Universidad Estatal de Bolívar

Facultad de Ciencias de la Salud y del ser Humano

Carrera de Ingeniería en Riesgo de Desastres

Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniería en Riesgo de Desastres.

Tema:

"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA SÍSMICA EN EL BARRIO PELILEO GRANDE DEL CANTÓN PELILEO EN LA PROVINCIA TUNGURAHUA"

AUTORES: CHELA REA NESTOR RIGOBERTO

PEPE GUILCAPI ANTHONY ALEXANDER

DIRECTOR: DR. JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO

Guaranda - 2026

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR

Guaranda, 04 de septiembre de 2026.

El suscrito **Dr. José Abelardo Paucar Camacho,** en calidad de Docente Tutor del Proyecto de Investigación de Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ANTE LA AMENAZA SÍSMICA EN EL BARRIO PELILEO GRANDE DEL CANTÓN PELILEO EN LA PROVINCIA TUNGURAHUA", previa a la obtención del título de Ingeniería en Riesgos de Desastres; realizado por los señores: Chela Rea Nestor Rigoberto y Pepe Guilcapi Anthony Alexander, ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE ABELARDO PAUCAR CAMACHO

DR. JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Chela Rea Nestor Rigoberto portador de la Cédula de Identidad No 0202363552 y Pepe Guilcapi Anthony Alexander, portador de la Cédula de Identidad No 0606364420 en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica en el barrio Pelileo Grande del cantón Pelileo en la provincia Tungurahua, modalidad Proyecto de Investigación de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



CHELA REA NESTOR RIGOBERTO
FIRMA



PEPE GUILCAPI ANTHONY ALEXANDER
FIRMA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación a mi madre Rosa Pepe a ella que me enseño el significado de perseverancia, constancia, honestidad y de trabajo duro gracias a sus consejos y a su amor infinito hacia mí, a mis hermanas Daniela, Irene, Alan por ser mi apoyo moral por no dejarme derrumbar cunado los días fueron sombríos, a Mónica y Elliot las personas más importantes que llegaron a mi vida gracias por absolutamente todo, en general agradecer a todas las personas que me bridaron un consejo una palabra o su tiempo gracias totales, a la persona que marco mi vida me cuido y me enseño el andar de la vida y hoy ya no está en esta vida terrenal.

¡¡ Esta va por y para ti José María Pepe¡¡

Anthony Alexander Pepe Guilcapi

Dedico a Dios, por darme fuerza, sabiduría y resiliencia durante el proceso académico y culminar esta etapa universitaria, a mis padres por el apoyo moral que siempre están presentes en mi corazón, por creer en mí y acompañarme en esta etapa. A mi pequeña familia, mi esposa y mi hijo Thiago Maximiliano Chela, mi pilar fundamental, mi mayor inspiración y la razón de todo mi esfuerzo y, por último, a mis docentes por haber sembrado en mí los conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos en el crecimiento profesional.

Nestor Rigoberto Chela Rea

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a la Universidad Estatal de Bolívar, aquella institución que nos enseñó a forjar nuestro carácter, ético y moral para llegar a ser unos profesionales a carta cabal.

A nuestros docentes quienes a lo largo del camino compartieron sus conocimientos, nos brindaron su apoyo, nos ayudaron a salir adelante después de algún tropiezo, gratitud total. De manera especial hacer llegar un gran y fraterno abrazo y un agradecimiento inmenso a nuestro tutor PhD. Abelardo Paucar, por ser nuestra guía y no solo en el desarrollo del proyecto de investigación también durante nuestra vida académico, también a nuestros pares académicos Ing. Numa Gaibor, Ing. Jorge Analuisa por su paciencia y disponibilidad y la guía que nos supieron brindar para que nuestro trabajo de titulación sea de éxito.

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR A LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN. 3

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR 4

DEDICATORIA 5

AGRADECIMIENTO 6

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR A LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR 7

ÍNDICE GENERAL 8

ÍNDICE DE TABLAS 11

ÍNDICE DE MAPAS 12

ÍNDICE DE FIGURAS 12

ÍNDICE DE ANEXOS 12

RESUMEN 14

INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO I 18

1.1. Planteamiento del Problema 18

1.1.1 Formulación del Problema 20

1.2. Justificación 20

1.3. Objetivos 22

1.3.1. Objetivo General 22

1.3.2. Objetivos Específicos 22

1.4. Variables....22

1.4.1. Operacionalización de Variables....23

CAPÍTULO II....29

2.1. Referencial o Georreferencial....29

2.1.1. Localización del Área de Estudio....34

2.2. Antecedentes de Investigación....36

2.3. Fundamento de la Amenaza Sísmica....38

2.3.1. Contextualización de la Amenaza Sísmica....41

2.3.2. Amenaza Sísmica en el Ecuador....42

2.3.3. Zonificación Sísmica....44

2.4. Sistema de Agua Potable....45

2.4.1. Vulnerabilidad Física de los Sistemas de Agua Potable....46

2.4.2. Componentes del Sistema de Agua Potable....48

2.4. Marco Legal....55

2.5. Marco Conceptual....58

2.5.1. Glosario de Términos....58

CAPÍTULO III....61

METODOLOGÍA....61

3.1. Tipo de Investigación....61

3.2. Enfoque de la Investigación....61

3.3. Métodos de Investigación....62

3.3.1. Método Analítico 62

3.3.2. Método Descriptivo 62

3.3.3. Método Heurístico 63

3.4. Diseño de la investigación 63

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos 64

3.6. Universo, Población y Muestra 66

3.7. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información 66

CAPÍTULO IV 77

RESULTADOS 77

4.1. Resultado del Objetivo 1: 77

4.1.1. Reseña Histórica de la sismicidad del barrio Pelileo Grande 77

4.1.2. Zonificación Sísmica de la NEC 79

4.1.3. La microzonificación sísmica en base a la información del GAD del cantón Pelileo 82

4.2. Resultado del Objetivo 2: 85

4.2.1. Vulnerabilidad en los Componentes 85

4.2.2. Cartografía de la vulnerabilidad del sistema de agua del barrio Pelileo Grande ante sismos 92

4.3. Resultado del Objetivo 3: 95

CAPÍTULO V 100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 100

5.1. Conclusiones 100

5.2. Recomendaciones.....101

ANEXOS 106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variable Independiente 23

Tabla 2 Variable Dependiente.....24

Tabla 3 Diagnóstico operativo de Juntas Administradoras de Agua Potable y Alcantarillado por parroquia en el cantón San Pedro de Pelileo 54

Tabla 4 Tabla de ponderación del componente de Captación.....69

Tabla 5 Tabla de ponderación del componente de Conducción 70

Tabla 6 Tabla de ponderación del componente de Tratamiento 71

Tabla 7 Tabla de ponderación del componente de Distribución (tanque).....73

Tabla 8 Tabla de ponderación del componente de Distribución (tubería) 74

Tabla 9 Tabla de Rangos de índices y niveles de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable.....76

Tabla 10 Valores establecidos del factor Z en función de la zona sísmica del área de estudio 81

Tabla 11 Tipo de suelo.....84

Tabla 12 Calificación de la vulnerabilidad de la Captación ante una amenaza sísmica 86

Tabla 13 Calificación de la vulnerabilidad de la Conducción ante una amenaza sísmica.....87

Tabla 14 Calificación de la vulnerabilidad del Tratamiento ante una amenaza sísmica 89

Tabla 15 Calificación de la vulnerabilidad del Tanque de distribución ante una amenaza sísmica.....90

Tabla 16 Calificación de la vulnerabilidad de la Red de Distribución ante una amenaza sísmica.....91

Tabla 17 Resumen de componentes del sistema de agua potable con nivel de vulnerabilidad 94

Tabla 18 Matriz de las Medidas Estructurales 95

Tabla 19 Matriz de las Medidas No Estructurales 97

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Georreferencia y división política.....29

Mapa 2 Mapa de ubicación detallada del área de estudio 35

Mapa 3 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z 80

Mapa 4 Microzonificación sísmica en base a la información del GAD cantonal de San Pedro de Pelileo. 83

Mapa 5 Vulnerabilidad del sistema de agua del bario Pelileo Grande ante sismos....93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Terremoto de Ambato, 1949.....32

Figura 2 Pelileo terremoto de 1949.....33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha de campo para la evaluación de la Red de Distribución del Sistema de Agua Potable.....106

Anexo 2 Registro del tramo del ciénego.....109

Anexo 3 Registros Fotográficos.....110

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el barrio Pelileo Grande, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, cuya localidad fue afectada por el terremoto de 1949 que provocó daños en las infraestructuras esenciales como el agua potable. El trabajo tiene por objetivo evaluar la vulnerabilidad física del sistema de agua potable frente a la amenaza sísmica. La metodología de la investigación es heurística, de tipo transversal con alcance descriptivo y diseño no experimental, se aplicaron métodos analíticos y descriptivos, complementados con la técnica de observación directa, revisión documental y levantamiento de información en campo. En relación a la evaluación de la amenaza sísmica se analizaron antecedentes históricos sobre las condiciones geotécnicas y parámetros de zonificación sísmica, mientras que en la vulnerabilidad física se utilizaron indicadores sobre cada uno de los componentes del sistema de agua potable. Los resultados obtenidos evidenciaron que el barrio está expuesto a un evento sísmico por la ubicación geográfica dentro de una región sísmica activa por antecedentes históricos como el terremoto de 1949; se identificó los cuatro componentes del sistema de agua potable donde se refleja las condiciones de la vulnerabilidad física: captación posee un índice de 16 puntos con un nivel bajo, conducción y tratamiento con 39,5 puntos representa un nivel medio y distribución (el tanque de distribución con 39,5 puntos que corresponde a un nivel medio y la red de distribución catalogado con 32 equivalente a un nivel bajo). Se concluye que la suma de la alta amenaza sísmica y la presencia de elementos vulnerables dentro del sistema incrementan el nivel de la vulnerabilidad, afectando al servicio de agua potable ante un evento sísmico, por tal razón, se propone la implementación de las medidas preventivas y correctivas para la reducción de la vulnerabilidad del sistema de agua ante la amenaza sísmica.

Palabras Claves: *Amenaza Sísmica, Vulnerabilidad Física, Componente del Sistema de Agua Potable, Zonificación Sísmica, Exposición.*

ABSTRACT

The research was conducted in the Pelileo Grande neighborhood (Pelileo Canton, Tungurahua Province), an area affected by the 1949 earthquake, that caused damage to essential infrastructure, including the potable water system. The study aims to evaluate the physical vulnerability of the potable water system in the face of seismic hazards. The research employed a heuristic methodology with a descriptive scope and a non-experimental, cross-sectional design; analytical and descriptive methods were used, complemented by direct observation, document review, and field data collection. Regarding the seismic hazard assessment, historical data on geotechnical conditions and seismic zoning parameters were analyzed, while the physical vulnerability assessment utilized indicators for each component of the potable water system. The results demonstrated that the neighborhood is exposed to seismic events due to its geographic location within an active seismic region as evidenced by historical events like the 1949 earthquake and identified the four components of the potable water system that reflect the conditions of physical vulnerability: water collection has a score of 16 points, indicating a low level; with 39,5 points, represent a moderate level; and distribution (the distribution tank, with 39,5 points, correspond to a moderate level, while the distribution network, with 32 points, corresponds to a low level). It is concluded that the combination of high seismic hazard and the presence of vulnerable system elements increases physical vulnerability, thereby compromising the drinking water service in the event of an earthquake; consequently, the implementation of preventive and corrective measures is proposed to reduce the water system's vulnerability to seismic hazards.

Keywords: *Seismic Hazard, Physical Vulnerability, Drinking Water System Component, Seismic Zoning, Exposure.*

INTRODUCCIÓN

La condición geodinámica del Ecuador es muy compleja y se encuentra dentro de una zona tectónica activa por la presencia de la placa de Nazca en conjunto con la placa Sudamericana y su influencia sobre ella, ha llevado a un gran desarrollo sísmico. Este contexto geotectónico sitúa al país en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la actividad sísmica ocurre regularmente y a veces con magnitudes altas. Por tal razón, se considera que los movimientos sísmicos se convierten en uno de los mayores peligros para los asentamientos humanos y las actividades de infraestructura que son de importancia crítica, especialmente en la zona interandina (Alvarado & Antipolis, 2014).

Tungurahua, la provincia de la zona central en Ecuador, presenta peligros geológicos y geográficos que hacen que la actividad sísmica sea frecuente. El volcán Tungurahua y las áreas de fallas geológicas actuales crean un entorno de "alta amenaza natural". La situación vulnerable actual en la región se refleja en terremotos pasados que han experimentado eventos significativos muy frecuentes en la región (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2015), como el terremoto de 1949 que golpeó fuertemente a Ambato y Pelileo. En este sentido, el cantón de San Pedro de Pelileo requiere de manera urgente una investigación técnica, porque el cantón está estratégicamente ubicado dentro de la provincia y tiene poblaciones que dependen de infraestructura necesaria como el suministro de agua. Estos sistemas son bloques fundamentales para la salud de una población y son propensos a fallar en un evento sísmico donde muestran condiciones físicas de vulnerabilidad asociadas con el diseño, la antigüedad o el estado de conservación de los sistemas (OPS, 2007).

La amenaza sísmica y la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable deben examinarse desde el ámbito de la gestión del riesgo de desastres como una construcción de interacción de ambos factores. Por eso es importante para la formulación de planes de mitigación, el fortalecimiento de la resiliencia territorial de la infraestructura y la evaluación

de la vulnerabilidad física donde permita la identificación de debilidades estructurales y funcionales (UNDDR, 2019).

De esta manera el presente estudio consiste en investigar los antecedentes de la amenaza sísmica y determinar el impacto de la vulnerabilidad física de los componentes del sistema de agua potable en el cantón Pelileo, especialmente en el barrio urbano de Pelileo Grande, todo esto genera el uso técnico de herramientas para la recolección de datos donde se implementen dentro de la planificación territorial para reducir los peligros futuros por un evento sísmico y sobre todo un acceso seguro del abastecimiento de agua para la población. La presente investigación se encuentra estructurada en cinco capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo I: se identifica el problema, planteando la formulación del problema para luego elaborar la pregunta de investigación, se construye la justificación, objetivos y variables.

Capítulo II: se define el marco teórico, considerando los antecedentes referenciales y de investigación que se relacionan con el tema, definiendo las bases teóricas que detallan las variables como el fundamento de la amenaza sísmica y vulnerabilidad física del sistema de agua potable, marco legal y glosario de términos.

Capítulo III: se plantea el marco metodológico, que contiene el tipo de investigación, enfoque de la investigación, métodos utilizados en la investigación para definir los instrumentos que se utilizaran para la recopilación de datos, especificando las técnicas de análisis y procesamiento de la información.

Capítulo IV: se detallan los resultados obtenidos por cada objetivo a través de las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de información de la zona de estudio.

Capítulo V: dentro de este capítulo se determina las conclusiones y recomendaciones sobre los resultados y en concordancia con los objetivos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Los sistemas de agua potable constituyen una infraestructura esencial para garantizar el abastecimiento de agua, manteniendo condiciones con el cuidado de la salud pública y atención ante situaciones de emergencia, particularmente en escenarios que están expuestos a las amenazas geológicas. Diversos estudios han demostrado que los eventos sísmicos generan impactos directos y severos sobre las redes hidráulicas, afectando los componentes estructurales y no estructurales como tuberías, tanques de almacenamiento, válvulas, estaciones de bombeo y sistemas de conducción, lo que provoca interrupciones prolongadas del servicio y limita la capacidad de respuesta comunitaria en situaciones de crisis (O'Rourke, 1993).

La interacción entre los procesos físicos que los terremotos generan y la infraestructura hidráulica ha hecho que, a nivel mundial, se reconozca la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua ante estos fenómenos como un elemento esencial en la gestión del riesgo de desastres. Estos procesos incluyen licuefacción del suelo, desplazamientos diferenciales, fallamiento superficial y deformaciones permanentes del terreno (Hazus, 2024). Estas condiciones no solo afectan la integridad física y funcional de los sistemas, sino que dependiendo de las características de la infraestructura puede ocasionar la contaminación del recurso hídrico e influir en la continuidad operativa en momentos de alta demanda social.

