampliación de vías, además de la ejecución de nuevas vías, que conectan y hacen de las afueras una opción cómoda. (Museo et al., n.d.)

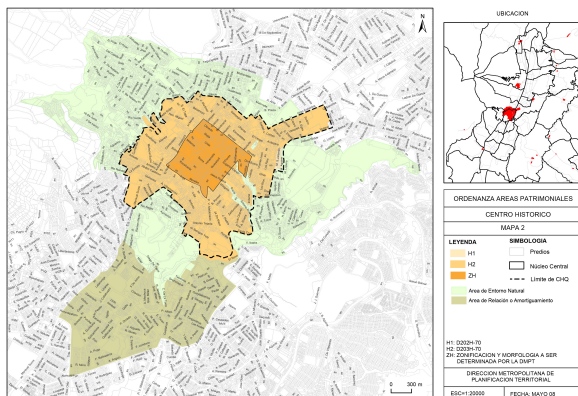


Gráfico 1. Ubicación de la zona de amortiguamiento
Fuente: Ordenanza Metropolitana N° 210 del 12-04-2018. Artículo 20. Ordenanza, Metropolitana N° 001 Artículo IV.4, Mapa N° 02 Área Histórica de la Parroquia Centro Histórico

2.2.4. Software Ash3D

Prever peligros de las cenizas volcánicas por consecuencia se pronosticar donde se transportará la ceniza y cuales sería las principales áreas afectada.

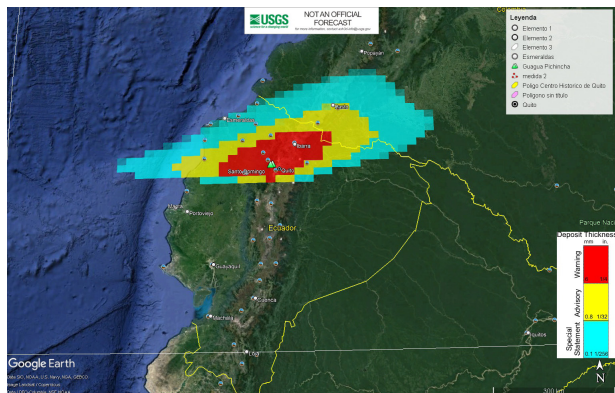


Figura 17. Mapas de área afectada por nubes de ceniza y depósitos
Fuente: Google Earth Pro

2.2.4.1. Programa de Peligros Volcánicos

Según Larry Mastin, Ash3d el prototipo meteorológico euleriano tridimensional para el movimiento, esparcimiento y almacenamiento de ceniza para su estudio y pronosticar los riesgos que ocasionan las nubes de ceniza volcánica y el desplome de tefra (2013).

Este programa como herramienta de simulaciones utiliza una interfaz web, nos permite ver e interpretar los resultados del modelo volcánico introducido (Larry Mastin et al., 2013).

Anticipar la dirección de la dispersión de ceniza volcánica, resulta en la forma más eficaz de mitigar el riesgo asociado a este fenómeno, con esta acción anticipatoria se logra también ver las áreas afectadas. Gracias a los modelos actuales de predicción numérica del tiempo (PNT), ahora podemos prever de manera regular el des-

plazamiento de la ceniza en un campo de viento tridimensional que evoluciona con el tiempo (Larry Mastin et al., 2013)

2.2.4.2. Dispersión de Ceniza

Ash3d modela el desplazamiento de cenizas mediante la división de la atmósfera en una cuadrícula tridimensional (3D) de células, calculando el flujo de masa a través de las paredes celulares. En el inicio de una erupción simulada, la tefra se inyecta de manera invariable en la pilastra de células sobre la cubierta del volcán. Con el uso de un campo de viento 3D dependiente del tiempo, Ash3d realiza cálculos para la advección, difusión y sedimentación de la ceniza a favor del viento en pasos de tiempo sucesivos, hasta que la ceniza se deposite o se desplace fuera del dominio del modelo. Las partículas de ceniza caen a una velocidad determinada por su velocidad de sedimentación en el aire y se depositan al alcanzar la superficie del suelo. (Larry Mastin et al., 2013)

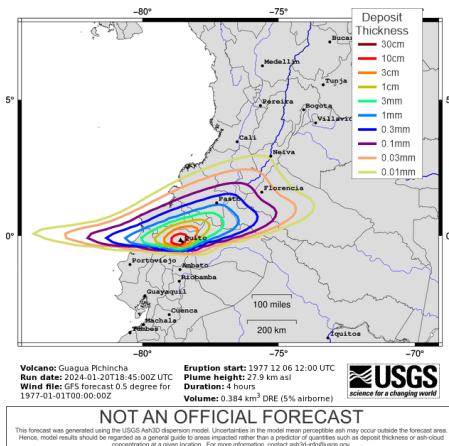


Figura 18. Depósito de espesor de ceniza
Fuente: USGS Ash3d, (2024).

2.2.4.3. Pronóstico de Carga de Nubes

En sus simulaciones, tanto para las condiciones meteorológicas actuales como las pronosticadas, la versión web de Ash3d se basa en la información meteorológica proveniente del modelo de 0.5 grados del Sistema de Pronóstico Global (GFS) de la NOAA (Centros Nacionales de Predicción Atmosférica, 2021).

En situaciones donde la fecha de inicio de la erupción es dos semanas o más anterior a la ejecución, las simulaciones recurren al modelo de 2.5 grados NCEP/NCAR Reanalysis 1. (Larry Mastin et al., 2013)

Los resultados de las simulaciones de cenizas en el aire se presentan a través de una serie de archivos gif que indican la ubicación de la nube en momentos específicos, destacando el sombreado para la carga de masa de ceniza o la altura de la nube. Se crea una imagen gif animada combinando las imágenes estáticas de la carga de masa de ceniza.

Para visualizar la animación, podría ser necesario abrir la imagen gif con Microsoft Internet Explorer o un software gratuito como IrfanView, ya que muchos visores de imágenes predeterminados no mostrarán la animación. (Larry Mastin et al., 2013)

3. Materiales y métodos

El objetivo del estudio es la evaluación de los efectos del evento ENOS en la probabilidad de caída de ceniza en el Centro Histórico de Quito.

Lo imperativo del tema es la identificación de posibles áreas afectadas en el Centro Histórico, se ha optado por un enfoque metodológico cuantitativo de caso correlacional como lo mencionan Hernández Sampieri et al. (2014) en el cual obtiene de la exploración de la literatura y de la concepción total del estudio en los campos de la Arquitectura, Vulcanología y Ambiente.

Este enfoque cuantitativo se desarrolla por medio de la compilación de datos bibliográficos además de recabar de literatura fundada en el tema. La revisión bibliográfica se enfocará en la comprensión y análisis del Índice de Explosividad Volcánica (VEI) del Guagua Pichincha en el Centro Histórico de Quito en el contexto del evento ENOS.

A través de esta revisión, se buscará identificar situaciones eventuales que proporcionen resultados sobre los posibles lugares más perjudicados por la lluvia de ceniza volcánica en la zona regional.

Este método de investigación permitirá obtener una visión completa y fundamentada de la probabilidad de caída de ceniza volcánica dentro del Centro Histórico de la urbe quiteña en relación con el evento ENOS. La combinación de datos bibliográficos y revisión de la literatura constituye un enfoque sólido para abordar y arrojar información sobre la potencial vulnerabilidad de esta área patrimonial e históricamente significativa ante eventos asociados entre volcánicos y climáticos.



Figura 19. Modelo metodológico.
Fuente: Elaboración propia 2024.

3.2.1. Fase 1. Recopilación de Datos Bibliográficos

Se emprendió un riguroso proceso de recopilación de datos bibliográficos con el fin de poner en ejecución una revisión a profundidad de la argumentación científica ligada al con volcán Guagua Pichincha, el fenómeno climático ENOS y la dispersión de ceniza volcánica en la región. Este esfuerzo abarcó la revisión de numerosos estudios científicos, informes técnicos y publicaciones académicas que exploraban las complejas interacciones entre el volcán, las condiciones climáticas influenciadas por ENOS y las consecuencias de la ceniza volcánica.

La revisión bibliográfica permitió obtener una visión completa de la evolución de este fenómeno y sentar las bases para investigaciones futuras. Simultáneamente, se procedió a la identificación y análisis de datos históricos relacionados con erupciones pasadas del volcán Guagua Pichincha y los efectos de la ceniza en la zona circundante.

Esto incluyó el estudio de registros históricos, testimonios de testigos, documentos antiguos y registros geológicos que detallaban las erupciones previas y sus consecuencias. Este análisis histórico proporcionó una valiosa perspectiva sobre cómo ha evolucionado la actividad volcánica a lo largo del tiempo y cómo las comunidades se vieron afectadas.

Adicionalmente, se llevó a cabo una búsqueda sistemática de fenómenos naturales relevantes que pudieran influir en la actividad del volcán Guagua Pichincha. Esta búsqueda implicó la recopilación de datos históricos y científicos, incluyendo información sobre la actividad volcánica previa, datos climáticos históricos y registros detallados de eventos ENOS.

Estos datos proporcionaron un contexto esencial para comprender cómo los fenómenos naturales pasados han desempeñado un papel en la modulación de la actividad volcánica y en la dispersión de ceniza en la región. La combinación de datos bibliográficos y análisis históricos junto con la búsqueda sistemática de fenómenos naturales sentó las bases para una investigación más completa y precisa sobre esta interacción compleja.

TEMPORADA			Episodios de vientos del Fenómeno ENOS en su temporalidad												
NIÑA	NIÑO	NEUTRO	AÑO	E	F	M	A	MM	J	JJ	AA	S	O	N	D
		1	1950												
	1		1951												
		2	1952												
	2		1953												
		3	1954												
			1955												
		4	1956												
	3		1957												
		5	1958												
		6	1959												
			AÑO	E	F	M	A	M	J	JJ	AA	S	O	N	D
		7	1960												
			1961												
			1962												
	4		1963												
		8	1964												
	5	9	1965												
		10	1966												
			1967												
		6	1968												
		11	1969												
			AÑO	E	F	M	A	M	J	JJ	AA	S	O	N	D

3.2.2. Fase 2. Configuración del Software Ash3d

La primera etapa de este proyecto se centró en la configuración del software Ash3d. Se llevó a cabo un proceso de familiarización con el programa Ash3d, asegurando que todos los miembros del equipo tuvieran acceso a los datos esenciales requeridos para su correcto funcionamiento. Esto implicó la instalación del software, la obtención de bases de datos relevantes, y la verificación de que todas las herramientas y recursos necesarios estuvieran disponibles y operativos para la ejecución de las simulaciones.

Una vez que el software Ash3d se encontraba debidamente configurado, se procedió a definir las especificaciones necesarias para la ejecución de las simulaciones. Estas especificaciones incluyeron la descripción detallada de las propiedades del volcán, como su tamaño, forma, tipo de erupción y la cantidad de ceniza generada. Además, se definieron las condiciones meteorológicas asociadas al fenómeno climático ENOS que podrían influir en el esparcimiento de la ceniza. Dichas cuantificaciones se consideraron primordiales para garantizar la precisión de las simulaciones y la obtención de resultados confiables.

Con el software Ash3d debidamente configurado y las especificaciones de simulación definidas, se procedió a ejecutar el software para realizar múltiples simulaciones. Estas simulaciones tenían como objetivo principal obtener un rango de índices probabilísticos que representaran las áreas afectadas en el centro patrimonial de la capital del Ecuador, en caso de ocurrir una erupción volcánica. Durante este proceso, se variaron algunos de los parámetros para evaluar diferentes escenarios posibles y proporcionar una visión más completa de las posibles

áreas de impacto. Estas simulaciones desempeñaron un papel crucial en la valoración de factores de riesgos y la planificación de estrategias mitigantes en la región.

The screenshot displays the USGS Ash3d configuration interface for the Guagua Pichincha volcano. The interface is organized into several sections, each with a specific parameter to be configured. The 'Volcán/Sitio' section identifies the volcano as Guagua Pichincha, providing its latitude (-0.171), longitude (-78.598), and elevation (4,784 m). The 'Hora de inicio (UTC)' section allows for setting a specific date and time, with the example '1954-09-13 12:00' shown. The 'Duración de la simulación' section is set to 28 hours, with a note that the predetermined duration is 24 hours. The 'Duración de la erupción' section is set to 4 hours, with a note that the predetermined duration is 12 hours. The 'Altura del penacho' section is set to 27.9 kilometers above sea level, with a note that the predetermined height is 10 km. The 'Volumen estallado' section is set to 0.384 km³, with a note that the predetermined volume is 0.003 km³. The interface also includes a calendar icon for date selection and a 'L C' label on the right side.

Parámetro	Valor ingresado	Valor predeterminado
Volcán/Sitio	Guagua Pichincha	-
Hora de inicio (UTC)	1954-09-13 12:00	-
Duración de la simulación	28	24 horas
Duración de la erupción	4	12 horas
Altura del penacho	27.9	10 km
Volumen estallado	0.384	0.003 km ³

Figura 20. Ingreso de datos probabilísticos

Fuente: USGS Ash3d, (2024)

3.2.3. Fase 3. Interpretación de Datos Probabilísticos

Tras la ejecución de las simulaciones con el software Ash3d, se procedió a la recopilación de los resultados obtenidos. Esto implicó la generación de predicciones detalladas sobre la caída de ceniza en diversas áreas del Centro Histórico de Quito.

Estos resultados proporcionaron información crucial para la valoración de factores de riesgos y la planificación de estrategias mitigantes para analizar los resultados de las simulaciones y determinar las zonas geográficas estadísticamente con mayor posibilidad de tener una contingencia por la caída de ceniza volcánica, se empleó una matriz comparativa. Esta herramienta permitió una evaluación sistemática de los datos probabilísticos obtenidos, identificando las zonas más vulnerables en función de diversos factores, como la dirección del viento, la cantidad de ceniza proyectada y la densidad poblacional en cada área.

Como parte del proceso de análisis, se correlacionan los resultados alcanzados a través de las simulaciones con hechos históricos en conjunto con observaciones reales, siempre que estuvieran disponibles.

La validación de los resultados permitió evaluar la precisión de las simulaciones y corroborar su utilidad en la predicción de eventos relacionados con la caída de tefra volcánica en el Centro Histórico Quiteño. Se elaboró un informe detallado que presentaba los resultados de la investigación de manera clara y accesible.

Este informe incluyó gráficos, mapas y tablas que representaban el índice de vulnerabilidad en el Centro Histórico, brindando una visualización efectiva de la informa-

ción. Esta presentación visual facilitó la comprensión de los datos por parte de los interesados y tomadores de decisiones.

Se utilizan mapas de probabilidad que son generados a partir de un conjunto de episodios eruptivos y perfiles de viento asociados con el rango de un escenario de erupción específico.

Estos mapas ilustran la distribución de probabilidad de una carga de masa en las proximidades del volcán, basándose en la distribución estadística de los episodios eruptivos posibles y los perfiles de viento correspondientes (por ejemplo, ver Figura 16). Los contornos de estos mapas, representados como $P[M(x, y)]$, establecen umbrales de erupción, siendo todos los parámetros de erupción y perfiles de viento seleccionados de manera aleatoria.

Esto proporciona una evaluación de peligros completamente basada en la probabilidad para el escenario de actividad investigado. La probabilidad $P(x, y)$ en un punto con coordenadas (x, y) se calcula utilizando la ecuación siguiente, donde, para cada ejecución i , los parámetros de la erupción se extraen de una función dada en lugar de ser especificados de manera determinista (Bonadonna, 2006).