En Latinoamérica, esta problemática se ve influenciada por circunstancias estructurales de carácter histórico, como la falta de mantenimiento, el deterioro de las infraestructuras, el crecimiento urbano desorganizado y las restricciones para incluir criterios sismorresistentes en la concepción y funcionamiento de los sistemas de agua potable

(Organización Panamericana de la Salud, 2009). Estas condiciones incrementan la vulnerabilidad del sistema ante eventos sísmicos de mediana y alta magnitud.

Ecuador, por estar situado geodinámicamente en el Cinturón de Fuego del Pacífico, está constantemente expuesto a movimientos sísmicos relacionados con procesos de subducción y fallas corticales. Esto crea un ambiente de riesgo estructural para los sistemas de infraestructura básica (Quinde Martínez & Angulo, 2016). Debido a la condición tectónica se han registrado antecedentes históricos de eventos sísmicos de gran impacto para la población, lo que pone en evidencia la vulnerabilidad en especial de los sistemas vitales ante la ocurrencia de un sismo.

En la provincia Tungurahua, principalmente en el cantón Pelileo, existen antecedentes históricos relevantes de la amenaza sísmica, entre los que se destaca el terremoto de 1949, que trajo consecuencias devastadoras para la población e infraestructura de la zona. Este suceso demostró que evidencia la importancia de considerar la amenaza sísmica en esta zona (Parra Ortíz, 2019).

La red del sistema de agua potable en el barrio Pelileo Grande es la fuente principal de abastecimiento para los habitantes y desempeña un papel clave para proteger la salud, seguridad del agua y la capacidad de respuesta frente a situaciones de emergencia. No obstante, a pesar de su relevancia, no existe en la actualidad una evaluación técnica sistemática que posibilite determinar el grado de vulnerabilidad física de sus elementos ante una amenaza sísmica. Otro de los aspectos es que no se han realizado un análisis de las condiciones físicas, donde se identifique zonas críticas, áreas con mayor exposición y factores relacionados con el comportamiento del suelo de las infraestructuras hídricas.

Lo antes mencionado genera que la comprensión técnica tenga una diferencia en relación a la planificación, reducción de los riesgos y elaboración de estrategias con el fin de disminuir la vulnerabilidad, lo que impide la capacidad a nivel institucional y comunitario por

eso es fundamental dar prioridad a las intervenciones y fortalecer la resiliencia de los sistemas. En este escenario, la falta de información científica se convierte en un factor que incrementa el riesgo potencial, ya que impide la toma de decisiones fundamentadas para la protección de un servicio básico esencial (ONU, 2015).

Por lo tanto, se presenta un problema de carácter estructural y técnico relacionado con la presencia de una amenaza sísmica en el territorio sobre la infraestructura hídrica. Esta situación influye en el comportamiento del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande en caso de que ocurra un sismo con magnitud significativa. Esta circunstancia respalda la necesidad de llevar a cabo un estudio enfocado en evaluar, desde el punto de vista técnico la vulnerabilidad física del sistema servirá como fundamento para elaborar estrategias de reducción de riesgos y fortalecimiento de la continuidad del sistema.

1.1.1 Formulación del Problema

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad física del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande, en el cantón Pelileo, frente a la amenaza sísmica?

1.2. Justificación

La evaluación nace por la necesidad de comprender el efecto de la amenaza sísmica sobre la vulnerabilidad física del sistema de agua para el consumo humano en el barrio de Pelileo Grande, cantón San Pedro de Pelileo. La provincia Tungurahua está sujeta a una particular situación geodinámica, lo que deja a la región potencialmente vulnerable a la actividad sísmica dentro del territorio, con severas ramificaciones de influencia en la infraestructura esencial y el bienestar de las personas (MIDUVI, 2015). Con los antecedentes sísmicos existentes en el país y consecuentemente en la ciudad de Ambato, se considera pertinente realizar una investigación y análisis de vulnerabilidad física de los componentes del sistema.

Para la gestión de riesgos de desastres, un factor relevante es el sistema de agua para el consumo humano que es conocido como una infraestructura clave que proporciona el abastecimiento de agua para la población y servicios requeridos en especial para otras actividades. Por esta razón es fundamental conocer la amenaza sísmica que pone en peligro a una comunidad afectando las tuberías, taques de almacenamiento y redes de distribución, lo que dificultaría la prestación de los servicios aumentando la vulnerabilidad de los mismos. Donde las condiciones físicas y territoriales de vulnerabilidad en el sistema de agua deben ser abordadas para mejorar las capacidades de respuesta del sistema de agua potable.

El estudio también posee cuestiones sociales y territoriales porque se proporcionará datos técnicos, permitiendo a las autoridades locales y actores comunitarios obtener información estratégica y táctica sobre la evaluación y condiciones físicas del sistema de agua potable ante una amenaza sísmica que mejorará la planificación territorial. De esta manera, los resultados podrían guiar e incorporarse en las estrategias preventivas que están sustentadas sobre las condiciones observadas del sistema esencial en la población de Pelileo Grande y al integrar las variables del PNUD en el análisis metodológico de la vulnerabilidad física, se fortalecerá el enfoque académico y científico del estudio.

Con esta investigación se contribuirá a la concientización de la vulnerabilidad a la cual está expuesto el sistema de agua potable, donde se pueda añadir información en aspectos de gestión del riesgo de desastres y preservación de infraestructuras ante la ocurrencia de un sismo.

.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la vulnerabilidad física del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande, en el cantón Pelileo, frente a la amenaza sísmica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la amenaza sísmica presente en el área de estudio, a partir del análisis de antecedentes históricos y diferentes condiciones.
- Determinar la vulnerabilidad física de los componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica.
- Proponer medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción de la vulnerabilidad física del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande.

1.4. Variables

Independiente: Amenaza sísmica

Dependiente: Vulnerabilidad física de los componentes del sistema de agua potable

1.4.1. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Variable Independiente

Variable	Concepto / Descripción	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Amenaza sísmica	Probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico capaz de generar daños en el sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande, se determina por las condiciones tectónicas, geológicas y parámetros de movimiento del suelo que caracterizan el área de estudio.	Historia sísmica	Eventos sísmicos registrados	Escala de magnitud (Mw) e intensidad (Mercalli Modificada)
			Magnitud histórica de los sismos	
			Intensidad sísmica observada	
		Zonificación sísmica	Zona sísmica según normativa nacional	Escala ordinal
			Factor de zona sísmica (Z)	
		Condiciones locales del sitio	Tipo de suelo	Escala ordinal (Suelos D y E)

Nota: *Esta tabla se muestra la variable independiente, descripción, dimensión e indicadores y las escalas de medición para la respectiva investigación.*

Tabla 2

Variable Dependiente

Variable	Concepto / Descripción	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Vulnerabilidad física del sistema de agua potable	Grado de susceptibilidad que presentan los componentes del sistema de agua potable para sufrir daños físicos ante la ocurrencia de un evento sísmico, en función de sus características constructivas, estado de conservación, antigüedad y condiciones de emplazamiento.	Captación	Estudios técnicos para cimentación	▪ Se realizó estudios y se aplico ▪ Se realizó estudios, pero no se aplico ▪ No se realizó estudios
			Material de construcción	▪ Hormigón ▪ Asbesto cemento ▪ Mampostería de piedra y/o de ladrillo
			Antigüedad	▪ 0 a 25 años ▪ 25 a 50 años ▪ > de 50 años
			Estándares de diseño y construcción	▪ Ninguna ▪ Norma IEOS ▪ Norma MIDUVI o local
			Mantenimiento	▪ Planificado ▪ Esporádico ▪ Ninguno
			Estado actual	▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo
			Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	▪ Se planifica y ejecuta ▪ Se planifica, pero no se ejecuta ▪ No se planifica ni ejecuta

		Conducción	Estudios técnicos para la estabilidad del terreno	▪ Se realizó estudios y se aplico ▪ Se realizó estudios, pero no se aplico ▪ No se realizó estudios
			Material de construcción	▪ PVC ▪ Hierro Dúctil (HD) ▪ Asbesto cemento
			Antigüedad	▪ 0 a 25 años ▪ 25 a 50 años ▪ > de 50 años
			Estándares de diseño y construcción	▪ Ninguna ▪ Norma IEOS ▪ Norma MIDUVI o local
			Mantenimiento	▪ Planificado ▪ Esporádico ▪ Ninguno
			Estado actual	▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo
			Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	▪ Se planifica y ejecuta ▪ Se planifica, pero no se ejecuta ▪ No se planifica ni ejecuta
		Tratamiento	Estudios técnicos para la estabilidad del terreno	▪ Se realizó estudios y se aplico ▪ Se realizó estudios, pero no se aplico ▪ No se realizó estudios
			Material de construcción	▪ Planta DAFFI: Acero Inoxidable-Aceros y hormigón

				▪ Planta de hormigón ▪ Planta prefabricada ▪ Planta metálica ▪ Planta de asbesto cemento ▪ Planta de mampostería de ladrillo
			Antigüedad	▪ 0 a 25 años ▪ 25 a 40 años ▪ > de 40 años
			Estándares de diseño y construcción	▪ Ninguna ▪ Norma IEOS ▪ Norma MIDUVI o local
			Mantenimiento	▪ Planificado ▪ Esporádico ▪ Ninguno
			Estado actual	▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo
			Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	▪ Se planifica y ejecuta ▪ Se planifica, pero no se ejecuta ▪ No se planifica ni ejecuta
		Distribución (tanque de captación)	Estudios técnicos para la estabilidad del terreno	▪ Se realizó estudios y se aplico ▪ Se realizó estudios, pero no se aplico ▪ No se realizó estudios
			Material de construcción	▪ Hormigón armado ▪ Ferro cemento ▪ Mampostería de ladrillo

				▪ Mampostería de piedra
			Antigüedad	▪ 0 a 25 años ▪ 25 a 40 años ▪ > de 40 años
			Estándares de diseño y construcción	▪ Ninguna ▪ Norma IEOS ▪ Norma MIDUVI o local
			Mantenimiento	▪ Planificado ▪ Esporádico ▪ Ninguno
			Estado actual	▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo
			Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	▪ Se planifica y ejecuta ▪ Se planifica, pero no se ejecuta ▪ No se planifica ni ejecuta
		Red de distribución	Estudios técnicos para la estabilidad del terreno	▪ Se realizó estudios y se aplico ▪ Se realizó estudios, pero no se aplico ▪ No se realizó estudios
			Material de construcción	▪ PVC ▪ Hierro Dúctil (HD) ▪ Politubo ▪ Asbesto cemento
			Antigüedad	▪ 0 a 25 años ▪ 25 a 50 años ▪ > de 40 años

			Estándares de diseño y construcción	▪ Ninguna ▪ Norma IEOS ▪ Norma MIDUVI o local
			Mantenimiento	▪ Planificado ▪ Esporádico ▪ Ninguno
			Estado actual	▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo
			Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	▪ Se planifica y ejecuta ▪ Se planifica, pero no se ejecuta ▪ No se planifica ni ejecuta

Nota: *Esta tabla se muestra la variable dependiente, descripción, dimensión e indicadores y las escalas de medición para la respectiva investigación.*

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Referencial o Georreferencial

La provincia Tungurahua cuenta con una extensión de 3.386,25 km^2 y consta de una división política en donde se presentan los cantones que conforma el territorio provincial, entre ellos destacando el cantón Pelileo con una extensión de aproximadamente de 202,98 km^2 que es la zona de estudio para la presente investigación.

Mapa 1

Georreferencia y división política



Nota: *El mapa muestra la división política de los cantones de Ambato. Información obtenida del Instituto Geográfico Militar (IGM).*

El mapa muestra la división político-administrativa de la provincia Tungurahua en la región central de la Sierra ecuatoriana. Su disposición pertenece al sistema interandino ecuatoriano y está integrada en la cuenca hidrográfica del río Pastaza. Presenta un relieve montañoso a lo largo de la Cordillera de los Andes como una importante red hidrográfica que define el territorio provincial (IGM, 2013).

Desde un punto de vista territorial, Tungurahua consta de nueve cantones: Ambato, Baños de Agua Santa, Cevallos, Mocha, Patate, Quero, San Pedro de Pelileo, Santiago de Píllaro y Tisaleo. Estos cantones forman elementos político-administrativos con capacidades en el marco de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) ecuatorianos (INEC, 2022).

En la parte central del mapa, se encuentra el cantón Ambato, que incluye la capital provincial y Tungurahua, es su principal centro urbano, económico y administrativo. Este cantón, comprende la mayoría de la población de la provincia, sirve como el eje de articulación territorial de los sistemas productivos, comerciales y de servicios en la (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2019).

La parte oriental de la provincia consta de los cantones de San Pedro de Pelileo, Patate y Baños de Agua Santa en áreas que influyen fuertemente en las condiciones geológicas y geomorfológicas asociadas al volcán Tungurahua, uno de los volcanes activos en Ecuador. Como resultado, este estado geográfico ha establecido procesos regionales relacionados con la gestión del riesgo volcánico, el turismo y el desarrollo productivo en el territorio (INEC, 2022).

En el lado occidental y sur se encuentran los cantones de Cevallos, Mocha, Quero y Tisaleo. Estos territorios, por otro lado, tienen una fuerte orientación agrícola y ganadera. Estas zonas representan áreas de producción agrícola significativas en la región andina, principalmente

en cultivos de ciclo corto, producción de frutas y ganadera, que abastecen a los mercados locales y regionales (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

Desde la perspectiva cartográfica, ofrece la representación espacial de los cantones en la provincia de Tungurahua y su interacción física con los componentes hidrográficos más importantes en el mapa.

La introducción de componentes del mapa, incluida la escala gráfica y la orientación geográfica, ayuda a interpretar el territorio y a comprender la configuración espacial de la provincia. En el contexto del estudio actual, el mapa es un instrumento importante para localizar el cantón de San Pedro de Pelileo en Tungurahua (la provincia donde se llevará a cabo el análisis). Esto puede considerarse una representación cartográfica que enmarca la ubicación espacial del área de estudio y la interpretación respecto a la relación del área de estudio con el entorno territorial provincial.

La dinámica tectónica activa que caracteriza a la zona andina central del Ecuador ha expuesto históricamente a la ciudad de Ambato y su zona de influencia a eventos sísmicos relevantes. La interacción entre las placas tectónicas y la existencia de fallas geológicas activas crean un ambiente de constante riesgo sísmico, en el que es posible que ocurran nuevos terremotos en cualquier momento y que esto tenga potenciales efectos humanos, socioeconómicos y materiales significativos. (Quinde Martínez & Angulo, 2016)

Figura 1

Terremoto de Ambato, 1949



Nota: *La figura muestra la intensidad del sismo ocurrido en la ciudad de Ambato en el año de 1949. Información tomada del* (IGEPN, 2011).

Los sismos son fenómenos naturales que causan impactos con fuerza en la infraestructura que son las más vulnerables. Entre una de las principales y vitales construcciones para la humanidad son las infraestructuras del sistema de agua potable, los servicios vitales que hoy recibe la humanidad, esta situación hace que sea necesario realizar una evaluación de las vulnerabilidades presentes. Cabe mencionar que los movimientos sísmicos generan también otros fenómenos geológicos secundarios que afectan directamente estas obras como (fallamiento, desplazamientos, levantamientos tectónicos, subsidencia del terreno, efecto del sitio y la licuación), cuando progresivamente otros efectos (Galbán, González, 2021).

El 5 de agosto de 1949 tuvo lugar uno de los sucesos más emblemáticos de esta amenaza, el terremoto de Ambato, que se estima tuvo una magnitud cercana a 6,8 en la escala Richter. La devastación casi completa del asentamiento urbano de Pelileo en aquel momento fue causada por

este terremoto, siendo el área de Pelileo Viejo la que sufrió el mayor impacto. El evento tuvo consecuencias catastróficas, con miles de víctimas y daños directos en cerca de 5.000 hogares, además del desplome masivo de edificaciones emblemáticas, casas e infraestructura fundamental (Parra Ortíz, 2019).

Figura 2

Pelileo terremoto de 1949



Nota: *La figura muestra los acontecimientos y pérdidas materiales que dejo el terremoto de 1949 al barrio Pelileo. Foto de los archivos del* (IGEPN, 2011).

Uno de los factores importantes para la sociedad es el abastecimiento del agua potable ya que provee un uno de los elementos fundamentales para los habitantes ya que el agua es vida, es por ello que su correcto funcionamiento debe ser prioritario, si hay problemas y existe ausencia del mismo puede causar impactos negativos dentro de la salud, por eso se hace necesario contar con una análisis de vulnerabilidad de esta infraestructura desde su captación, conducción, tratamiento y distribución, con el fin de mantener un adecuado manejo y administración de las instalaciones (Moscoso Vintimlla et al., 2021).

2.1.1. Localización del Área de Estudio

Uno se los cantones que comprende la provincia Tungurahua es San Pedro de Pelileo, que se localiza a 17 km de la ciudad de Ambato. Se limita al norte con los cantones Píllaro y Ambato, al sur la provincia Chimborazo y cantones Penipe y Guano, al este los cantones Patate y Baños de Agua Santa y al oeste los cantones Quero y Cevallos.

Pelileo es conocida como la “Ciudad Azul”, considerada como el tercer cantón más poblado que se encuentra a 2600 msnm, tiene un clima templado y seco. El área de estudio es el barrio Pelileo Grande como se evidencia en la representación cartográfica, donde parte de su territorio tiene pendientes fuertes y contiene una red de drenaje muy densa.

Mapa 2

Mapa de ubicación detallada del área de estudio



Nota: *El mapa muestra la ubicación geográfica del barrio Pelileo Grande del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua. Dato tomado del GAD de Pelileo.*

2.2. Antecedentes de Investigación

Para el desarrollo del proyecto de investigación se tomaron en consideración los siguientes antecedentes:

A nivel internacional, Trujillo en su proyecto de investigación denominado “Redes de agua y desagüe: fenómenos sísmicos y recomendaciones de diseño en el distrito de Huacho 2019”, tiene por objetivo brindar recomendaciones para diseñar la red de agua potable que minimice los impactos al momento de la ocurrencia de un fenómeno sísmico en la ciudad de Huacho, 2019. La investigación tiene un diseño descriptivo, no experimental y un enfoque mixto. El instrumento que se utilizo fue la encuesta para conocer el estado actual de las redes de agua y desagüe aplicada a los habitantes del distrito de Huacho. Los resultados reflejaron que los movimientos sísmicos producen 2 efectos en las redes de tuberías: deformaciones que se mantiene en el suelo como son los deslizamientos, deformaciones, caída de rocas entre otras las cuales se dan por los eventos sísmicos. Se concluyó que la metodología aplicada en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las redes de tuberías mediante la recopilación de los datos se elaboró un plan de mitigación y respuesta ante un evento sísmico (Velasquez, 2019).

En el trabajo de investigación por Mejía y Solorza titulado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del tanque de almacenamiento de agua potable Monteblanco en la localidad de Usme, Bogotá D.C”, tiene por objetivo central evaluar la vulnerabilidad sísmica del Tanque Monteblanco, en la localidad de la ciudad de Bogotá, la metodología aplicada se centra en la recolección de información estructural y características físicas sobre el análisis del comportamiento de las cargas estáticas y dinámicas tanque de almacenamiento de agua potable Monteblanco. Los resultados obtenidos evidencian que el estado actual del tanque está comprometiendo su capacidad estructural para enfrentar un evento sísmico, esencialmente si se

considera como función dentro del sistema de abastecimiento del agua potable. Se concluyó que el tanque evaluado debe fortalecer la resiliencia estructural en base a las infraestructuras hidráulicas, sobre criterios técnicos (Mejia & Solorza, 2025).

A nivel nacional Arellano, realizó la investigación: "Vulnerabilidad sísmica del sistema de agua potable de la Comunidad Queseras de la parroquia Veintimilla del cantón Guaranda período octubre 2023-febrero 2024", que tiene por finalidad determinar la vulnerabilidad sísmica del sistema de agua potable de la comunidad Queseras. El diseño de investigación es de tipo descriptiva, documental y de campo. Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron la observación directa del estado actual y aplicando la metodología del PNUD al sistema de agua potable, entrevistas estructuradas al presidente de la comunidad y un modelamiento a través del software conocido como WaterCad. Los resultados de la investigación evidencian que para la evaluación de la vulnerabilidad física estructural tiene un nivel medio y la vulnerabilidad funcional arrojó un nivel medio en base a la metodología aplicada, en cambio en el modelamiento del programa se obtuvo que los tanques rompen presión y las líneas de conducción y distribución se encuentran en óptimas condiciones, los valores de la presión y velocidades si cumplen con la normativa vigente. En conclusión, se establecieron acciones correctivas considerando que el sistema de agua potable es vulnerable (Romero, 2024).

De acuerdo a la investigación de (Carrillo & Tualombo, 2021) denominada: "Análisis de la vulnerabilidad funcional del sistema de agua potable en el área urbana de la ciudad del San Miguel, provincia Bolívar, periodo 2021", tiene como objetivo central analizar el nivel de vulnerabilidad funcional del sistema de agua potable, la muestra es la población del área urbana de la ciudad de San Miguel. El diseño de la investigación es de tipo exploratorio, descriptivo, es decir la metodología de la investigación es combinada en base a la matriz del PNUD y la

Organización Panamericana de la Salud sobre variables funcionales, entrevista a funcionarios y encuestas a la población. Los resultados obtenidos reflejan que el sistema de agua potable del área urbana de la ciudad en lo que respecta a la vulnerabilidad funcional tiene un valor de 47 puntos es decir una vulnerabilidad media. Se concluye que se debe generar una propuesta de un plan de contingencia para reducir las vulnerabilidades identificados en el aspecto físico y funcional del sistema.

A nivel local en la investigación realiza por (Pilco, 2020): "Análisis espacial multicriterio sobre la evaluación en las áreas de captación de los sistemas de agua potable del cantón Tisaleo, provincia Tungurahua", donde su principal objetivo es caracterizar y evaluar la susceptibilidad vulnerable que tiene la captación mediante un análisis multicriterio para clasificar el grado en el que se encuentre, la metodología se basó en criterios y variables sobre el índice de evaluación de ACA. Los resultados reflejan que el 33,33% de las ACA poseen una vulnerabilidad media y alta. La implementación de esta metodología ayuda a medir la vulnerabilidad en las áreas de captación del agua y pueden ser adaptados por las entidades competentes del estado, así como el manejo de los volúmenes de datos a escalo local y regional de las cuencas hídricas del país.

2.3. Fundamento de la Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica es uno de los fenómenos naturales más importantes que afectan al Ecuador, debido a la dinámica tectónica única del territorio nacional. Geodinámicamente, Ecuador está situado en el margen convergente entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, lo que resulta en la acumulación gradual de carga en la corteza terrestre, y su posterior liberación rápida (como energía sísmica) durante un evento sísmico. La interacción tectónica, combinada con varios sistemas de fallas corticales importantes ya presentes en el área andina, resulta en un

escenario de peligro sísmico a largo plazo, particularmente en la zona central del país (Quinde Martínez & Angulo, 2016).

El cantón de San Pedro de Pelileo, en la provincia Tungurahua, está ubicado en una zona geodinámicamente activa de Ecuador, definida por dinámicas tectónicas asociadas con la interacción de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana. Esta interacción crea una constante acumulación y liberación de energía en forma de movimientos sísmicos, una de las razones por las cuales el territorio ecuatoriano está clasificado como el Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las regiones sísmicas y volcánicas más altas del mundo (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2018).

Pelileo Grande, en este contexto, están estrechamente relacionados con factores geológicos y tectónicas que juntas hacen que se produzca un riesgo sísmico. Hay fallas geológicas activas que por esos factores que están en la región andina producen problemas sobre eventos sísmicos de magnitudes considerables. Hay otros aspectos como la proximidad geográfica sobre peligros volcánicos del Tungurahua que genera un riesgo territorial que necesita ser monitoreada dentro del ámbito de la gestión de riesgos de desastres (IIGE, 2018).

En la provincia de Tungurahua han existido hechos de terremotos que han sido de alto impacto para la población, unos de los más significativos es el terremoto catastrófico que fue el 5 de agosto de 1949, denominado el terremoto de Ambato que afectó a los cantones de Ambato y Pelileo. Este suceso tuvo una magnitud de 6.8 causando grandes pérdidas materiales, humanas e infraestructuras del área. Se evidencio que en el antiguo Pelileo fue gravemente dañado donde se tuvo que realizar la reubicación de la población y posterior la reconstrucción territorial (IGEPN, 2023).

Basándose en la rama de la ingeniería existe la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-2015 la cual menciona que la provincia Tungurahua está situado sobre una zona de riesgo sísmico, lo que establece el diseño sismorresistente especialmente para edificios e infraestructuras existentes. Para esta categorización existen parámetros sobre la aceleración del suelo y el historial de eventos sísmicos en el área (MIDUVI, 2015). Un claro ejemplo es la existencia de infraestructura crítica tales como el sistema de agua potable que es vital para el consumo humano, es decir que deben diseñarse bajo parámetros de resiliencia y mitigación de la vulnerabilidad.

En Pelileo Grande la amenaza sísmica se debe a los asentamientos humanos e infraestructuras que resultaron afectados por los terremotos, así como, otros sistemas que son indispensables para el consumo de agua para la localidad siendo uno de los más importantes, y que si existe problemas en su funcionalidad pueden afectar al bienestar, salud y seguridad de la población. Así, la amenaza sísmica a través de la perspectiva territorial se reconoce el papel de la geografía en su interacción con cuán susceptible o en peligro se vuelve el sistema de agua.

Por último, la ubicación geográfica de la zona de amenaza sísmica nos permite darnos cuenta de que el riesgo no se limita a la presencia del fenómeno natural, sino que también, depende de las condiciones de exposición y vulnerabilidad presentes en el territorio. En cuanto a la comprensión de Pelileo Grande, por lo tanto, una de las contribuciones más importantes a la revisión territorial e integral es la planificación, prevención y preservación de la construcción de capacidades ante futuras amenazas sísmicas, esta región es importante para la preparación ante futuros terremotos a través de su aspecto regional.

2.3.1. Contextualización de la Amenaza Sísmica

"La amenaza sísmica se produce por el movimiento tectónico, el cual libera una gran cantidad de energía y afecta directamente a las estructuras presentes en el sitio de ocurrencia" (Andramuño, 2023).

La amenaza sísmica ha sido promovida por el movimiento como una condición futura que todavía no existe. La destrucción que causaría un futuro sismo catastrófico todavía no ha ocurrido. Aunque la fuerza puede estarse acumulando en la tierra y los edificios que se desplomarían ya existen, el daño es parte del futuro y no del presente. Si no existe un vínculo entre el presente y el futuro, al público en general se le hace difícil vincular al factor riesgo con las condiciones y actividades existentes. La necesidad por las predicciones sísmicas, el deseo de saber cuándo ocurrirá "El Gran Terremoto" perpetúa esta orientación futura (Franco Eduardo, 1995).

Entre los parámetros geotectónicos existen procesos relacionados con estructuras subyacentes en relación a la superficie de la Tierra como resultado de su movimiento interno, generando movimientos de las placas tectónicas, presencia de fallas, deformación de la corteza terrestre lo que produce la acumulación y liberación de cargas sísmicas. Todos estos aspectos hacen que se moldea el terreno es decir se puede explicar que la distribución espacial se da por las perturbaciones geodinámicas como los terremotos, vulcanismo y deformaciones de los relieves. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo de desastres, la caracterización geotectónica es un elemento esencial para comprender las regiones en riesgo de eventos sísmicos y evaluar la dinámica del suelo en reacción a los movimientos del terreno (Grotzinger & Jordan, 2014).

La amenaza sísmica se atribuye en gran medida a las condiciones geotectónicas mencionadas, especialmente en el centro del país, que es el dominio de un gran terremoto anterior, por ejemplo, el gran terremoto que ocurrió el 5 de agosto de 1949 y afectó gravemente a Ambato y al cantón de Pelileo. Dentro del aspecto geográfico, es un área altamente vulnerable a sufrir una actividad sísmica por eso se deben considerar criterios con análisis técnicos sobre los procesos geotectónicos que son importantes para evaluar la vulnerabilidad física de infraestructuras esenciales. En base a esto en este estudio se podrá comprender el entorno sobre características geotectónicas que se presentan ante una amenaza sísmica, por eso es fundamental determinar cuáles son los impactos de los sistemas esenciales ante la presencia de eventos sísmicos como es el caso del sistema de agua potable.

2.3.2. Amenaza Sísmica en el Ecuador

Por ejemplo, la disposición geotectónica de Ecuador está muy afectada por la conexión entre las placas a lo largo del límite occidental del continente sudamericano. Esto se conoce como subducción y es el proceso de llevar la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana, un proceso de depósito continuo que se liberará a la tierra como actividad sísmica. Se estima que la tasa de convergencia entre estas placas es de alrededor de 50–60 mm/año, y por lo tanto contribuye a la alta frecuencia de terremotos y la existencia de sistemas de fallas activas en la región andina (Quinde Martínez & Angulo, 2016).

La región interandina de Ecuador (que incluye la provincia de Tungurahua y el cantón de Pelileo) es parte del Bloque Andino, una microplaca tectónica que experimenta procesos de deformación cortical basados en la interacción de varias placas tectónicas regionales. Debido a este proceso geológico, una complicada red de fallas geológicas activas cruza la cordillera de los Andes ecuatorianos, contribuyendo a importantes terremotos superficiales o corticales. Estos

eventos sísmicos frecuentemente conducen a grandes aceleraciones del suelo y, debido a su poca profundidad, tienen efectos más dañinos en infraestructuras y asentamientos humanos en las áreas de influencia (Yepes et al., 2010).

La amenaza sísmica no es meramente una cuestión de futuros terremotos, sino más bien la probabilidad de ciertos tipos de movimientos del suelo con magnitud, intensidad y aceleración especificadas que pueden dañar estructuras expuestas. Técnicamente, este riesgo puede medirse en base a la aceleración máxima del suelo (PGA) y los espectros de respuesta y zonificación sísmica prescritos en las regulaciones nacionales, activos que pueden emplearse para determinar el peligro como una situación dada (ERN, 2011). En este sentido, la evaluación del riesgo sísmico debe tener en cuenta no solo la probabilidad histórica de ocurrencia, sino también el entorno geológico local que puede amplificar la velocidad del movimiento del suelo (por ejemplo, tipo de suelo, condiciones topográficas y susceptibilidades a fenómenos inducidos como la licuefacción).

Dentro de la amenaza sísmica en el ámbito externo de la gestión de riesgos de desastres, se fundamenta en conocer cómo interactúan las condiciones de vulnerabilidad para determinar el peligro latente sobre un desastre. Por tal razón, al determinar las características de la amenaza sísmica del área de estudio permitirán la contextualización del problema identificado, además se podrá contar con la evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de agua potable en el barrio Pelileo Grande, todo esto establecerá una base técnica de análisis de datos históricos y nivel de vulnerabilidad ante una amenaza sísmica para después considerar la construcción de medidas para la reducción del riesgo.

2.3.3. Zonificación Sísmica

La zonificación sísmica es un proceso técnico-científico para distinguir zonas o regiones homogéneas basadas en la extensión y naturaleza del riesgo sísmico, circunstancias geológicas y entornos tectónicos, así como, el comportamiento del suelo en respuesta a la propagación de ondas sísmicas. Esto es para ayudar a la identificación de regiones con diferentes tipos de peligro sísmico, para la planificación territorial, planificación de infraestructura y propósitos de gestión del riesgo de desastres (IGEPN, 2023).