En la etapa de discusión de resultados, se interpretaron los hallazgos obtenidos a través de las simulaciones y se analizó su relevancia en el contexto de la probabilidad de

lluvia de ceniza del volcán estudiado, en relación con al evento ENOS. Explora las implicaciones de las derivaciones en términos de gestión de riesgos y planificación de emergencias, destacando los factores críticos que deben ser considerados en futuras estrategias de mitigación.

Finalmente, se resumieron, las conclusiones clave derivadas de la investigación y se ofrecieron recomendaciones específicas para la organización de factores de riesgo y la programación de emergencias en el área estudiada. Estas conclusiones y recomendaciones sirvieron como base para tomar decisiones informadas y proactivas en la preparación para posibles eventos donde se deposita la ceniza volcánica en el Centro Histórico patrimonial quiteño.

Con correlación y ejecutando la tabla de cálculo de la sumatoria de los días de cada periodo mas el producto de los perfiles de vientos, como ejemplo la Tabla 3.

Para este proceso utilizamos el tamaño de la muestra según (Suárez Ibujés & Tapia Zambrano, 2012) para que una muestra sea fiable, es necesario que su tamaño sea obtenido mediante procesos matemáticos que eliminen la incidencia del error. Para calcular el tamaño de la muestra suele utilizarse la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

σ = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación con el 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación con el 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del encuestador.

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Parámetro	Valor
N	28320
Z	1.65
σ	0.9
e	0.1
Tamaño de la muestra	
"n"=	218.83

Tabla 3. Tamaño de la muestra La Niña

Fuente: Elaboración propia 2024

Realizandando una ecuación en Excel para la obtención de 220 perfiles hora y fecha de eventualidad de explosividad y viento aleatorios en el rango de 0 a 29880 perfiles de viento de todas las temporadas.

Fase 1. Recopilación de Datos Bibliográficos



Recopilación de datos bibliográficos con el fin de llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica relacionada con fenómeno climático ENOS

Year	DIJ	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.0
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	0.6	0.5	-0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0

Las condiciones climáticas influenciadas por ENOS y las consecuencias por la ceniza volcánica. La revisión bibliográfica permitió obtener una visión completa de la evolución de este fenómeno y sentar las bases.

TEMPORADA		Episodios de vientos del fenómeno (Ina y Neutr)												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ANO	ANO	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
1950	1951													
1952	1953													
1954	1955													
1956	1957													
1958	1959													

Tamaño de muestra

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2}$$

Intervalo de confianza
 Tamaño estándar de población o generadores
 Nivel de confianza o nivel de riesgo o nivel de error

Valor estándar mediante revisión de contenido. Si un valor estándar no está disponible, se debe utilizar el valor estándar de la literatura científica.
 Valor estándar mediante revisión de contenido. Si un valor estándar no está disponible, se debe utilizar el valor estándar de la literatura científica.

Intervalo de confianza. Si un intervalo de confianza no está disponible, se debe utilizar el intervalo de confianza de la literatura científica.

Parámetro	Valor	Unidad
N	300	
Z	1.96	
p	0.5	
e	0.05	
Intervalo de confianza	95%	
Nivel de confianza	0.95	
Nivel de riesgo	0.05	
Nivel de error	0.05	

Intervalo de confianza
 Nivel de confianza
 Nivel de riesgo
 Nivel de error



Simultáneamente, se procedió a la identificación y análisis de datos históricos relacionados con erupciones pasadas del volcán Guagua Pichincha y los efectos de la ceniza. Esto incluyó el estudio de registros históricos que detallaban las erupciones previas. Este análisis histórico proporcionó una valiosa perspectiva sobre cómo ha evolucionado la actividad volcánica a lo largo del tiempo y cómo las comunidades se ven afectadas.

Escenario	Tamaño	Episodio de referencia	VB	Altura columna sobre el crater (m)	Duración (horas)	Volumen caída DEH (kg/m²)
Guagua Pichincha - D	Menor mediana	1999	VB 2.3	4	24	0.05
Guagua Pichincha - B	Menor referencia	1960	VB 3.4	23	1	0.04
Guagua Pichincha - S4	Referencia	1 000 años A.P	VB 4	26	2	0.25
Guagua Pichincha - S5	Muy Referencia	11 000 años A.P	VB 5	30	4	0.75

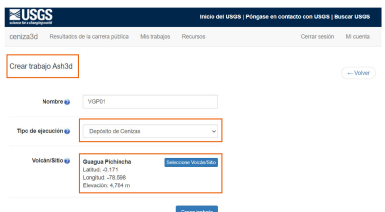


Duración de Simulación	24
Duración de erupción	4
Altura del penacho	27.9
Volumen de estallado	0.384

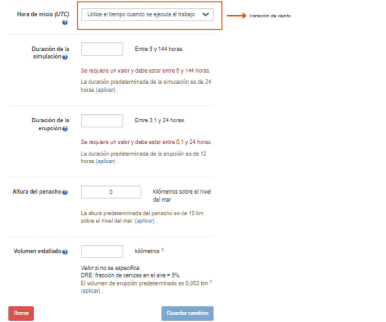
Fase 2. Configuración del Software Ash3d



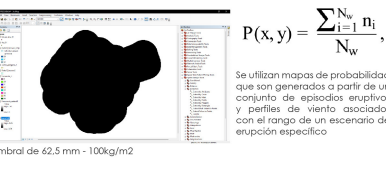
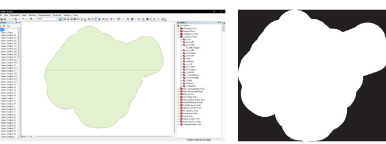
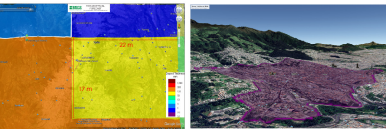
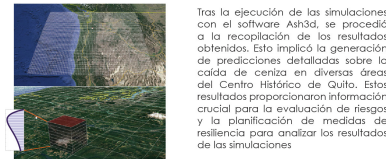
Se llevó a cabo un proceso de familiarización con el programa Ash3d, asegurando los datos esenciales requeridos para su correcto funcionamiento.



Definir las especificaciones necesarias para la ejecución de las simulaciones. Estas especificaciones incluyeron la descripción detallada de las propiedades del volcán, como: tipo de erupción, hora de inicio, duración de la simulación, altura del penacho y volumen de estallado (fracción de ceniza en el aire). Además, se definieron las condiciones meteorológicas asociadas al fenómeno climático ENOS que podrían influir en la dispersión de la ceniza. Estos parámetros se consideraron fundamentales para garantizar la precisión de las simulaciones y la obtención de resultados confiables.



Fase 3. Interpretación de Datos Probabilísticos



$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} n_i}{N_w}$$

Se utilizan mapas de probabilidad que son generados a partir de un conjunto de episodios eruptivos y perfiles de viento asociados con el rango de un escenario de erupción específico

Figura 21. Secuencia de Metodología Fuente: Elaboración Propia 2024

ETAPA 3

Discusión de resultados



Discusión de resultados

Empleando las herramientas digitales de Arc Map y con la asistencia de la herramienta de análisis espacial se elaboró el mapa de nivel de caída de ceniza para un 95% de probabilidades, los archivos fueron convertidos de formato ráster a polígono vectorial. Se encontró que los niveles de depósito de ceniza en El Centro Histórico capitalino se ven afectados de manera distinta bajo cada temporalidad del evento del ENOS.