Desde una perspectiva geofísica, la zonificación sísmica es un análisis específico de área de condiciones que incluyen el tipo de proceso tectónico, ocurrencia y extensión de terremotos históricos, número y magnitud de la sismicidad, actividad de fallas geológicas, magnitud de la aceleración del suelo anticipada y propiedades geotécnicas de las estructuras del suelo. Según Kramer (1996), estos aspectos permiten estimar la respuesta sísmica del terreno y el grado de vulnerabilidad estructural que es probable que un área muestre en respuesta a la actividad sísmica.

En la ingeniería sísmica, la zonificación es esencial para crear criterios de resistencia sísmica en el diseño y construcción (por ejemplo, proporciona información para normas técnicas como la aceleración sísmica de diseño y coeficientes para el comportamiento estructural) para que se puedan construir edificios e infraestructuras. En Ecuador, tales medidas se determinan en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), que delimita el territorio nacional de acuerdo con la aceleración máxima esperada del suelo (MIDUVI, 2015) como un número de zonas de peligro sísmico.

De manera similar, la zonificación sísmica es parte integral de la planificación del uso del suelo y la gestión del riesgo de desastres, porque permite decidir sobre áreas que requieren

medidas de mitigación específicas, regulación del uso del suelo o la necesidad de reforzar infraestructuras más permanentes. En este sentido, se considera una herramienta líder para mitigar la vulnerabilidad y exposición de la población a terremotos y otros fenómenos geodinámicos (UNDRR, 2024). Por lo tanto, la zonificación sísmica se considera una herramienta esencial para la evaluación del peligro sísmico y la reducción del riesgo de desastres, como un método para convertir la información geológica y sismológica en parámetros para la planificación y gestión urbana, de ingeniería civil y territorial.

2.4. Sistema de Agua Potable

El sistema de agua que se aplica al uso humano del agua incluye la relación entre el sistema de infraestructura, las obras y procesos técnicos, los recursos hidráulicos y los factores operativos que capturarán, transportarán, tratarán, almacenarán, proporcionarán y en última instancia, distribuirán y suministrarán el agua de abastecimiento a las personas. Esto incluye la provisión de servicios de agua, la calidad de la distribución del agua, la seguridad del agua potable y la calidad de vida (OMS, 2018).

Un sistema de agua para el consumo humano consta de numerosos puntos de interacción, en términos técnicos, incluyen las fuentes de captación, líneas de transporte, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución. Todos estos componentes contribuyen a diferentes aspectos de la cadena de suministro para entregar agua a los usuarios y en un entorno seguro (DIR.ARCA, 2022).

Como recurso de salud y bienestar, el agua es un componente esencial de un sistema de suministro de agua y en el área de gestión del riesgo de desastres, se acepta generalmente que el agua potable es una de las infraestructuras críticas. Como resultado de esto, incidentes, incluidos terremotos, pueden dañar infraestructuras como tuberías, tanques, estaciones de bombeo y

componentes del sistema y provocar pérdidas de servicios, poniendo en peligro a las poblaciones locales (CEPAL, 2014).

Aparte de las características estructurales del sistema de agua, el funcionamiento de un sistema de agua para el consumo humano también depende de aspectos relacionados con la planificación territorial, el mantenimiento y la calidad de la construcción, así como las características geográficas del entorno en el que se encuentra ese sistema de agua. Basándose en estos aspectos es primordial conocer la vulnerabilidad física de este tipo de sistemas sobre el peligro sísmico para después reducir el riesgo (PNUD, 2004).

El sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande perteneciente al cantón San Pedro de Pelileo, constituye una infraestructura esencial donde se implementará un estudio para determinar el nivel de exposición y vulnerabilidad ante una amenaza sísmica, es así que mediante este enfoque se mejorara la resiliencia del sistema donde se deberán tomar en cuenta políticas para este tipo de infraestructuras en caso de evento catastróficos.

Dentro del área urbana en particular de la cabecera cantonal está comprendida entre las zonas consolidadas como Pelileo Matriz y Pelileo Grande, que tienen indicadores en relación de la cobertura del 98% de acceso al agua segura mediante la red pública, cifra de porcentaje que indica que la infraestructura de abastecimiento es mayor dentro de los núcleos de densidad de población. No obstante, persiste un déficit del 2,00% que sugiere la existencia de asentamientos periféricos o sectores marginales que aún no se han integrado al sistema de distribución centralizado.

2.4.1. Vulnerabilidad Física de los Sistemas de Agua Potable

La vulnerabilidad física es la propensión de un sistema a sufrir daños debido a la interacción de procesos geológicos. Por eso la vulnerabilidad física de los sistemas de agua

potable ante los desastres en su mayoría se encuentra ligados a los componentes físicos del sistema, donde sí se encuentran afectados su interrupción puede provocar problemas críticos en la salubridad, higiene y salud de la población (Moscoso Vintimlla et al., 2021).

La vulnerabilidad de los sistemas de agua potable juega un papel central en la gestión del riesgo de desastres, ya que son infraestructuras clave para la salud, el bienestar y el desarrollo de sus consumidores. Al hablar de vulnerabilidad física se está relacionado con la susceptibilidad en el ámbito físico, operativo y funcional de los sistemas de abastecimiento de agua ante eventos adversos como por ejemplo los terremotos que afectan directamente la operación y funcionamiento de este tipo de suministro (CEPAL, 2014).

Los sistemas de agua potable que son esenciales para la humanidad comprenden diversos componentes de captación, líneas de conducción, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución. Tal resultado puede afectar a uno de estos elementos causando discontinuidad del servicio y efectos directos en la población. Las tuberías pueden romperse y los tanques sufrir daños, las redes de distribución podrían incluso colapsar parcial o totalmente en escenarios de amenaza sísmica, inciden en la interrupción del suministro de agua potable (OPS, 2004).

En cuanto a las áreas con zonas de alta amenaza sísmica como la provincia de Tungurahua y específicamente el cantón de San Pedro de Pelileo, las características físicas y territoriales relacionadas con la topografía del terreno, el tipo de suelo, la antigüedad de la infraestructura y las condiciones de mantenimiento hacen que los sistemas de agua sean más vulnerables. Igualmente, la dispersión de la población en las áreas expuestas y la omisión de características de diseño sismorresistente conducen a un alto nivel de riesgo del sistema de agua potable (MIDUVI, 2015).

En lo que respecta a la gestión integral del riesgo, la vulnerabilidad no se limita a las propiedades físicas de una infraestructura, sino también a las institucionales, operativas y comunitarias. La falta de planificación de contingencias, la falta de mantenimiento preventivo y la preparación inadecuada de la población para emergencias también podrían reducir la capacidad de respuesta y recuperación del sistema en caso de un evento sísmico (PNUD, 2004).

En este sentido, el estudio de la vulnerabilidad física de los sistemas de agua potable es muy importante para identificar las vulnerabilidades estructurales y funcionales que pueden afectar la seguridad hídrica de una población. Esta evaluación permite identificar prioridades de intervención, mejorar la resiliencia de la infraestructura y estrategias de reducción del riesgo de desastres para continuar la prestación del servicio en caso de emergencia (UNDRR, 2015).

La presente investigación determinara la vulnerabilidad física de los sistemas de agua potable en el barrio Pelileo Grande que tiene como fin verificar y comprender los factores territoriales, estructurales y operativos del suministro de agua que pueden verse afectados por el comportamiento de la amenaza sísmica, en base a esto se podrá proponer medidas relacionadas con la seguridad y resiliencia de ese tipo de sistemas dentro del área de estudio.

2.4.2. Componentes del Sistema de Agua Potable

Captación

La captación se refiere a las obras, estructuras y actividades técnicas destinadas a recolectar o extraer agua de una fuente natural, superficial o subterránea para integrarla en un sistema de abastecimiento para uso humano. Es la fase inicial de un sistema de agua potable, que sirve para garantizar que el recurso hídrico esté disponible en cantidades suficientes y de calidad aceptable para ser conducido, tratado y distribuido a la población (OPS, 2004).

Desde una perspectiva hidráulica, la captación puede realizarse desde diversas fuentes de agua, como ríos, manantiales, arroyos, lagunas, embalses o acuíferos. La selección del tipo de captación se determina por factores topográficos, caudal disponible, calidad del agua, características geológicas del terreno y necesidades de abastecimiento de la población (INEN, 2020).

Cuando los sistemas son para consumo humano, las estructuras de captación deben construirse de acuerdo con los requisitos técnicos para salvaguardar el recurso hídrico de procesos de contaminación, sedimentación o efectos provocados por fenómenos naturales. Esto sucede en ciertas regiones donde la amenaza sísmica evidencia daños directamente en el funcionamiento de estructuras del sistema de agua potable (MIDUVI, 2015).

En el caso del sistema de captación desde el punto de vista de una posible ruptura o deterioro de este componente generará consecuencias trascendentes que pone en peligro la seguridad hídrica, salud y capacidad de respuesta ante este tipo de eventos. A la luz de esto, su ubicación, diseño y mantenimiento deben gestionarse dentro del marco de medidas de resiliencia y reducción de vulnerabilidad frente a amenazas naturales (PNUD, 2004).

Por lo tanto, la captación se considera un aspecto fundamental del sistema de consumo humano de agua en Pelileo Grande, determinando si es vulnerable ante eventos sísmicos, los cuales influyen directamente en la continuidad y funcionalidad del suministro de agua potable para la población.

Conducción

El medio de entrega del agua desde la estructura de captación hasta las unidades de tratamiento, almacenamiento o distribución es el transporte. Este flujo se garantiza mediante el uso de tuberías, canales u otras obras hidráulicas. Con este método, dentro de una empresa, se

proporciona un paso básico para que el sistema complete el suministro de agua. Las líneas de transporte están técnicamente fundamentadas y pueden ser movidas por gravedad o por operación de bombas según sea necesario debido al terreno, mientras que la ubicación de la fuente de captación está en relación con los puntos de almacenamiento y distribución. Para un funcionamiento efectivo y mínimas pérdidas o interrupciones en el funcionamiento, deben considerarse en su diseño factores hidráulicos como el flujo, la presión, la pendiente, el diámetro de la tubería y el tipo de material (INEN, 2020).

El transporte en territorios propensos a terremotos es frágil debido a fracturas, desplazamientos y colapsos resultantes del movimiento del suelo, licuefacción, deslizamientos de tierra o deformaciones del terreno, lo que lo convierte en uno de los elementos más vulnerables del sistema de agua potable. Estas consecuencias pueden impedir el suministro de agua y perturbar el funcionamiento esencial del sistema de agua, con un efecto evidente en la población (MIDUVI, 2015).

En la misma línea, la vulnerabilidad de las líneas de transporte depende principalmente de su antigüedad, tipo de material, profundidad de instalación, mantenimiento preventivo, condiciones ambientales geológicas y topográficas (PNUD, 2004).

Estos problemas se volverán particularmente importantes en la gestión del riesgo de desastres de regiones andinas como Pelileo Grande, donde las pendientes son pronunciadas y la actividad sísmica es considerable. Este estudio determinara al sistema de transporte como un aporte estratégico del sistema de agua para el consumo de la población analizando desde el enfoque de los eventos sísmicos que generen vulnerabilidad a la población.

Por eso es fundamental que este sistema sea evaluado para verificar las situaciones críticas desde el aspecto físico, considerando medidas de reforzamiento que generan reducción del sistema contra amenazas que estén expuestas en el entorno.

Tratamiento

Desde el tratamiento físico, químico y biológico, el proceso de recuperación del agua, tomándola de fuentes naturales y aumentando su calidad para cumplir con los requisitos humanos. Esta etapa forma una de las partes esenciales de un sistema de agua potable, a través del cual se eliminan o reducen contaminantes, microorganismos, sedimentos y sustancias que podrían crear un riesgo para la salud de una población (OPS, 2004).

Técnicamente el tratamiento del agua puede involucrar sedimentación, coagulación, floculación, filtración y desinfección. La operación de cada uno de estos procesos está sujeta a factores físicos, químicos y microbiológicos de la fuente de agua utilizada para el suministro. En última instancia, el recurso hídrico debe garantizar el nivel de calidad potable que se requiere para el uso humano, proporcionando condiciones de potabilidad y salubridad (DIR.ARCA, 2022).

En los sistemas de tratamiento de agua consumida por humanos, las plantas de tratamiento o estructuras son infraestructuras vitales, ya que cualquier perturbación en su uso, hace vulnerable la calidad y la fiabilidad del servicio. Dichas instalaciones podrían estar sujetas a daños estructurales en casos de amenaza sísmica, como el colapso de tanques, filtración, conexiones hidráulicas o instalaciones operativas, lo que interrumpiría el proceso de purificación y aumentaría el riesgo para la salud pública (MIDUVI, 2015).

Al hablar de susceptibilidad de los sistemas de tratamiento están netamente relacionados con la configuración estructural, mantenimiento, antigüedad de la infraestructura, ubicación

geográfica de este tipo de infraestructuras, es decir si el entorno donde están instalados está dentro de un alto riesgo sísmico, como en el cantón San Pedro de Pelileo donde deben considerarse criterios de diseño sismorresistentes a los eventos sísmicos y planes de mitigación que garanticen el correcto funcionamiento para poder soportar este tipo de sucesos (PNUD, 2004).

Desde el punto de vista de la gestión del riesgo de desastres, el tratamiento del agua es una parte importante de la seguridad hídrica y la salud pública, particularmente cuando surgen situaciones de emergencia. Cualquier interrupción o deterioro de esta fase puede resultar en la contaminación del recurso hídrico y afectar directamente a la población; por lo tanto, su evaluación y fortalecimiento se consideran aspectos de las estrategias para reducir vulnerabilidades y fortalecer la resiliencia territorial (UNDDR, 2019).

Para el contexto del estudio, el tratamiento se examina como esencialmente uno de los elementos en el sistema de agua potable en Pelileo Grande, ya que su vulnerabilidad a los terremotos podría tener mayor impacto en la calidad, continuidad y seguridad del suministro de agua potable para los habitantes.

Distribución

La distribución es la fase en el sistema de consumo humano que asigna y suministra agua potable desde los tanques de almacenamiento o plantas de tratamiento hasta los usuarios finales, a través de una serie de tuberías y estructuras hidráulicas diseñadas para asegurar la continuidad, presión y calidad del servicio. Este es el último componente del suministro que debe llegar a la población para que el agua llegue de manera más o menos oportuna a los clientes objetivo y mantenerlos con vida (OPS, 2004).

Técnicamente, el sistema de distribución consta del sistema de tuberías principales y secundarias, válvulas, conexión doméstica, hidrantes y sistemas hidráulicos para controlar el flujo y presión del agua del suministro territorial. Dichas redes deben adaptarse a varios aspectos, incluyendo densidad de población, topografía, flujo requerido, presión de servicio y crecimiento urbano para tener suficiente cobertura y menores pérdidas hidráulicas (DIR.ARCA, 2022).

Dentro de un territorio susceptible a impactos sísmicos, este sistema de distribución es una de las partes más susceptibles de la red de agua potable debido a la exposición que pueden enfrentar las tuberías y circuitos, como fracturas, desplazamientos o rupturas debido al suelo, licuefacción, asentamientos diferenciales o deslizamientos de tierra. Como consecuencia, tales impactos pueden llevar a una pérdida sustancial de agua, contaminación del sistema y pérdida prolongada del servicio a la población (MIDUVI, 2015).

De manera similar, la vulnerabilidad del sistema de distribución también depende de varios factores como la antigüedad de las tuberías, materiales utilizados, calidad de la instalación, mantenimiento preventivo y la condición geográfica del entorno. En regiones andinas como Pelileo Grande, con pendientes pronunciadas y significativa actividad sísmica, tales factores pueden aumentar el nivel de susceptibilidad del sistema a eventos adversos y, durante emergencias, el peligro de suministrar agua potable contaminada (PNUD, 2004).

Desde el punto de vista de la gestión del riesgo de desastres, la distribución de agua potable es una parte integral de la seguridad hídrica estratégica y la capacidad de respuesta comunitaria, particularmente después de un terremoto. La interrupción de este servicio tendría un impacto en la salud pública, la vida diaria y la recuperación de la población en su conjunto, por lo que es crucial mejorar la resiliencia de estos sistemas de infraestructura hidráulica y reducir los niveles de vulnerabilidad (UNDRR, 2015).

La presente investigación incluye verificar el sistema de distribución por ser un pilar fundamental que suministra el agua potable en el barrio Pelileo Grande, por eso dentro de los aspectos físicos debe estar en buenas condiciones para que no se generen mayores daños ante eventos sísmicos. Por eso al determinar este factor se podrán determinar los puntos críticos para el fortalecimiento del sistema de agua potable para la zona de estudio establecida.

Tabla 3

Diagnóstico operativo de Juntas Administradoras de Agua Potable y Alcantarillado por parroquia en el cantón San Pedro de Pelileo

Parroquia	No. De JAPAs	Total, usuarios	Caudal aforado (l/s)	Caudal concesionado (l/s)	Rango de altura de la captación (msnm)
Benítez	2	4.036	5,63	11,75	2.874 – 3.874
Bolívar	2	-	6,56	10,50	-
Chiquicha	3	2.740	18,00	18,	3.586
Cotaló	7	1.888	0,70	21,57	2.832
El Rosario	3	676	-	10,66	2.772
García Moreno	2	2.012	11,08	8,23	2.176 – 2.740
Huambaló	10	37.752	22,41	24,85	3.088 – 3.512
La Matriz	19	11.724	27,17	29,30	2.240 – 3.277
Salasaca	7	5.108	9,99	2,95	2.540 – 2.823
Total	**54**	**66.936**	**101,54**	**137,81**	**2.176 – 3.874**

Nota: *La tabla muestra los datos del diagnóstico operativos de las juntas de agua potable y alcantarillado por parroquias del cantón San Pedro de Pelileo. Información tomada del PDOT del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón San Pedro de Pelileo - Dirección de agua potable, 2024*

2.4. Marco Legal

La Constitución de la República del Ecuador constituye la norma suprema del ordenamiento jurídico ecuatoriano, que establece en ella principios relacionados con la gestión del riesgo, el derecho al agua, la seguridad humana y la protección de la población frente a las amenazas naturales.

El **artículo 3** establece como deber primordial del Estado garantizar a sus habitantes el derecho a una vida digna y a la seguridad integral, lo cual incluye la prevención y reducción de riesgos asociados a fenómenos naturales (Asamblea Constituyente, 2008).

De acuerdo al **artículo 12** registra que el acceso al agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable, señalando además que constituye un patrimonio nacional estratégico de uso público, indispensable para la vida y la salud de la población. Este precepto adquiere especial relevancia en investigaciones relacionadas con sistemas de agua para el consumo humano y su vulnerabilidad frente a amenazas sísmicas.

De igual manera, el **artículo 389** sitúa que el Estado protegerá a las personas, colectividades y naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención del riesgo, la mitigación de desastres y la recuperación de las condiciones sociales, económicas y ambientales afectadas. Esta disposición constituye el principal fundamento constitucional de la gestión del riesgo de desastres en el Ecuador.

De acuerdo a lo que señala el **artículo 390** establece que los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, lo que implica la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados en la planificación y reducción del riesgo dentro de sus territorios.

En el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030, aprobado por las Naciones Unidas en 2015, establece el principal instrumento internacional para la

reducción del riesgo de desastres. De acuerdo a esto promueve el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo, la inversión en resiliencia y la protección de infraestructuras críticas, entre ellas los sistemas de abastecimiento de agua potable (UNISDR, 2015).

La herramienta enfatiza el reconocimiento de comprender el riesgo de desastres mediante el análisis de amenazas, vulnerabilidades y exposición territorial, aspectos que guardan relación directa con el presente estudio.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua menciona que el agua es considerada como un factor primordial para el estado nacional y dispone que el Estado ecuatoriano pueda garantizar el acceso seguro y permanente de este suministro para la población.

En su **artículo 59** trata sobre el servicio público de agua potable que deberá ser entregado bajo criterios técnicos de calidad, continuidad y funcionamiento, en espacial para la protección de este tipo de infraestructura frente a la presencia de amenazas naturales que constituye una obligación institucional para garantizar el adecuado derecho al consumo de agua.

De acuerdo al COOTAD en el que se señala competencias para los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales en materia de gestión de riesgos y prestación de servicios públicos.

De acuerdo a su **artículo 55** en el que se dispone que los gobiernos municipales tienen competencia exclusiva sobre la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, así como sobre la planificación y control del uso del suelo dentro de sus jurisdicciones.

En consecuencia, esta disposición tiene relación con la necesidad de incorporar criterios de amenaza sísmica y vulnerabilidad en la planificación territorial y en la gestión de los sistemas de agua potable.

En la Ley de Seguridad Pública y del Estado se menciona e incorpora la gestión del riesgo como parte de la seguridad integral del Estado ecuatoriano. Esta norma legal instaura que las instituciones públicas deberán desarrollar acciones orientadas a la prevención, mitigación y reducción de riesgos naturales y antrópicos.

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-2015), establecida por el Ministerio del Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) menciona que existen parámetros técnicos que orientan a un diseño sismorresistente de edificaciones e infraestructuras del estado ecuatoriano. Este tipo de normas proporcionan que el territorio con zonas sísmicas se base en la aceleración máxima esperada del suelo conocida como (PGA) donde el principal análisis técnico consiste en la evaluación de la amenaza sísmica para el cantón San Pedro de Pelileo.

Igualmente, la norma establece razonamientos técnicos orientados a reducir la vulnerabilidad estructural de las edificaciones e infraestructuras críticas, incluyendo sistemas de agua potable.

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Ministerio del Ambiente y Agua determinan lineamientos técnicos para la planificación, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, enfatizando la importancia de garantizar la continuidad del servicio frente a eventos adversos.

De acuerdo a estas normativas resaltan la necesidad de incorporar criterios de resiliencia y reducción del riesgo en el diseño y operación de infraestructura hídrica.

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón San Pedro de Pelileo que se constituye el principal instrumento de planificación local, en el cual se determinan amenazas naturales, condiciones de vulnerabilidad territorial y lineamientos para la gestión del riesgo.

De acuerdo a este instrumento se orienta la planificación territorial y la implementación de medidas de prevención y mitigación frente a amenazas naturales, principalmente en sectores estratégicos y sistemas de infraestructura básica.

2.5. Marco Conceptual

2.5.1. Glosario de Términos

Amenaza Sísmica: Es la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico con determinada intensidad en un área específica, capaz de generar daños en la infraestructura y población (MIDUVI, 2015).

Aceleración máxima del Suelo (PGA): Es el proceso que mide la aceleración máxima del suelo o terreno ante el comportamiento durante la ocurrencia de un sismo que puede afectar a las edificaciones e infraestructuras (MIDUVI, 2015).

Capacidad de Respuesta: Es la coordinación de acciones que permiten actuar de manera inmediata ante un evento adverso (CEPAL, 2014).

Exposición: Son los daños o pérdidas que pueden sufrir las estructuras e infraestructuras ante la amenaza sísmica de un determinado territorio (UNDRR, 2019).

Fallas Geológicas: Son las fracturas o deformaciones de la corteza que se activan y desplazan provocando el choque de las placas para generar movimientos sísmicos (Alvarado et al., 2014).

Gestión del Riesgo: Es el proceso que permite identificar y analizar las vulnerabilidades de infraestructuras para tomar medidas correctivas y preventivas para que la población tenga mayor seguridad y bienestar (SNGRE, 2018).

Infraestructura Crítica: Son los sistemas que están expuestos a sufrir pérdidas materiales por la ocurrencia de eventos adversos que afectan su funcionamiento (CEPAL, 2014).

Licuefacción: Es el proceso geotécnico que genera suelos acumulados de agua, ya que durante la presencia de un sismo los suelo pierden su resistencia y generan daños a las estructuras e infraestructuras (Kramer, 1996).

Microzonificación Sísmica: Considera la división de los territorios geográficos a los que están expuestas a zonas sísmicas de menor y mayor riesgo (ERN, 2011).

Planificación Territorial: Son acciones que se deben tomar en protocolos o planes para el adecuado uso del suelo (SENPLADES, 2017).

Resiliencia: Es la capacidad de recuperarse y reponerse ante la ocurrencia de un desastre considerando medidas necesarias para que la población pueda ser capaz de hacer frente a la ocurrencia de cualquier tipo de evento adverso (UNDRR, 2019).

Riesgo de Desastres: Es el factor que verifica la probabilidad de los daños o pérdidas considerando determinar cuál es el peligro, riesgo, vulnerabilidad y capacidad de respuesta que tiene un territorio dado (UNDRR, 2019).

Sistema de agua potable: Se considera el abastecimiento adecuado de agua potable para el consumo humano considerando varios componentes relacionados con la captación, conducción, tratamiento y distribución de un sistema de agua potable que tiene cada territorio (OPS, 2004).

Sistema de Distribución: Este componente es especial ya que permite transportar el agua segura hasta los tanques de distribución hasta el destino final de la población para el consumo (OPS, 2004).

Subducción: Es el proceso tectónico que genera el choque de las placas generando movimientos sísmicos o volcánicos (Grotzinger & Jordan, 2014).

Topografía: Es la representación geográfica sobre relieves o pendientes de un terreno para caracterizarlas a través de la creación de planos (IGM, 2013).

Uso del Suelo: Son los tipos de usos que están destinados para caracterizar las áreas residenciales, comerciales, industriales, agrícolas entre otras (MAG, 2020).

Vulnerabilidad: Es la infraestructura que está expuesta a una amenaza sísmica lo que genera que debilidad en la capacidad para enfrentar los riegos ocasionados después de un evento adverso (UNDRR, 2019).

Zonificación Sísmica: Es la representación geográfica que permite dividir al territorio ecuatoriano según el nivel de peligrosidad sísmica en función de las características geológicas, geomorfologías, comportamiento sísmico y aceleración del suelo (Kramer, 1996).

Vulnerabilidad Física: Es el grado de vulnerabilidad a las que están expuestas las edificaciones o infraestructuras según el tipo de amenaza en que la localidad pueda sufrir daños significativos (CEPAL, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo no experimental, ya que no se manipulan las variables, sino, se estudia en su entorno natural, en este caso, para la variable relacionada con la amenaza sísmica se analizó antecedentes históricos mediante información secundaria disponible, en el caso de la variable vulnerabilidad física del sistema de agua para consumo humano en el barrio Pelileo Grande, se evalúo las actuales condiciones de vulnerabilidad física en su entorno natural. Esto permite el estudio de situaciones existentes, en términos de condición territorial, estructural y funcional, a través de la observación directa, el análisis documental, ficha de campo y herramientas geoespaciales (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018), con el objetivo de comprender las condiciones de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua ante posibles eventos sísmicos.

3.2. Enfoque de la Investigación

La presente investigación es de enfoque cualitativo que consiste en la identificación de indicadores para realizar el respectivo análisis de la variable de vulnerabilidad física del sistema de agua potable, donde se evalúa los cuatro componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) en base a la situación actual mediante indicadores cualitativos, tales como: estudios técnicos para cimentación y para estabilidad del terreno, material de construcción, antigüedad, estándares de diseño y construcción, mantenimiento, estado actual y proyectos o medidas de reducción de riesgos.

Este enfoque puede proporcionar una caracterización del nivel de amenaza del territorio basada en datos cualitativos como una base sólida para la evaluación de la amenaza sísmica

(MIDUVI, 2015). Tal proceso de investigación requiere técnicas que incluyen la observación directa y la interpretación contextual para comprender las debilidades estructurales del sistema en caso de terremoto (CEPAL, 2022).

3.3. Métodos de Investigación

Los métodos generales de investigación son procedimientos que sirven para analizar e interpretar los resultados de una indagación científica mediante la aplicación de técnicas y procesos metodológicos. Es de acuerdo con estas prácticas que se basa el proceso investigativo, por medio del cual se obtiene información objetiva y sólida a partir de la observación, recolección y análisis (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

3.3.1. Método Analítico

En la investigación, se aplicó el método analítico, ya que se caracteriza y analiza la amenaza sísmica y la vulnerabilidad física del sistema de agua de los cuatro sus componentes (captación, conducción, tratamiento, almacenamiento o distribución) del agua que abastece al barrio urbano de Pelileo Grande.

De manera similar, facilita el análisis de la información obtenida a través de la observación directa, ficha de campo, análisis documental y herramientas geoespaciales, llevando a resultados técnicos y territoriales que mejoren una comprensión de la amenaza sísmica y la relación con las condiciones de vulnerabilidad física del sistema de agua potable.

3.3.2. Método Descriptivo

Se describen las condiciones asociadas con la amenaza sísmica y la vulnerabilidad física del sistema de agua potable que abastece al barrio Pelileo Grande. Por otro lado, este método permite describir características y las condiciones actuales de vulnerabilidad, mediante la recopilación y análisis de los datos territoriales, estructurales y funcionales de los elementos del

sistema de agua y las condiciones de exposición a eventos sísmicos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Además, a través del método descriptivo, se caracteriza y se describe las condiciones de amenaza y la vulnerabilidad del sistema de agua potable en sus componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución, para orientar al diseño de medidas de reducción de la vulnerabilidad protegiendo la infraestructura del sistema de agua potable.

3.3.3. Método Heurístico

Consiste en la combinación de dos enfoques cualitativos y cuantitativos que contribuya a la comprensión contextual del problema, permitiendo una evaluación exhaustiva del problema y fortaleciendo la validez de los resultados (UNDRR, 2024).

De igual manera, se debe considerar que, esta investigación en el enfoque cualitativo proporciona la recopilación y análisis de información sobre los niveles de amenaza sísmica y se evalúa las condiciones físicas del sistema de agua, mediante la observación directa, ficha de campo y herramientas geoespaciales que ayuden a comprender el fenómeno, mientras que en el enfoque cuantitativo se establece la asignación de una ponderación para cada indicador estableciendo un índice y el nivel de vulnerabilidad de cada componente del sistema de agua potable de la zona de estudio.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación se basa desde diferentes perspectivas: descriptiva la cual permite detallar las características de las condiciones e indicadores de la vulnerabilidad física del sistema. Esta investigación es de corte transversal porque se relaciona con el estudio de la observación y estadístico, lo que permite la identificación y descripción de las condiciones existentes relacionadas con la amenaza sísmica y la vulnerabilidad física del sistema de agua

para el consumo humano en Pelileo Grande. Además, el enfoque del diseño de investigación es no experimental porque no se manipulan las variables, sino, más bien se describe las condiciones o factores de vulnerabilidad en las que se encuentra el sistema de agua potable, recopilando datos en el lugar de estudio y en su contexto natural.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

En la presente investigación, se aplicó las siguientes técnicas e instrumentos para la recolección de datos para caracterizar la amenaza sísmica y evaluar la vulnerabilidad física del sistema de agua potable.

A continuación, se describe las técnicas e instrumentos utilizadas para cada objetivo específico.

Para el objetivo 1: "Caracterizar la amenaza sísmica presente en el área de estudio, a partir del análisis de antecedentes históricos y diferentes condiciones"

Técnica: Análisis documental de fuentes secundarias oficiales.

Instrumento:

- Estudios, informes técnicos, artículos científicos y documentos históricos
- Catálogo del IG-EPN
- Programa de ArcGIS 10.8 para representarla información cartográfica de la Zonificación Sísmica de la NEC-2015 de la zona de estudio, evidenciando el valor de aceleración máxima espera en roca PGA, considerando también el periodo de retorno de 475 años.
- Información secundaria proveniente del estudio de microzonificación sísmica desarrollado para el cantón San Pedro de Pelileo por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pelileo.