Los 660 archivos derivados del software Ash3D fueron sintetizados por temporalidad en cantidades de 220 en la temporalidad del evento ENOS fase El Niño, la temporalidad del evento ENOS fase La Niña y la temporalidad del evento ENOS fase Neutral, todos ellos en formato ráster fueron analizados mediante el apoyo de la herramienta virtual álgebra de mapas en ArcGIS, en el programa de Sistemas de Información Geográfica, calculamos por celda el número de veces que el depósito de ceniza volcánica excede el umbral de 62.5 mm que equivalen al umbral de 100kg/m² para una densidad de 1600kg/m³. (Ponce et al., 2022)

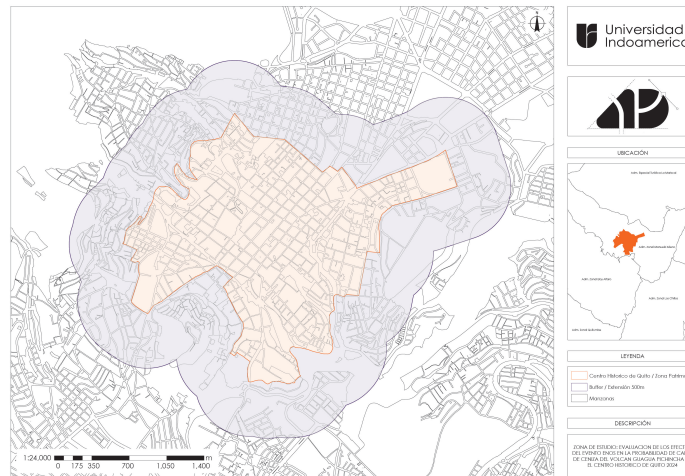


Figura 22. Zona de Estudio en el Centro Histórico de Quito
Fuente: Elaboración Propia 2024

4.2.1. Mapas Temporalidad del evento ENOS

EL Niño mapa de propabilidad de caída de 62.5mm de ceniza.

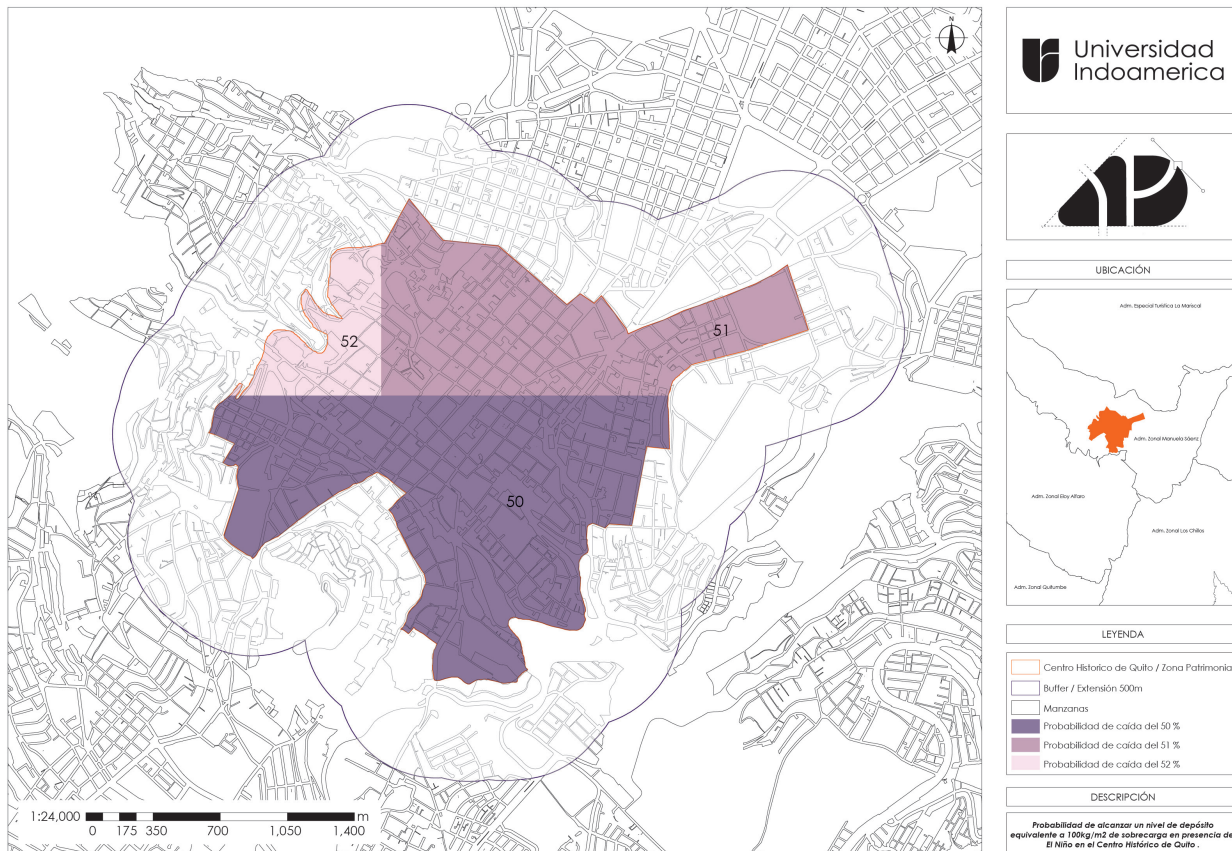


Figura 23. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad El Niño en el Centro Histórico de Quito

Fuente: Elaboración Propia 2024

La Niña mapa de propabilidad de caída de 62.5mm de ceniza.

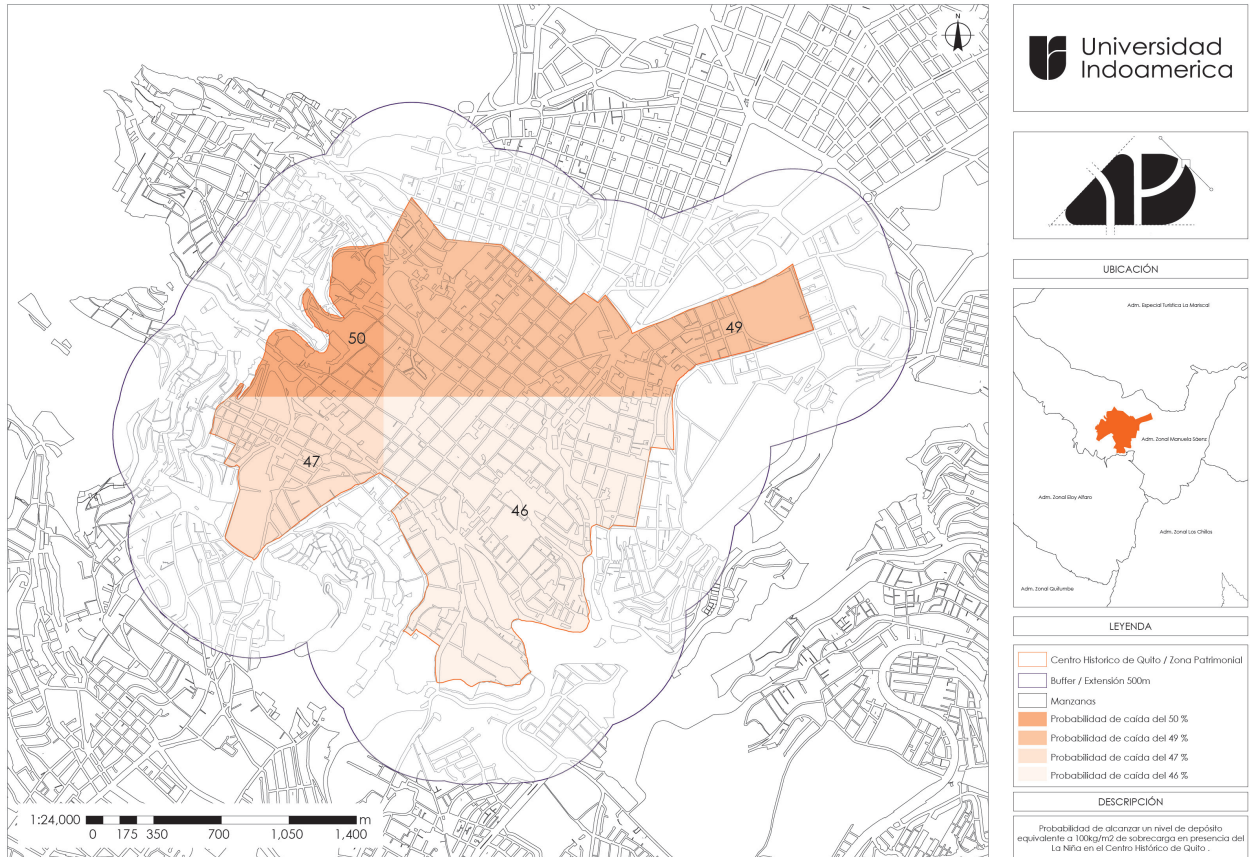


Figura 24. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad La Niña en el Centro Histórico de Quito

Fuente: Elaboración Propia 2024

Neutro mapa de propabilidad de caída de 62.5mm de ceniza.