Para el objetivo 2: "Determinar la vulnerabilidad física de los componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica"

Técnica: Fuentes primarias y secundarias de vulnerabilidad de sistema de agua ante la amenaza sísmica.

Instrumento:

- Revisión bibliográfica con normativa técnica, manuales y documentos oficiales relacionados con los sistemas de abastecimiento de agua potable. Entre las fuentes consultadas se encuentran las normas técnicas emitidas por la Organización Panamericana de la (OPS), el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), los lineamientos establecidos por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)
- Variables utilizadas por el PNUD-2012 de los componentes de los sistemas de agua potable y se basó en el modelo de evaluación de vulnerabilidad física de los indicadores realizado en Culebrillas.
- Se utilizó la Ficha de campo dirigida a un técnico y operador de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Pelileo para determinar las condiciones físicas, operativas y funcionales de cada uno de los componentes que tiene el sistema de agua potable del área de estudio, la misma que se evidencia en el Anexo 1.

Para el objetivo 3: "Proponer medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción de la vulnerabilidad física del sistema de distribución de agua potable del barrio Pelileo Grande"

Técnica: Diagnostico operativo de los componentes sobre la vulnerabilidad física del sistema.

Instrumento:

- Matriz de las medidas estructurales y no estructurales según los resultados obtenidos.

3.6. Universo, Población y Muestra

Para el presente estudio se considera al universo como una unidad de análisis que es la infraestructura del sistema de agua potable que abastece a la población del barrio Pelileo Grande por tal motivo, la población está conformada por los cuatro componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) del sistema, se trabajó con un técnico de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del GADM cantón Pelileo para la entrevista y salida de campo; por lo tanto, no se requiere considerar la muestra debido a que se evalúa solo los componentes físicos del sistema agua.

3.7. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información

Para garantizar la validez científica y la rigurosidad en caracterizar la amenaza sísmica y evaluar la vulnerabilidad física del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande, se aplicó un procedimiento secuencial para el procesamiento y análisis de los datos cuantitativos y cualitativos que fueron recopilados en la revisión de información secundaria y la fase de campo (vulnerabilidad de componentes del sistema de agua). Dentro del procesamiento de información se consideró los siguientes parámetros metodológicos:

Procesamiento y Análisis de la Amenaza Sísmica (Variable Independiente)

Para la caracterización de la amenaza sísmica fue a través de un análisis documental, técnico y estadístico que permitió verificar las condiciones geodinámicas del área de estudio a través de lo siguiente:

- Para la descripción de los datos históricos se organizó los hechos de mayor relevancia que han afectado al área de estudio tomando como ejemplo el suceso del terremoto de

Ambato de 1949, para ello, se evaluó la magnitud e intensidad según la escala de Mercalli Modificada.

- Por medio de la NEC-2015 se adaptó el factor Z (0,40 g) parámetro normativo que determina la aceleración máxima espera en roca (PGA) para caracterizar el nivel de peligro sísmico sobre el área de estudio.

Procesamiento de la Vulnerabilidad Física de la Infraestructura (Variable Dependiente)

Considerando el método heurístico (cualitativo- cuantitativo) sobre los componentes y valores para determinar el índice y nivel de vulnerabilidad a través de las matrices basándose en la metodología del PNUD (2012) y del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la ciudad de Cuenca (2021), que se describe brevemente:

- **Metodología del PNUD**

En base a los criterios del PNUD (2012) específica para la evaluación de las redes vitales los cuatro componentes:

- Captación (tanque)
- Conducción (tubería)
- Tratamiento (planta)
- Distribución (tanque y tubería)

Además, se basó en el modelo de vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la ciudad de Cuenca (2021), donde se incluye 8 variables para el análisis del área de estudio, tales como:

- Estudios técnicos para cimentación y para estabilidad del terreno
- Material de construcción

- Antigüedad
- Estándares de diseño y construcción
- Mantenimiento
- Estado actual
- Proyectos o medidas de reducción de riesgos

Valor de indicador: Cada una de las variables dispone de indicadores con valores de 1 (bajo), 5 (medio) y 10 (alto), esto depende de la condición de vulnerabilidad de la infraestructura de cada componente del sistema de agua potable del área de estudio.

Pesos: Cada condición evaluada dentro de los componentes según el indicador tiene un peso ponderado según la importancia relativa del indicador que va desde el: 1,0; 1,5 y 2,5 lo cual permite establecer el nivel de vulnerabilidad de cada indicador en el estudio.

Por medio de la metodología del PNUD-2012 y el estudio de vulnerabilidad física del sistema de agua potable realizado en Culebrillas se redistribuyeron los pesos de ponderación. Es decir que mediante las categorías que se utiliza en el PNUD se logra determinar específicamente los factores qué y cómo deben evaluarse, mientras que en la evaluación desarrollada en culebrillas se proporciona valores específicos para este tipo de sistema donde determina la amenaza sísmica y es por eso que dentro del contexto local la redistribución generada de la ponderación es el método más adecuado para completar esta conservación generalizada en un lugar en específico.

Luego del valor del indicador y el peso de ponderación se procede a multiplicar y se obtiene el valor máximo de cada indicador y mediante una sumatoria se obtiene el resultado del índice y nivel de vulnerabilidad.

- **Matriz de Calificación de Vulnerabilidad por Componente:** Se consideró evaluar los cuatro componentes del sistema de agua potable basándose en los indicadores obteniendo los pesos de ponderación y valor máximo que determinan cual es nivel de vulnerabilidad ante una amenaza sísmica.

Se presenta la tabla de ponderación para evaluar la vulnerabilidad del componente de captación del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica, según la importancia de los valores de los indicadores entre (1,5 y 10), los criterios de ponderación que se detalla a continuación:

Tabla 4

Tabla de ponderación del componente de Captación

	Indicadores	**Condición del sistema**	**Valor de indicador**	**Peso ponderación**	**Valor máximo**
Componente: Captación	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	10,0
		Se realizó estudios, pero no se aplicó	5		
		No se realizó estudios	10		
	Material de construcción	Hormigón	1	2,5	25,0
		Metálica			
		Asbesto cemento	5		
		Mampostería de piedra y/o de ladrillo	10		
	Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	15,0
		25 a 50 años	5		
		> de 50 años	10		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10	1,0	10,0
		Norma IEOS	5		
		Norma MIDUVI o local	1		
	Mantenimiento	Planificado	1	1,5	15,0
		Esporádico	5		

		Ninguno	10		
	Estado actual	Bueno	1	1,0	10,0
		Regular	5		
		Malo	10		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	15,0
		Se planifica, pero no se ejecuta	5		
		No se planifica ni ejecuta	10		
				10,0	**100,00**

Fuente: *Tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, 2021.*

Para analizar el componente de conducción del sistema de agua potable se califica según la importancia de los indicadores entre (1, 5 y 10), el proceso de ponderación de describe a continuación:

Tabla 5

Tabla de ponderación del componente de Conducción

	Indicadores	**Condición del sistema**	**Valor de indicador**	**Peso ponderación**	**Valor máximo**
Componente: Conducción	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	10,0
		Se realizó estudios, pero no se aplicó	5		
		No se realizó estudios	10		
	Material de construcción (tubería)	PVC	5	2,5	25,0
		Hierro Dúctil (HD)	1		
		Asbesto o cemento	10		
	Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	15,0
		25 a 50 años	5		
		> de 50 años	10		
		Ninguna	10	1,0	10,0
		Norma IEOS	5		

	Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	1		
	Mantenimiento	Planificado	1	1,5	15,0
		Esporádico	5		
		Ninguno	10		
	Estado actual	Bueno	1	1,0	10,0
		Regular	5		
		Malo	10		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	15,0
		Se planifica, pero no se ejecuta	5		
		No se planifica ni ejecuta	10		
				10,0	**100,00**

Fuente: *Tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, 2021.*

En la tabla de ponderación se analiza el componente de tratamiento del sistema de agua potable según la importancia de los indicadores entre (1, 5 y 10), la ponderación se detalla a continuación:

Tabla 6

Tabla de ponderación del componente de Tratamiento

	Indicadores	**Condición del sistema**	**Valor de indicador**	**Peso ponderación**	**Valor máximo**
Componente: Planta de tratamiento	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	10,0
		Se realizó estudios, pero no se aplicó	5		
		No se realizó estudios	10		
	Material de construcción	Planta DAFFI: Acero Inoxidable-Aceros y hormigón	1	2,5	25,0
		Planta de hormigón	1		

		Planta prefabricada	5		
		Planta metálica	5		
		Planta de asbesto cemento	5		
		Planta de mampostería de ladrillo	10		
	Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	15,0
		25 a 40 años	5		
		> de 40 años	10		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10	1,0	10,0
		Norma IEOS	5		
		Norma MIDUVI o local	1		
	Mantenimiento	Planificado	1	1,5	15,0
		Esporádico	5		
		Ninguno	10		
	Estado actual	Bueno	1	1,0	10,0
		Regular	5		
		Malo	10		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	15,0
		Se planifica, pero no se ejecuta	5		
		No se planifica ni ejecuta	10		
				10,0	**100,00**

Fuente: *Tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, 2021.*

Para analizar el componente de distribución de los tanques del sistema de agua potable se basa en valores según la importancia de los indicadores entre (1, 5 y 10), la ponderación se detalla a continuación:

Tabla 7

Tabla de ponderación del componente de Distribución (tanque)

	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Componente: tanques de Reserva (distribución)	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	10,0
		Se realizó estudios, pero no se aplicó	5		
		No se realizó estudios	10		
	Material de construcción	Hormigón Armado	1	2,5	25,0
		Ferro cemento	5		
		Mampostería de ladrillo	10		
		Mampostería de piedra	10		
	Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	15,0
		25 a 40 años	5		
		> de 40 años	10		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10	1,0	10,0
		Norma IEOS	5		
		Norma MIDUVI o local	1		
	Mantenimiento	Planificado	1	1,5	15,0
		Esporádico	5		
		Ninguno	10		
	Estado actual	Bueno	1	1,0	10,0
		Regular	5		
		Malo	10		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	15,00
		Se planifica, pero no se ejecuta	5		
		No se planifica ni ejecuta	10		

				10,0	**100,00**

Fuente: *Tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, 2021.*

Se presenta la tabla de ponderación para analizar el componente de distribución (tubería) según la importancia de los indicadores entre (1, 5 y 10), la ponderación se detalla a continuación:

Tabla 8

Tabla de ponderación del componente de Distribución (tubería)

	Indicadores	**Condición del sistema**	**Valor de indicador**	**Peso ponderación**	**Valor máximo**
Componente: red distribución	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	10,0
		Se realizó estudios, pero no se aplicó	5		
		No se realizó estudios	10		
	Material de construcción (tubería)	PVC	5	2,5	25,0
		PVC-TOM	1		
		Hierro Dúctil (HD)	1		
		Politubo	10		
		Asbesto o cemento	10		
	Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	15,0
		25 a 40 años	5		
		> de 40 años	10		
	Estándares de diseño y construcción	Ninguna	10	1,0	10,0
		Norma IEOS	5		
		Norma MIDUVI o local	1		
	Mantenimiento	Planificado	1	1,5	15,0
		Esporádico	5		
		Ninguno	10		
	Estado actual	Bueno	1	1,0	10,0
		Regular	5		

		Malo	10		
	Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	15,0
		Se planifica, pero no se ejecuta	5		
		No se planifica ni ejecuta	10		
				10,0	**100,00**

Fuente: *tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, 2021.*

- **Determinación del Índice de Vulnerabilidad:** Con base a los datos obtenidos se logró identificar el "Índice de Vulnerabilidad Física" por cada componente, donde se obtiene una vez sumados los valores máximos de cada indicador, el producto del índice (valores entre 1 a 100) lo que permite categorizar en una escala ordinal los niveles de vulnerabilidad como: **bajo, medio y alto**, en el cual la clasificación y los rangos se explica en la Tabla 9.

Para determinar los rangos de índices y niveles de vulnerabilidad de cada componente del sistema de agua, se consideró como criterio la puntuación o valor máximo (Pmax) de 100 puntos, la misma que se dividió para tres niveles de vulnerabilidad (Nv): baja, media y alta (Moscoso, Solano, 2021) por consiguiente, se aplicó la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{I = \frac{Pmax}{Nv}}$$

Donde I = índice; Pmax = puntuación máxima y Nv = nivel de vulnerabilidad.

$$I = \frac{100}{3} = 33{,}33$$

Por lo tanto, se asignó de manera uniforme rangos cada 33 puntos para establecer el nivel de vulnerabilidad y la representación en colores correspondiente a cada componente del sistema de agua potable, los criterios fueron adaptados de la metodología de Culebrillas.

Tabla 9

Tabla de Rangos de índices y niveles de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable.

Nivel de Vulnerabilidad	Índices
Bajo	1 a 33 puntos
Medio	34 a 66 puntos
Alto	De 67 a 100 puntos

Fuente: *tomado del modelo de estudio de evaluación de sistema de agua potable de Culebrillas en la ciudad de Cuenca, elaborado por: Moscoso y otros, 2021.*

Procesamiento Geoespacial y Análisis Cartográfico

El análisis geoespacial de los datos fue crucial para el análisis del riesgo sistémico. Toda la información técnica procesada se integró en un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el software (ArcGIS):

- **Georreferenciación de Infraestructura:** Se emplearon las coordenadas UTM (WGS84) de los componentes del sistema de agua potable que fueron tomadas con GPS durante el levantamiento de campo.
- **Superposición de Capas (Overlay Analysis):** Se realizó un análisis espacial mediante la superposición de capas temáticas (pendientes, fallas geológicas, tipo de suelo y estado físico de la red). Este procesamiento técnico permitió generar la “Cartografía Temática de Vulnerabilidad Sísmica” identificando visualmente los tramos de tuberías y nodos críticos con mayor exposición al colapso funcional o rotura estructural.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultado del Objetivo 1: Caracterizar la amenaza sísmica presente en el área de estudio, a partir del análisis de antecedentes históricos y diferentes condiciones

4.1.1. Reseña Histórica de la sismicidad en el barrio Pelileo Grande

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó la recopilación y revisión de información secundaria proveniente de estudios, informes técnicos, artículos científicos y documentos históricos del catálogo de terremotos del Ecuador del IGPEN, ya que el evento que se produjo en la ciudad de Ambato tuvo mayor incidencia en el barrio Pelileo Grande.

Evento sísmico registrado

Dentro del área de estudio se evidencia como antecedente histórico más relevante el terremoto ocurrido el 5 de agosto de 1949, evento que tuvo importante incidencia en Pelileo. Para su caracterización se recopilo a información secundaria de diferentes bibliografías los cuales coinciden la misma fecha de ocurrencia y permite sustentar este evento como un antecedente de gran impacto para el análisis de la amenaza sísmica en el presente estudio.

Magnitud histórica de los sismos

El 5 de agosto de 1949 a las 14:03 horas ocurrió un terremoto de gran magnitud, cercana a 6,8 en la escala de Richter que duró aproximadamente 45 segundos a una latitud de -1.25 y longitud de -78,37, lo que sacudió fuertemente a la ciudad de Ambato, con epicentro ubicado al noroeste de Pelileo, donde generó un elevado grado de destrucción, según antecedentes: causó 6.000 pérdidas humanas, 1.00 heridos, 225.000 desplazados y 10.0000 personas se quedaron sin hogar, además también produjo afectaciones en Pillaro y Guano.

Pelileo se destruyó totalmente quedando escombros días después del terremoto. El antiguo centro urbano del cantón Pelileo quedo gravemente afectado con extensas áreas en ruinas y pérdidas materiales, donde se generó drásticamente la reducción de las personas debido al desplazamiento forzado por el desastre, ante este evento se trasformó de manera irreversible la estructura territorial del límite urbano y distribución del cantón San Pedro de Pelileo.