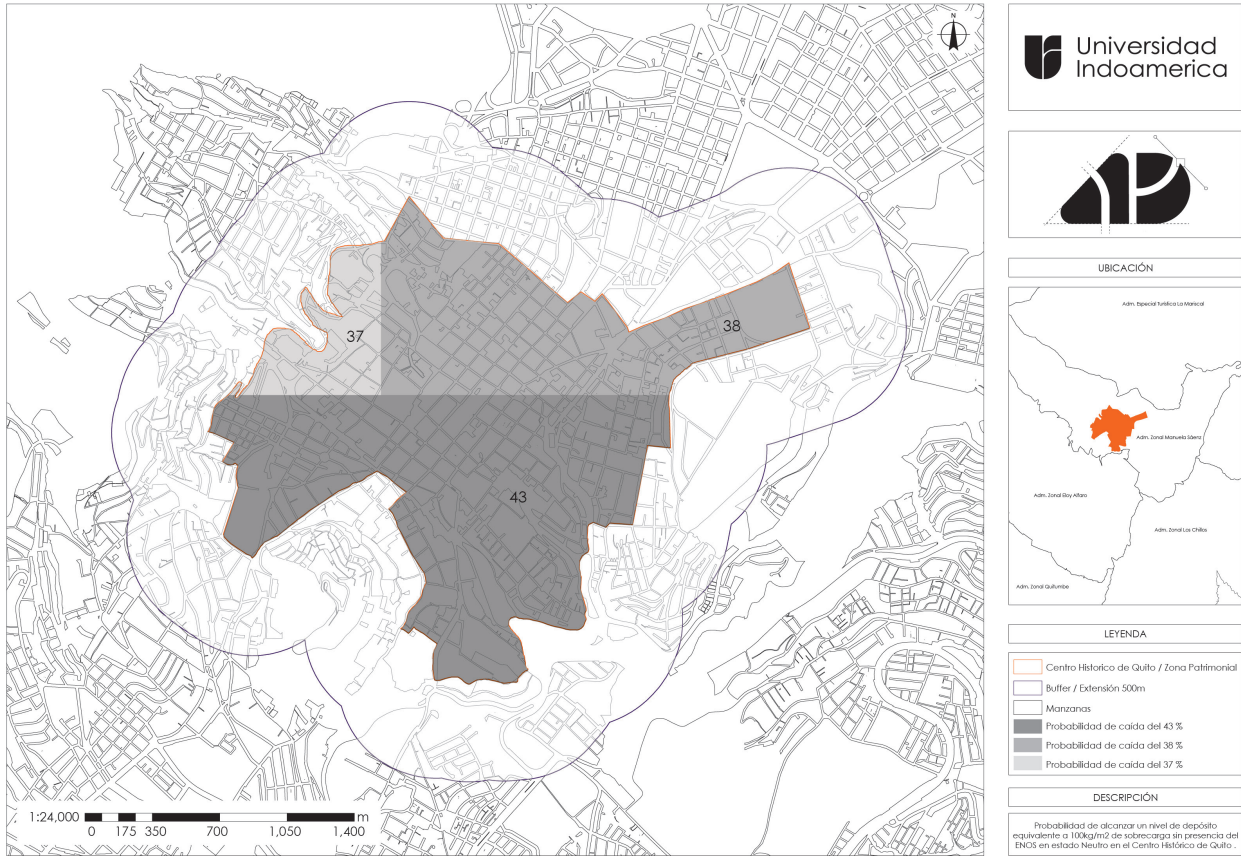


Figura 25. Probabilidad de alcanzar un nivel de depósito equivalente a 100kg/m² de sobrecarga en presencia del evento ENOS en la temporalidad Neutral en el Centro Histórico de Quito

Fuente: Elaboración Propia 2024

4.1 Valores a partir de puntos aleatorios.

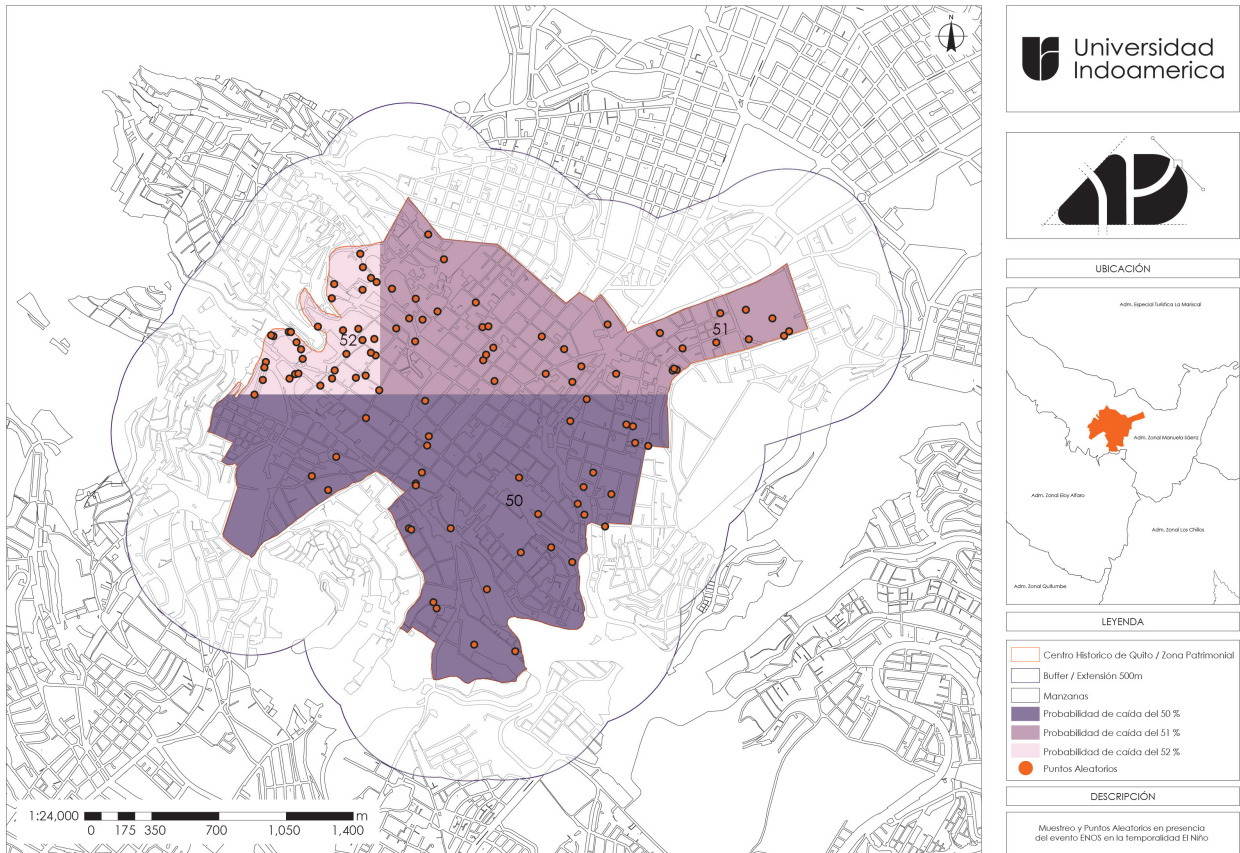


Figura 26. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENSO en su temporalidad El Niño.
Fuente: Elaboración Propia 2024.

Análisis de valores en temporalidad La Niña a partir de puntos aleatorios.

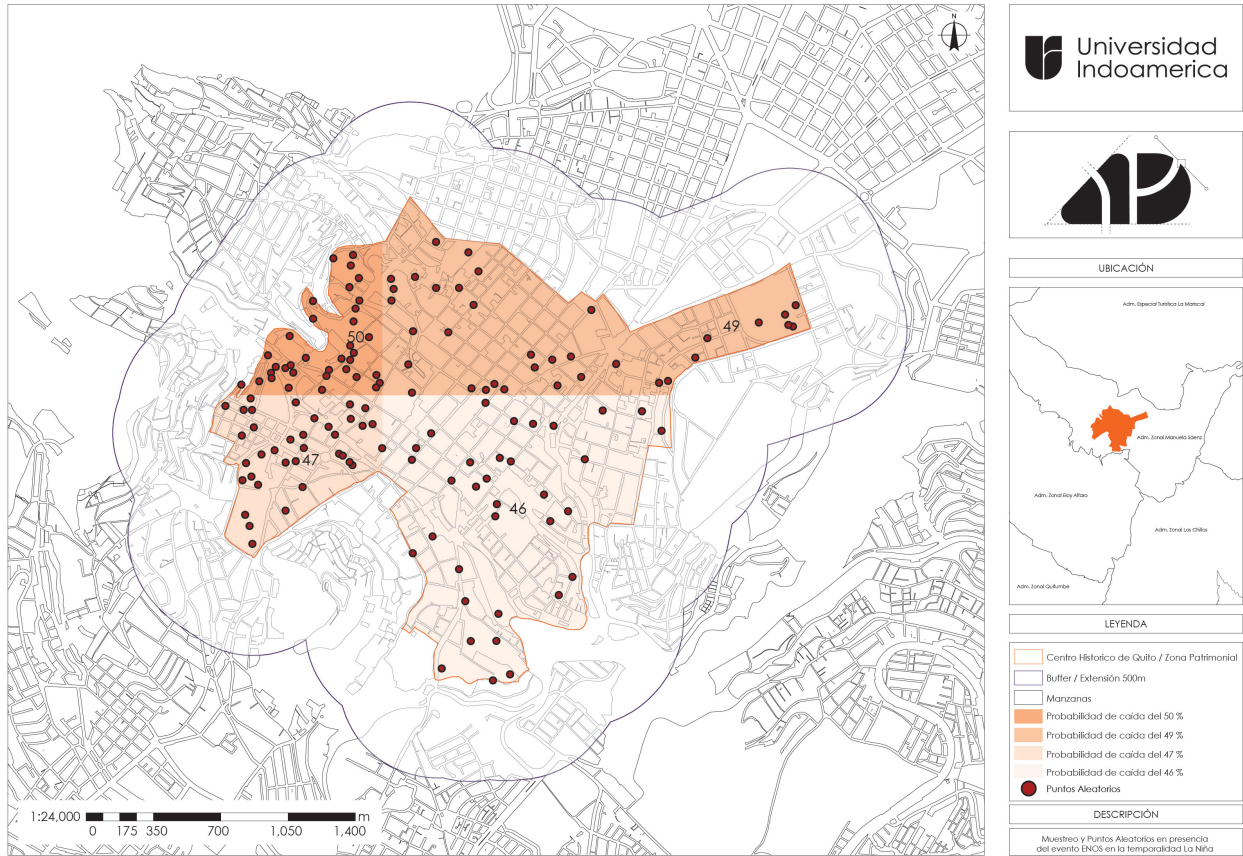


Figura 27. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENOS en su temporalidad El Niña.

Fuente: Elaboración Propia 2024.

Análisis de valores en temporalidad Neutral a partir de puntos aleatorios.

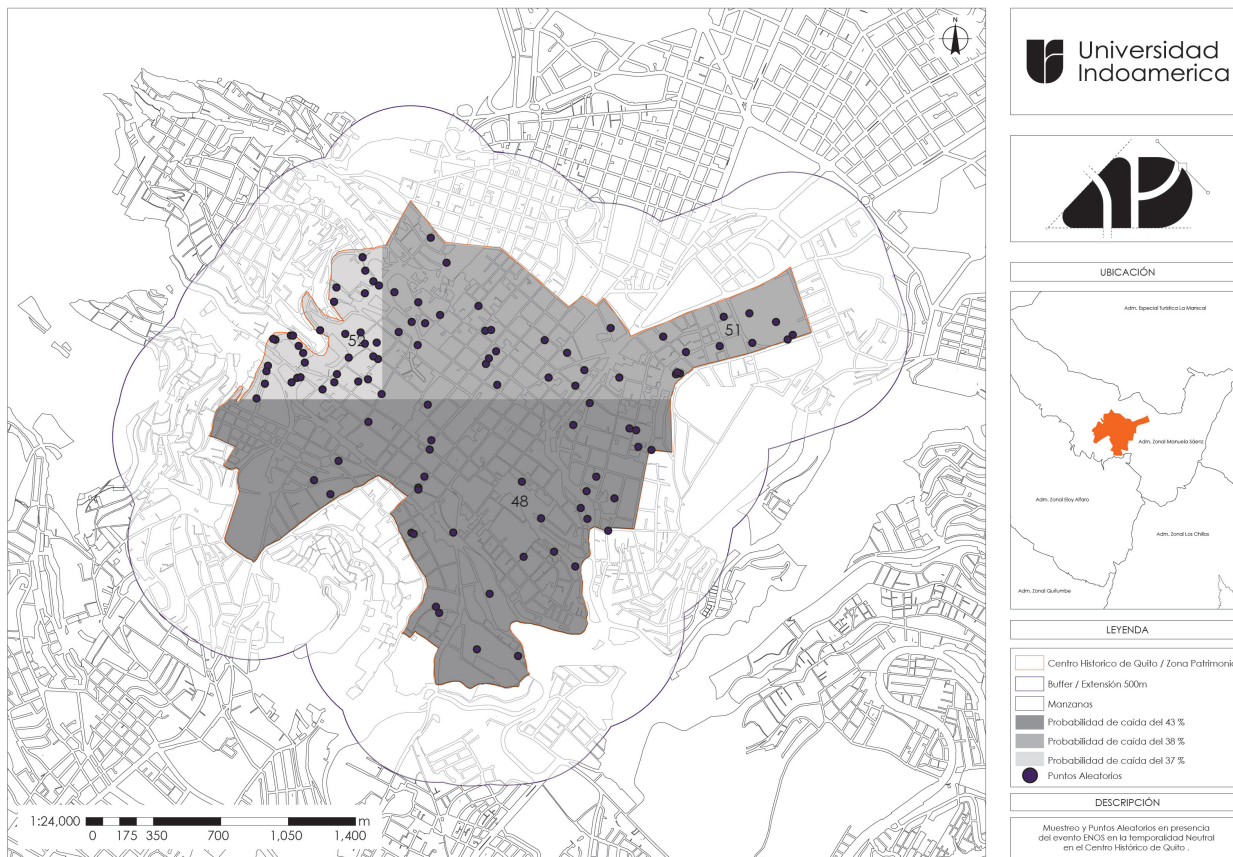


Figura 28. Muestreo y puntos aleatorios en presencia del evento ENOS en su temporalidad Neutral.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Análisis Comparativos Estadísticos de las diferentes temporalidades del ENOS