En la morfología urbana que hoy en día se evidencia, como consecuencia del terremoto de 1949, donde la reconstrucción del desastre natural necesitó mover el centro administrativo hacia un terreno geológicamente más estable donde nació dos morfologías urbanas:

- **Pelileo La Matriz:** considerado como un nuevo centro urbano para el desarrollo administrativo y comercial.
- **Pelileo Grande:** como el núcleo originario de un crecimiento que es de tipo orgánico sobre bordes ocupados en partes de ladera con una urbanización no planificada.

Las condiciones del terreno ante un evento sísmico desplazan a la población a un lugar donde exista menos riego, proporcionando la aparición de las dos zonas urbanas, donde el límite urbano se concentra más en el antiguo centro de Pelileo Grande

Intensidad sísmica observada

Como un dato histórico relevante de la amenaza sísmica en la región, tenemos el terremoto de Ambato-Pelileo ocurrido en agosto de 1949, con intensidad máxima de “X” (10) en la escala Modificada de Mercalli que significa (totalmente destructivo generando daños graves en las viviendas e infraestructuras), cuyos efectos se extendieron en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo, parte de Bolívar, Pichincha y Pastaza con daños extremos.

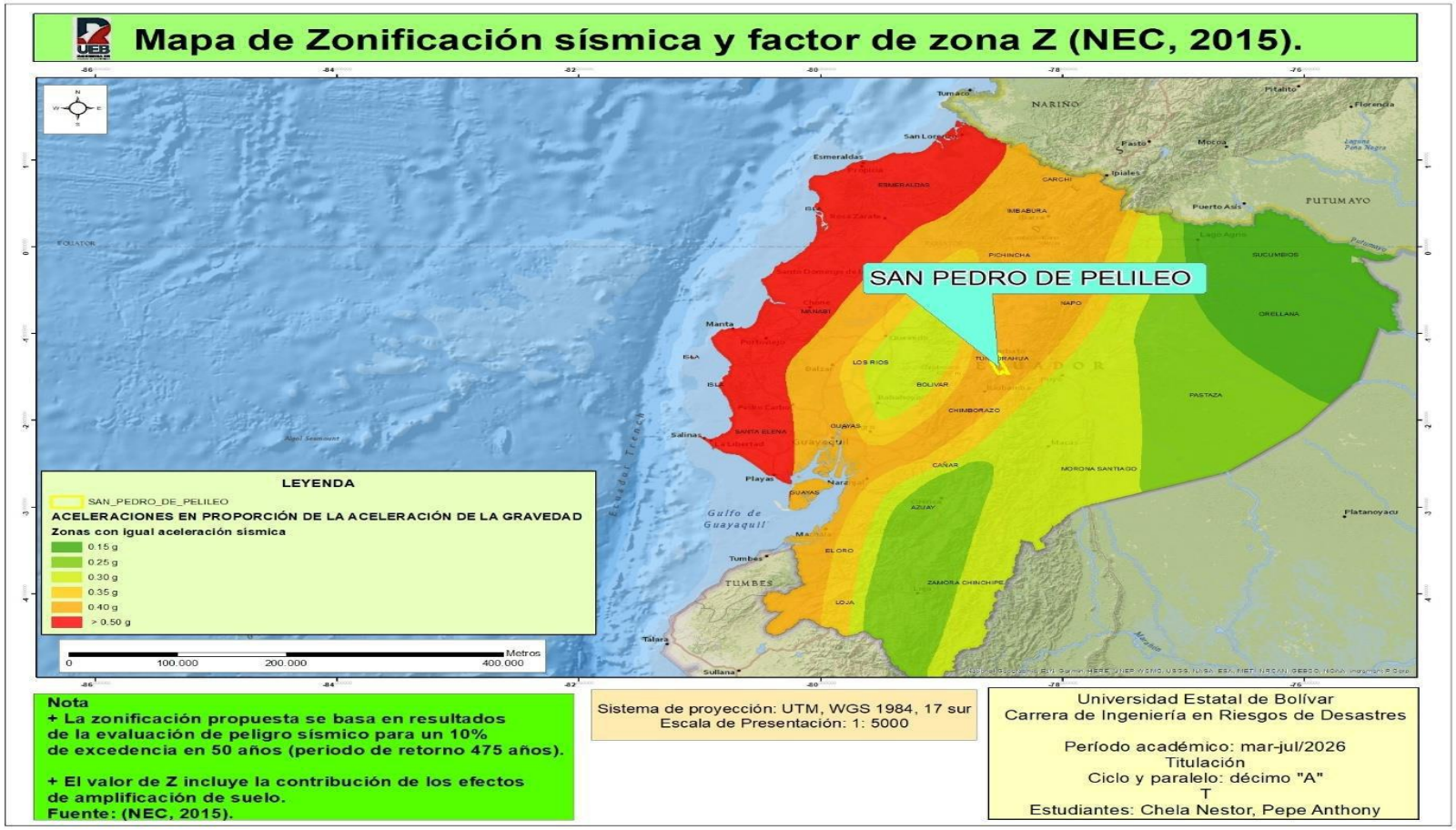
Tras la recuperación al terremoto de 1949, Pelileo considero que su matriz económica empezó a dirigir dentro de la manufactura textil (producción de los jeans en especial en la parroquia de Huambaló).

4.1.2. Zonificación Sísmica de la NEC

A continuación, se presenta el mapa del peligro sísmico basándose en la NEC–2015 que establece seis zonas sísmicas en el Ecuador. Donde la ubicación del cantón San Pedro de Pelileo se encuentra dentro de la zona V (peligro sísmico alto), catalogando como susceptible ante la ocurrencia de un sismo.

Mapa 3

Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Nota: *El mapa muestra las zonas sísmicas y el factor z del territorio ecuatoriano para determinar la zona del área de estudio. Tomado de la:* (NEC, 2015).

Con base al mapa de zonificación sísmica establecida por la NEC-2015, se evidencia la condición de amenaza sísmica del área de estudio, donde el mapa representa la aceleración sísmica esperada para un periodo de retorno de 475 años, tomando en cuenta una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años; esta información permitió establecer el nivel de amenaza a la que se encuentra expuesto el barrio Pelileo Grande y sirvió como base para el desarrollo de análisis de vulnerabilidad.

Tabla 10

Valores establecidos del factor Z en función de la zona sísmica del área de estudio

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor del factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: *La tabla describe los valores de las zonas símicas del área de estudio en relación al factor Z.*

Mediante esta clasificación se puede evidenciar que el cantón Pelileo y en especial el barrio de Pelileo Grande, se encuentra en una zona V, es decir un alto valor de aceleración sísmica con un valor Z de 0,40 g, esto es debido al contexto tectónico regional y el proceso de interacción de las placas de Nazca y la placa Sudamericana, así como también por la presencia de fallas corticales, todos estos son factores que explican la importante actividad sísmica en estos territorios.

La alta amenaza sísmica que tiene el cantón se evidencia en antecedentes históricos como el terremoto de 1949, considerado uno de los más destructivos del Ecuador, el cual ocasionó graves pérdidas humanas y materiales en Pelileo y otras zonas cercanas. Por esta razón, las construcciones e infraestructuras del cantón deben cumplir normas sismo resistentes para poder reducir riesgos y vulnerabilidades ante futuros eventos sísmicos.

4.1.3. La microzonificación sísmica en base a la información del GAD del cantón Pelileo

Se presenta el mapa del estudio de la microzonificación sísmica realizado por el GAD Municipal del cantón San Pedro de Pelileo, identificando el área de estudio del barrio Pelileo Grande, como se muestra a continuación:

Mapa 4

Microzonificación sísmica en base a la información del GAD cantonal de San Pedro de Pelileo.



Nota: *El mapa muestra la microzonificación sísmica del barrio Pelileo Grande identificando sus diferentes tipos de suelos.*

En la presente tabla se evidencia el porcentaje total del estudio de microzonificación sísmica del barrio Pelileo Grande, donde el 96,90% de la superficie que pertenece al área de estudio, la misma que se divide: en el tipo de suelo D y un tipo de suelo no establecido, siendo un porcentaje de 84,59% de tipo de suelo D, 12,31% de tipo de suelo no establecido y un 3,10% un tipo de suelo sin estudio alguno con base a la información proporcionada por el GAD Municipal del cantón San Pedro de Pelileo del año 2018.

Tabla 11

Tipo de suelo

TIPO DE SUELO	AREA (ha)	Porcentaje (%)
No Establecido	15,05	12,31
D	103,38	84,59
Sin Estudio	3,79	3,10
Área Pelileo Grande (Ha).	**122,21**	**100,00**

Nota: *La tabla describe los valores de tipo de suelo, área y porcentaje en relación al área de estudio.*

Dentro de las características de los eventos sísmicos, el tipo de suelo D y los efectos en la infraestructura se destaca los perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante o (360 m/s > Vs ≥ 180 m/s) y perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones (50 > N ≥ 15,0 - 100 kPa > Su ≥ 50 kPa) (NEC, 2015).

Los componentes del sistema de agua y el estudio de la microzonificación sísmica tiene correlación en la captación, conducción, tratamiento y almacenamiento que se encuentra dentro del tipo de suelo no establecido, es decir, si no se conoce el tipo de suelo existe una incertidumbre respecto a las características y condiciones locales del suelo lo cual puede influir en la respuesta ante un movimiento sísmico, por lo tanto, la ausencia de información del tipo de suelo no permite determinar directamente la capacidad para resistir un evento sísmico, sino más

bien que la red distribución se encuentra situada dentro del tipo suelo D, lo cual determinan si son suelos rígidos.

4.2. Resultado del Objetivo 2: Analizar la vulnerabilidad física de los componentes (captación, conducción, tratamiento y distribución) del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica

Para el análisis de vulnerabilidad física del sistema de agua potable se utilizó la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2012), donde se estableció las diferentes variables e indicadores en relación con los cuatro componentes de captación, conducción, tratamiento y distribución para determinar el nivel de vulnerabilidad que tienen cada elemento.

4.2.1. Vulnerabilidad en los Componentes

4.2.1.1. Vulnerabilidad de la Captación

A continuación, se presenta la tabla de evaluación de vulnerabilidad del tanque de captación del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande, donde se analizan las condiciones técnicas, estructurales y operativas que determinan su nivel de vulnerabilidad frente a la amenaza sísmica.

Tabla 12

Calificación de la vulnerabilidad de la Captación ante una amenaza sísmica

Componente: captación	Número de tanques	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Total
Tanque de captación	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Mixta (Hormigón y metálica)	1	2,5	2,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI o local	1	1,0	1,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	1	1,5	1,5
Total	1	**Índice de vulnerabilidad**			10,0	16,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Nota: *La tabla detalla los indicadores del componente de captación, condición del sistema, valores de los indicadores y peso de ponderación para determinar el valor del nivel de vulnerabilidad.*

El componente tanque de captación presenta condiciones favorables desde el punto de vista de lo estructural y operativo, obteniendo un índice de vulnerabilidad de 16,0 puntos, correspondiente a un nivel de **vulnerabilidad baja**. Los indicadores nos dan a conocer que se realizaron estudios técnicos para la cimentación y que la estructura fue construida con materiales mixtos de hormigón y metálicos, características que aportan resistencia y estabilidad frente a posibles amenazas sísmicas. De tal manera, la antigüedad del tanque está comprendida entre 0 y 25 años es una infraestructura relativamente moderna, mientras que el cumplimiento de la normativa MIDUVI respalda que su diseño y construcción se desarrollaron bajo criterios

técnicos, aunque el mantenimiento se realiza de manera esporádica, el componente se encuentra actualmente en buen estado de conservación.

4.2.1.2. Vulnerabilidad de la Conducción

Se presenta la tabla de evaluación de vulnerabilidad de la tubería de conducción, en la que se valoran aspectos relacionados con sus características constructivas, estado de conservación y gestión del riesgo para determinar su susceptibilidad ante amenaza sísmica.

Tabla 13

Calificación de la vulnerabilidad de la Conducción ante una amenaza sísmica

Componente: conducción	Longitud en km	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Total
Tubería de conducción	0,31	Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción (tubería)	Tubos de PVC	5	2,5	12,5
		Antigüedad	0 a 25 años (año 2007)	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma INEN 1108	1	1,0	1,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se dispone	10	1,5	15,0
Total	0,31	**Índice de vulnerabilidad**			10,0	39,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**

Nota: *La tabla muestra los indicadores del componente de conducción, verificando la condición del sistema, valores de los indicadores y peso de ponderación para determinar el valor del nivel de vulnerabilidad.*

En el componente del sistema de conducción del sistema de agua potable da a conocer un índice de vulnerabilidad de 39,5 puntos, encontrándose dentro de un nivel de **vulnerabilidad medio**, este resultado se debe a que el sistema de conducción fue construida con tuberías de

PVC, si bien es cierto el material presenta propiedades favorables para su utilidad en redes de agua, su comportamiento pueden estar condicionado a las características del terreno, posee una antigüedad de entre 0 y 25 años, la construcción se realizaron conforme a la Norma INEN 1108, garantizando el cumplimiento de criterios técnicos adecuados. Aunque el mantenimiento se realiza de manera esporádica, la tubería se encuentra actualmente en buen estado de conservación, lo que favorece su funcionamiento.

De igual manera, mediante el trabajo de campo se pudo determinar que un tramo de la tubería está en un espacio de ciénego lo que puede representar un riesgo de ruptura, como evidencia en el Anexo 2.

4.2.1.3. Vulnerabilidad del Componente de Tratamiento

A continuación, se presenta la tabla de evaluación de vulnerabilidad de la planta de tratamiento, considerando indicadores técnicos, estructurales y de mantenimiento que permiten identificar su capacidad de respuesta frente a posibles amenazas sísmicas.

Tabla 14

Calificación de la vulnerabilidad del Tratamiento ante una amenaza sísmica

Componente: plantas de tratamiento	Número de plantas	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Total
Planta antigua de hormigón armado	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	25 a 40 años	5	1,5	7,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma MIDUVI	1	1,0	1,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Regular	5	1,0	5,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	39,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**

Nota: *La tabla muestra los indicadores del componente de tratamiento, condición del sistema, valores de los indicadores y peso de ponderación para determinar el valor del nivel de vulnerabilidad.*

El componente de la planta de tratamiento del sistema de agua potable presenta un índice de vulnerabilidad de 39,5 puntos, catalogando dentro de un índice de **vulnerabilidad media**. Mediante este resultado podemos verificar que, aunque la infraestructura cuenta con estudios técnicos de cimentación y fue construida con hormigón armado bajo la normativa MIDUVI, se puede notar varios factores que incrementan su susceptibilidad frente a amenazas sísmicas. Entre ellos recalca su antigüedad de 25 a 40 años, lo que puede generar deterioro progresivo de los materiales y reducción de resistencia en su capacidad estructural. Además, el mantenimiento que se realiza de forma esporádica y el estado actual de la planta fue calificado como regular podemos evidenciar la necesidad de intervenciones para mejorar sus condiciones operativas.

4.2.1.4. Vulnerabilidad en el Componente de Distribución

A continuación, se presenta la tabla de evaluación de vulnerabilidad del tanque de distribución, mediante la valoración de diferentes indicadores que permiten determinar las condiciones actuales del componente y su nivel de exposición ante amenazas sísmicas.

a) Tanque de distribución

Tabla 15

Calificación de la vulnerabilidad del Tanque de distribución ante una amenaza sísmica

Componente: tanques de Reserva (distribución)	Número de tanques	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Total
Tanque de distribución	1	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y se aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	Hormigón	1	2,5	2,5
		Antigüedad	25 a 40 años	5	1,5	7,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma INEN 1108	1	1,0	1,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Regular	5	1,0	5,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	No se planifica ni ejecuta	10	1,5	15,0
		Índice de vulnerabilidad			10,0	39,5
		Nivel de vulnerabilidad				**Medio**

Nota: *La tabla muestra los indicadores del componente de distribución, condición del sistema, valores de los indicadores y peso de ponderación para determinar el valor del nivel de vulnerabilidad.*

En la tabla de ponderación que corresponde al tanque de distribución del sistema de agua potable presenta un índice de vulnerabilidad de 39,5 puntos, lo cual se ubica dentro de un nivel de **Vulnerabilidad Media**. Este resultado nos da a conocer que, si bien el componente cuenta con la realización de estudios técnicos de cimentación, una estructura construida en hormigón y

el cumplimiento de la Norma INEN 1108 durante su diseño y proceso de construcción, existen componentes que elevan su vulnerabilidad frente a eventos sísmicos. Entre ellos está su antigüedad que se encuentra entre los 25 a 40 años, lo cual puede haber generado desgaste y pérdida de sus propiedades estructurales, así como su estado actual es regular y el mantenimiento se realiza de forma esporádica, lo que evidencia la necesidad de mejoras en ciertas áreas.

b) Red de Distribución

Se presenta la tabla identificando la vulnerabilidad de la red de distribución, en la que se analizan las características constructivas, operativas y de gestión del riesgo que influyen en su desempeño frente a eventos sísmicos.