Descriptivos

Probabilidad								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Neutro	105	50.3333	1.70783	0.16667	50.0028	50.6638	48.00	52.00
Niña	140	48.0000	1.58682	0.13411	47.7348	48.2652	46.00	50.00
Niño	105	51.0000	0.82041	0.08006	50.8412	51.1588	50.00	52.00
Total	350	49.6000	1.96240	0.10489	49.3937	49.8063	46.00	52.00

Tabla 4. Resultados Estadístico Unidireccional

Fuente: Elaboración propia mediante software SPSS

Estadística, análisis de la varianza

Probabilidad					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	620.667	2	310.333	148.874	.000
Dentro de grupos	723.337	347	2.085		
Total	1344.000	349			

Tabla 5. Resultado Estadístico ANOVA

Fuente: Elaboración propia mediante software SPSS

Pruebas post hoc

La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Variable dependiente: Probabilidad						
HSD Tukey						
(I) Condicion	(J) Condicion	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Neutro	Niña	2.33333*	.18639	.000	1.8946	2.7721
	Niño	-.66667*	.19926	.003	-1.1357	-0.1976
Niña	Neutro	-2.33333*	.18639	.000	-2.7721	-1.8946
	Niño	-3.00000*	.18639	.000	-3.4487	-2.5613
Niño	Neutro	.66667*	.19926	.003	0.1976	1.1357
	Niña	3.00000*	.18639	.000	2.5613	3.4387

Tabla 6. Comparaciones múltiples

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 114.545.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Probabilidad				
HSD Tukeya,b				
Condicion	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		Neutro	Niña	Niño
Niña	140	48.0000		
Neutro	105		50.33	
Niño	105			51.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Tabla 7. Sub conjuntos homogéneos

Fuente: Elaboración propia mediante software SPSS

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos ho-mogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 114.545.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

5. Reflexiones finales

Resumiendo lo planteado, en caso de suscitarse una nueva erupción del volcán guagua pichincha, una caída de ceniza tiene un alto nivel de probabilidad, donde el espesor de ceniza amenaza la preservación de la zona patrimonial del centro histórico de Quito. Los factores obtenidos ayudaron a precisar el IEV en el lapsus de registro en los últimos 73 años en el periodo desde 1950 a 2023, tomando en cuenta su variabilidad en los perfiles de viento de las temporalidades el niño, la niña y neutral del evento ENOS. Trabajando así, con el nivel de confianza al 95%.

Una vez realizada las 660 simulaciones de caída de ceniza, en las distintas temporalidades, ejecutada por el software Ash3d se encontró que los espesores de caída de ceniza se encuentran en el rango de 46 y 50 mm para un nivel de 95% de probabilidades.

Además, La probabilidad de alcance analizada en los mapas ráster con un umbral de 62.5mm fluctúa en la temporalidad el niño del 51 al 50 %, en la niña entre el 46 y 50 y en el neutro del 37 al 43%. Gracias a este mapeo realizado en los diferentes eventos meteorológicos con fechas establecidas de ceniza, se puede seccionar las zonas de conservación patrimonial determina por la ordena metropolitana denominándola un área histórica de la parroquia “Centro histórico”.

Sin lugar a duda se comprueba la existencia de diferencias estadísticas significativas con relación a la probabilidad de caída de 62.5mm de lluvia de tefra del Volcán perteneciente a la cordillera andina El Guagua Pichincha en el Centro Histórico, así como en los diferentes eventos del ENOS.

Las infraestructuras coloniales por su longevidad podrían ser vulneradas, al resistir cierto espesor de ceniza, en diferentes niveles, puesto que la lluvia de ceniza cae con mayor fuerza en áreas con mayor cercanía al volcán y en áreas con mayor distanciamiento la ceniza recae en la estructura del centro de Quito con menor probabilidad de daño.

Recomendaciones

A raíz de la investigación realizada, se sugieren, las siguientes recomendaciones que contribuyen con el estudio de la caída de ceniza en el centro histórico de Quito, con presencia del evento ENOS y sin su presencia (Fase neutra). En acción de las futuras investigaciones, es aconsejable realizar más exploraciones que profundicen en los factores de riesgo de la caída de ceniza, realizando diversas búsquedas exhaustivas a todas las amenazas volcánicas, según Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional & Instituto de Investigación para el Desarrollo (2005), en esta categoría se incluye, desde los niveles con menor consecuencia a la población y al urbanismo; como las avalanchas de escombros y flujos de lodo. Con un nivel de afectación media, se clasifica la lluvia de ceniza y piroclastos, al flujo de piroclastos o nubes ardientes. Por último, con una categorización de mayor amenaza sobre una posible erupción volcánica; se encuentran los flujos de lava, gases provenientes de fumarolas y sismos volcánicos.

Indagar sobre la protección y desarrollo de nuevas técnicas para proteger tanto a los habitantes de la ciudad como a las infraestructuras que puedan ser vulnerables.

Prevenir, se traduce en evaluar los riesgos que puedan generar daños permanentes irreversibles o temporales. Muchas infraestructuras del centro histórico y zonas viales de acceso a la ciudad pueden ser susceptibles a los efectos directos de los peligros volcánicos en todos sus niveles de amenaza. Es así, que todo el matiz de fenómenos volcánicos puede producir daños a corto o a largo plazo en todos los ámbitos de la cotidianidad de la población del centro, poniendo en riesgo negocios, puestos laborales, vivienda e instituciones escolares.

Con el propósito de contribuir a la preservación del centro cultural del distrito metropolitano, se aconseja tomar en cuenta los peligros volcánicos estudiados en esta investigación, centrándose mayormente en los depósitos de ceniza y tefra.

Puesto que, la ceniza volcánica, transportada por el viento, se asienta sobre la superficie terrestre en una amplia área ovalada que puede abarcar cientos de kilómetros en la dirección de la corriente de aire. A medida que se aleja del volcán, su grosor gradualmente se reduce (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional & Instituto de Investigación para el Desarrollo, 2005). De esta manera, el peligro que representa el fenómeno estudiado está precedido por condiciones climáticas del niño y la niña.

Se presenta de este modo, como recomendación, evaluar la capacidad de afrontamiento del municipio de Quito, en relación con su habilidad para organizar un sistema donde intervengan recursos y destrezas de la población y sus organizaciones. Con el fin de gestionar de manera adecuada el tratamiento de la lluvia de ceniza en el centro histórico.

Buscando una capacidad de respuesta eficiente y eficaz,

reduciendo o eliminando el riesgo de daño del epicentro histórico evitando que se generen nuevos riesgos o colapsos estructurales del preciado patrimonio nacional de la capital del Ecuador. En conjunto con los planes de contingencia desarrollados por los agentes actores, como la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos a nivel macro, las instituciones escolares y laborales a nivel meso, son encargados de elaborar su plan de contingencia para favorecer tanto a su población como a sus bienes inmuebles.

Referentes Bibliográficos

2023). El fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS)-Abril 2023.

Benjumea Garcés, J. (2021). Caracterización de la variabilidad del fenómeno El Niño–Oscilación del Sur durante el último milenio mediante simulaciones de modelos climáticos CMIP5/PMIP3.

Blake*, Anthony. (2005). Do young children’s ideas about the Earth’s structure and processes reveal underlying patterns of descriptive and causal understanding in earth science? *Research in Science & Technological Education*, 23(1).

Bonasia, R., Scaini, C., Capra, L., Nathenson, M., Siebe, C., Arana-Salinas, L., & Folch, A. (2014). Long-range hazard assessment of volcanic ash dispersal for a Plinian eruptive scenario at Popocatepetl volcano (Mexico): Implications for civil aviation safety. *Bulletin of Volcanology*, 76(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0789-z>

Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J.-Y., Braconnot, P., Cole, J., Dewitte, B., Giese, B., & Guilyardi, E. (2015). Understanding ENSO diversity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(6), 921–938.

Carracedo, J. Carlos., & Perez Torrado, F. J. (2015). Peligros volcánicos¿ predecibles, prevenibles, mitigables?. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*.

Center, P. (2017). Climate Prediction Center - ONI. Noaa.

gov. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Climate Prediction Center / NCEP. (2024). ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions.

D’Elia, L., & Carrera, J. (2021). Conociendo los volcanes: Guía didáctica para la enseñanza y aprendizaje del vulcanismo, su relación con el ecosistema y el ser humano. In *Andamios*.

Francis, P. (1993). *Volcanoes, a planetary perspective* Clarendon Press, Oxford.

Garcia-Aristizabal, A., Kumagai, H., Samaniego, P., Mothes, P., Yepes, H., & Monzier, M. (2007). Seismic, petrologic, and geodetic analyses of the 1999 dome-forming eruption of Guagua Pichincha volcano, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 161(4), 333–351. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.12.007>

Gèze, B. (1964). Sur la classification des dynamismes volcaniques. *Bulletin Volcanologique*, 27(1), 237–257. <https://doi.org/10.1007/BF02597524>

Gonzales, D., Escobar Wolf, R., & Chigna, G. (2023). Mapas de amenaza por caída de ceniza y proyectiles balísticos, volcán de Pacaya, Guatemala.

González Delgado, J. C., González Delgado, F., & Gonzalez Delgado, A. X. (2020). EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECTACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN y ordenamiento territorial en Ecuador.

González, Marta., & Mases, Montserrat. (2003). Riesgo sísmico. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, Vol. 11(1).

Hernandez Sampieri, Roberto., Fernandez Collado, Carlos., & Baptista, M. del Pilar. (2014). Metodología de la Investigación (6ta edición). In Mc Graw Hill.

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, & Instituto de Investigación para el Desarrollo. (2005). PLAN DE CONTINGENCIA ANTE UNA POSIBLE ERUPCIÓN DEL VOLCÁN “COTOPAXI” DE LAS PROVINCIAS DE COTOPAXI, NAPO Y PICHINCHA.

Khider, D., Stott, L. D., Emile-Geay, J., Thunell, R., & Hammond, D. E. (2011). Assessing El Niño Southern Oscillation variability during the past millennium. *Paleoceanography*, 26(3).

Larry Mastin, B., Randall, M. J., Schwaiger, H. F., & Denlinger, R. P. (2013). USGS OFR 2013-1122 ver. 2.0: User's Guide and Reference to the Web Interface of Ash3d—A Three-Dimensional Model for Atmospheric Tephra Transport and Deposition.

LIRER, L., PESCATORE, T., BOOTH, B., & WALKER, G. P. L. (1973). Two Plinian Pumice-Fall Deposits from Somma-Vesuvius, Italy. *GSA Bulletin*, 84(3), 759–772. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1973\)84<759:TPPDFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1973)84<759:TPPDFS>2.0.CO;2)

López-Ruiz, José., & Cebriá, J.-María. (2015). Fundamentos Conceptuales y Didácticos Volcanismo y Tectónica de placas Volcanism and Plate Tectonics. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 23(1).

McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (2006). ENSO as an integrating concept in earth science. *Science*, 314(5806), 1740–1745.

Monzier, M., Samaniego, P., Robin, C., Beate, B., Cotten,

J., Hall, M. L., Mothes, P., Andrade, D., Bourdon, E., Eisen, J.-P., Pennec, J.-L. LE, Gorki RUIZ, A., & TOULKERIDIS, T. (2002). EVOLUTION OF THE PICHINCHA VOLCANIC COMPLEX (ECUADOR).

Museo, E., Quito, B., Del Cisne, M., & Ullauri, A. (n.d.). Eco Museo Biblioteca Quito (Ecuador) MEMORIA HISTÓRICA.

Newhall, C. G., & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87(C2), 1231–1238. <https://doi.org/10.1029/jc087i-c02p01231>

Organización Meteorológica Mundial. (2014). El Niño/ Oscilación del Sur (OMM, Ed.; N° 1145).

Pavón, F., & Contreras, D. (2021). Zonificación de la amenaza por dispersión y caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha, Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 105.

Perez-Torrado, Francisco., & Rodriguez-Gonzalez, Alejandro. (2015). How is volcanic activity measured? The Volcanic Explosivity Index. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 23(1).

Ponce, Jorge., Bernal, F. Ylihe., & Alvarado, Sebastián. (2022). Valoración de la eficacia de los planes de contingencia ante erupciones volcánicas para edificios patrimoniales en el centro de Quito.

Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., Fornari, M., Mothes, P., & van der Plicht, J. (2010a). New radiometric and petrological constraints on the evolution of the Pichincha volcanic complex (Ecuador). *Bulletin of Volcanology*, 72(9), 1109–1129. <https://doi.org/10.1007/>

s00445-010-0389-0

Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., Fornari, M., Mothes, P., & van der Plicht, J. (2010b). New radiometric and petrological constraints on the evolution of the Pichincha volcanic complex (Ecuador). *Bulletin of Volcanology*, 72(9), 1109–1129. <https://doi.org/10.1007/s00445-010-0389-0>

Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., Mothes, P., & van der Plicht, J. (2008). Late Holocene phases of dome growth and Plinian activity at Guagua Pichincha volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.10.008>

Scandone, R., Arganese, G., & Galdi, F. (1993). The evaluation of volcanic risk in the Vesuvian area. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 58, 263–271.

Simkin, T., & Siebert, L. (1994). *Volcanoes of the World*, 349 pp., Geosci. Press. Inc., Tucson.

Spence, R. J. S., Kelman, I., Baxter, P. J., Zuccaro, G., & Petrazzuoli, S. (2005). Natural Hazards and Earth System Sciences Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. In *Natural Hazards and Earth System Sciences (Vol. 5)*.

Suárez Ibujés, M. O., & Tapia Zambrano, F. A. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*.

Walker, G. P. L. (1973). Explosive volcanic eruptions — a new classification scheme. *Geologische Rundschau*, 62(2), 431–446. <https://doi.org/10.1007/BF01840108>

Wilson, L. (1976). Explosive Volcanic Eruptions—III. Pli-

nian Eruption Columns. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 45(3), 543–556. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1976.tb06909.x>

6. Anexos

Valores Aleatorios									
26014	598	3400	22505	29079	6942	21798	7442	18029	21536
14276	2859	9124	10665	19668	19680	8576	8824	12349	3640
17058	23622	22447	27111	18490	5984	9376	21327	15731	13829
14494	17227	21115	11602	2519	24998	27125	15809	16048	24832
12014	8505	17973	27332	21195	19776	16920	4344	28644	5779
5200	22492	5339	15503	19242	25359	152	4552	19463	18660
12623	27313	29157	2489	25871	2409	3374	20387	9043	4677
16502	19688	15764	21891	7731	4057	22761	9880	1813	7613
18256	22753	10179	6987	25490	15260	24905	141	13390	5770
5074	4227	25984	24973	1753	3953	4267	11118	25405	8670
2698	27787	19613	1134	12450	19020	19073	10773	24160	19137
25342	16010	677	19517	8695	25430	13817	29364	12807	25776
9035	17464	25944	14777	8425	1069	19210	16084	19924	27256
14722	21861	26604	8910	19935	28980	21560	10832	29574	311
972	21555	6511	18753	6750	523	19218	29339	15939	28511
28751	3842	12073	1713	5015	23541	21959	11233	8945	19578
15189	22022	18283	24331	16667	23119	15488	9375	25139	10240
27022	882	22132	12444	22976	21229	26686	4038	5751	335
19301	3340	29263	20258	25779	27268	10397	22929	17170	22584
8793	20538	28942	23364	15766	14193	1658	25225	21965	28199
21652	2614	25020	15688	4634	8667	6970	12150	7088	8978
16173	21896	17916	21998	4581	13431	18416	9340	3045	14300

Anexo 1. Valores Aleatorios La Niña

Fuente: Elaboracion Propia



Universidad
Indoamérica

Arquitectura
2024