Tabla 16

Calificación de la vulnerabilidad de la Red de Distribución ante una amenaza sísmica

Componente: red distribución	Longitud en km	Indicadores	Condición del sistema	Valor de indicador	Peso ponderación	Total
Red de distribución nueva (tubería con PVC)	19,73	Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y se aplicó	1	1,0	1,0
		Material de construcción	PVC	5	2,5	12,5
		Antigüedad	0 a 25 años	1	1,5	1,5
		Estándares de diseño y construcción	Norma INEN 1108	1	1,0	1,0
		Mantenimiento	Esporádico	5	1,5	7,5
		Estado actual	Bueno	1	1,0	1,0
		Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica, pero no ejecuta	5	1,5	7,5
		Índice de vulnerabilidad			10,0	32,0
		Nivel de vulnerabilidad				**Bajo**

Nota: *La tabla detalla los indicadores del componente de la red de distribución, la condición del sistema, valores de los indicadores y peso de ponderación para determinar el valor del nivel de vulnerabilidad.*

La red de distribución del sistema de agua potable presenta un índice de vulnerabilidad de 32 puntos, catalogando dentro de un nivel de **vulnerabilidad baja**. Con este resultado se puede evidenciar que la infraestructura posee condiciones medianamente favorables ya que se aproxima a que la condición cambie de baja a media, por ende, su capacidad de respuesta seria limitada frente a eventos sísmicos. Los factores que contribuyen a esta calificación se centran en la realización de estudios técnicos para la cimentación, el uso de tuberías de PVC en la red, es un material que permite que el sistema se adapte y resista deformaciones del terreno, la antigüedad comprendida dentro de los 25 años, lo cual reduce la probabilidad de fallas relacionadas al envejecimiento de la red. Asimismo, el diseño y construcción que se realizaron conforme a la Norma INEN 1108, se garantiza el cumplimiento de criterios técnicos adecuados, así mismo, se califica al estado actual como bueno.

4.2.2. Cartografía de la vulnerabilidad del sistema de agua del barrio Pelileo Grande ante sismos

Se presenta la cartografía del área de estudio de los componentes del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande.

En el mapa se evidencia el nivel de vulnerabilidad que tiene los diferentes componentes del sistema de agua del barrio de Pelileo Grande perteneciente al cantón San Pedro de Pelileo en la provincia de Tungurahua. Esta información fue determinada mediante una observación directa en campo utilizando las fichas técnicas basada en la metodología del PNUD (2012).

Mapa 5

Vulnerabilidad del sistema de agua del barrio Pelileo Grande ante sismos



Nota: *En el mapa se muestra el nivel de vulnerabilidad del sistema de agua del barrio Pelileo Grande.*

Se presenta la tabla de resumen de los componentes del sistema de agua potable que fueron evaluados:

Tabla 17

Resumen de componentes del sistema de agua potable con nivel de vulnerabilidad

Componentes del sistema de agua	Número / longitud en km	Nivel de vulnerabilidad
Tanque de captación	1,00	Baja
Línea de conducción	0,31	Medio
Planta de tratamiento	1,00	Media
Tanque de distribución	1.00	Media
Red de distribución	19,73	Baja

Nota: *Según el componente evaluado se determinó cual es el número de longitud con su respectivo nivel de vulnerabilidad.*

Dentro de la presente tabla se presenta detalladamente el nivel de vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua potable y la afectación en la cantidad de números y la longitud en metros.

4.3. Resultado del Objetivo 3: Proponer medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción de la vulnerabilidad física del sistema de distribución de agua potable del barrio Pelileo Grande

Las medidas estructurales son esenciales para la mitigación del riesgo basándose en parámetros como los responsables, recursos necesarios y un promedio aproximado de tiempo de ejecución para el mejoramiento y fortalecimiento de los cuatro componentes del sistema de agua. Estas acciones orientadas a reducir las condiciones de vulnerabilidad y fortalecer del funcionamiento de las mismas.

Medidas Estructurales

Tabla 18

Matriz de las Medidas Estructurales

Componentes del sistema de agua	Problema identificado	Medida estructural propuesta	Responsables	Tiempo de ejecución	Recursos necesarios	Indicador de cumplimiento
Tubería de conducción	Tramo de conducción expuesto a inestabilidad del terreno por emplazamiento de pantano.	Sustitución el tramo con material más resistente (Hierro dúctil)	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo	Tiempo aproximado de un año	Tubería de polietileno de Alta Densidad (HDPE)	Tubería remplazada

Planta de tratamiento	Infraestructura antigua con una vulnerabilidad media	Mantenimiento preventivo	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo	Tiempo aproximado de dos años	Estudios técnicos, materiales, y mano de obra	Avances en la obra y la posterior finalización
Tanque de distribución	Deterioro por la antigüedad y la vulnerabilidad media	Mantenimiento preventivo	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo	Tiempo aproximado de dos años	Estudios técnicos, material, mano de obra	Avance en la remodelación y posterior culminación del proyecto

Nota: *Se detallan las medidas estructurales de cada uno de los componentes del sistema de agua potable para reducir los riesgos ante la amenaza sísmica.*

A continuación, se presenta algunas de las medidas no estructurales de los cuatro componentes del sistema de agua potable considerando los problemas identificados para reducir los riesgos ante la amenaza sísmica, consideran la elaboración de los planes, protocolos orientados a realizar un mantenimiento adecuado, monitoreo constante, capacitación e inspección del sistema que permitirán el mejoramiento y fortalecimiento de los componentes.

Medidas No Estructurales

Tabla 19

Matriz de las Medidas No Estructurales

Componentes del sistema de agua	**Problema identificado**	**Medida no estructural propuesta**	**Responsables**	**Tiempo de ejecución**	**Recursos necesarios**	**Indicador de cumplimiento**
Tanque de captación	Falta de mantenimiento y la falta de monitoreo	Elaborar planes para para mantenimientos preventivos periódicos	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo y un técnico	Mantener el mantenimiento constante	Personal técnico, formatos de inspección	Número de inspecciones sobre el mantenimiento

Tubería de conducción	Ausencia de medidas de reducción de riesgos	Elaboración de protocolos de monitoreo y detección de fugas	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo	Monitoreo constante	Equipos de inspección y capacitación al personal técnico	Seguimiento a los monitoreos constantes
Planta de tratamiento	Falta de planificación para la reducción de riesgos	Implementar un plan de gestión de riesgos y emergencias	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo conjuntamente con el departamento de la gestión de riesgos	Tiempo aproximado de un año y la actualización constante del plan	Capacitación al personal técnico	Plan aprobado
Tanques de distribución	La inexistencia de medidas de mitigación	Realizar evaluaciones periódicas de vulnerabilidad	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento	Tiempo aproximado de un año	Personal del departamento de gestión de riesgos	Informes de evaluaciones realizadas

			del GAD cantón Pelileo			
Red de distribución	Limitada preparación y capacidad de respuesta ante eventos sísmicos	Capacitación del personal operativo en gestión de emergencias	El Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD cantón Pelileo y organismos de respuesta	Tiempo aproximado de un año	Materiales didácticos para la capacitación y logística	Número de simulacros ejecutados

Nota: *Se describen las medidas no estructurales de cada uno de los componentes del sistema de agua potable para reducir los riesgos ante la amenaza sísmica.*

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se analizó la amenaza sísmica a partir de los datos históricos recopilados, que demuestra que la ciudad de Pelileo y el barrio Pelileo Grande ha sufrido un evento sísmico ocurrido el 5 de agosto de 1949 con una magnitud de 6,8 (escala Richter) e intensidad X (escala Modificada de Mercalli), donde se evidenció impactos significativos en el barrio Pelileo Grande; en la NEC-2015, el cantón se encuentra en la zona V de peligro sísmico alto con un valor del factor Z de 0,40 g y en el estudio de microzonificación sísmica del GAD Municipal del cantón Pelileo, se localiza en el tipo de suelo D que se clasifica como rígido intermedio a blando bajo que ocasionaría la amplificación de la onda sísmica e incrementaría la vulnerabilidad en las infraestructuras que no cuentan con diseños sismo resistentes, por tal razón, la infraestructura del sistema de agua potable está expuesta a la amenaza sísmica.

Se realizó un análisis de la vulnerabilidad física de los cuatro componentes del sistema de agua potable ante la amenaza sísmica, la captación registra un nivel bajo, la red de conducción y la planta de tratamiento con nivel medio, el tanque de distribución con nivel medio y la red de distribución con nivel bajo; en su mayor parte, presentan niveles de vulnerabilidad medio, ya que cuenta con estudios de diseño y construcción para sus cuatro componentes, pero, no se cuenta con estudios a detalle ante la amenaza sísmica.

Con base los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad física del sistema ante la amenaza sísmica se establecieron medidas por cada componente, entre ellas se plantea las medidas estructurales y no estructurales, se orienta acciones preventivas y correctivas que

ayudarán a mejorar las condiciones actuales de la infraestructura y mantener el correcto funcionamiento del sistema de agua potable del barrio Pelileo Grande ante los eventos sísmicos.

5.2. Recomendaciones

Se debe realizar estudios de microzonificación /geotécnica-sísmica) con mayor detalle (1:5000), para identificar más detalladamente los diferentes tipos de suelos del barrio de Pelileo Grande y la ciudad de Pelileo, caracterizando su comportamiento mecánico y dinámico, así como, evaluar los efectos sísmicos como la amplificación sísmica y la licuación, y su influencia en las infraestructuras como los sistemas de agua potable, las edificaciones, entre otras.

Se debe mantener un registro de daños ante los desastres donde se incorpore información geológica, histórica, normativa y cartográfica, realizar inspecciones periódicas con el fin de orientar la planificación territorial, la prevención y la protección de infraestructuras esenciales como el sistema de agua potable.

Considerar realizar inspecciones técnicas periódicas al sistema de la planta de tratamiento y distribución, principalmente, en los tramos con mayor antigüedad, deterioro, fugas o ubicación en terrenos inestables, para verificar el estado actual ejecutado el mantenimiento preventivo y correctivo que reduzca el nivel de vulnerabilidad física.

Adoptar las medidas estructurales y no estructurales propuestas para que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San Pedro de Pelileo a través de la Dirección de Agua Potable y Saneamiento considere estas medidas para prevenir y mitigar según el nivel de exposición y vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, de esta manera mantener el correcto funcionamiento del sistema de agua potable para la población.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, A., & Antipolis, S. (2014). *Tectónica activa en Quito, Ecuador, evaluada mediante estudios geomorfológicos, datos GPS y sismicidad cortical.* 67–83. https://doi.org/10.1002/2012TC003224.Recibido

Andramuño, I. F. (2023). *GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ISIDRO- ALCALDE DEL CANTÓN MORONA*.

Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del ecuador*.

Carrillo, J., & Tualombo, E. (2021). *ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA BOLÍVAR, PERIODO 2021*.

CEPAL. (2014). *Manual para la Evaluación de Desastres*.

CEPAL. (2022). Metodología Complementaria Para La Evaluacion De Riesgo De Desastres En Proyectos De Infraestructura Pública. *Sni*, 43.

DIR.ARCA. (2022). *Norma técnica para el control a la Calidad del agua de consumo humano*. 1–17.

EPN, I. G.-. (2011). *456-gran-terremoto-de-pelileo-5-de-agosto-de-1949 @ www.igepn.edu.ec*. https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/456-gran-terremoto-de-pelileo-5-de-agosto-de-1949

ERN. (2011). *METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES INFORME*. https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-3 - Modelos de Evaluación de Amenazas.pdf

Franco Eduardo. (1995). *Desastres y sociedad*. *4*.

https://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys04/dys4-1.0-nov-7-2001-TODO.pdf

Galbán, González, U. (2021). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico en obras hidráulicas : una nueva aproximación metodológica Water supply systems seismic vulnerability and risk : a new methodological rough calculation*. *XLII*, 109–124.

Gobierno Provincial de Tungurahua. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Tungurahua*. https://www.tungurahua.gob.ec/file/2020/07/PDyOT-TUNGURAHUA-2019-2023-Version-2.pdf

Grotzinger, J., & Jordan, T. (2014). Understading Eacrh. *Aacademia*, *7ma Edició*.

Hazus. (2024). *Hazus 6.1 Inventory Technical Manual*. *August*.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodologia de la investigación: las rutas cuantativa, cualitativa y mixta. In *McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES*.

IGEPN. (2023). *Mapa digital interactivo de peligro sísmico para Ecuador*.

IGM. (2013). *ATLAS_ECUADOR_2013.pdf*.

IIGE. (2018). *Mapas Geológicos 2017-2018*.

INEC. (2022). *Censo de Información Ambiental y Económico GDS Provinciales*.

INEN. (2020). *ECUATORIANA NTE INEN 1108*.

Mejia, Y. B., & Solorza, J. C. (2025). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE "MONTEBLANCO" EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ D.C.*

MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SE-RE: Evaluación y rehabilitación estructural*.

Moscoso, Solano, P. (2021). *Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca*. *5*, 46–66.

Moscoso Vintimlla, G. M., Paucar Camacho, J. A., & Solano Peláez, J. L. (2021). Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, *5*(2), 46–66. https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1573

NEC. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC*. https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf

O'Rourke, M. (1993). Daños en tuberías debido a la propagación de ondas. *ASCE/Library*.

OMS. (2018). *Guías para el Saneamiento y la Salud*. *October*, 1–14.

ONU. (2015). *Informe de Evalución Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 (GAR15)*. 28.

OPS. (2004). *Guías para la calidad del agua potable*.

OPS. (2007). *ABASTECIMIENTO DE AGUA Y*.

Organización Panamericana de la Salud. (2009). Organización Mundial de la Salud oficina regional para las americas. *El Agua En Situaciones de Emergencia*.

Parra Ortíz, E. (2019). *La memoria de una ciudad:Ambato, el desastre y lareconstrucción social.* 3–5.

Pilco, W. P. (2020). *ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO CANTÓN TISALEO , PROVINCIA DE*. *041*.

PNUD. (2004). *La reducción de riesgos de desastres. Un desafio para el desarrollo*.

PNUD. (2012). *VULNERABILIDADES A NIVEL*. 0–108.

Quinde Martínez, P., & Angulo, E. R. (2016). Estudio De Peligro Sísmico De Ecuador Y Propuesta De Espectros De Diseño Para La Ciudad De Cuenca Seismic Hazard Assessment for Ecuador and Design Spectra Proposed for the City of Cuenca. *Revista de Ingeniería*

Sísmica, *26*(94), 1–26.

ROMERO, E. (2024). *VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD QUESERAS DE LA PARROQUIA VEINTIMILLA DEL CANTÓN GUARANDA PERIODO OCTUBRE 2023-FEBRERO 2024*.

Steven L. Kramer. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering (Kramer 1996).pdf*.

UNDDR. (2019). *Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres*.

UNDRR. (2015). *Informe de Evalución Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 (GAR15)*. 28.

UNDRR. (2024). *Informe de Evaluación sobre el Riesgo de Desastres en América Latina y el Caribe*.

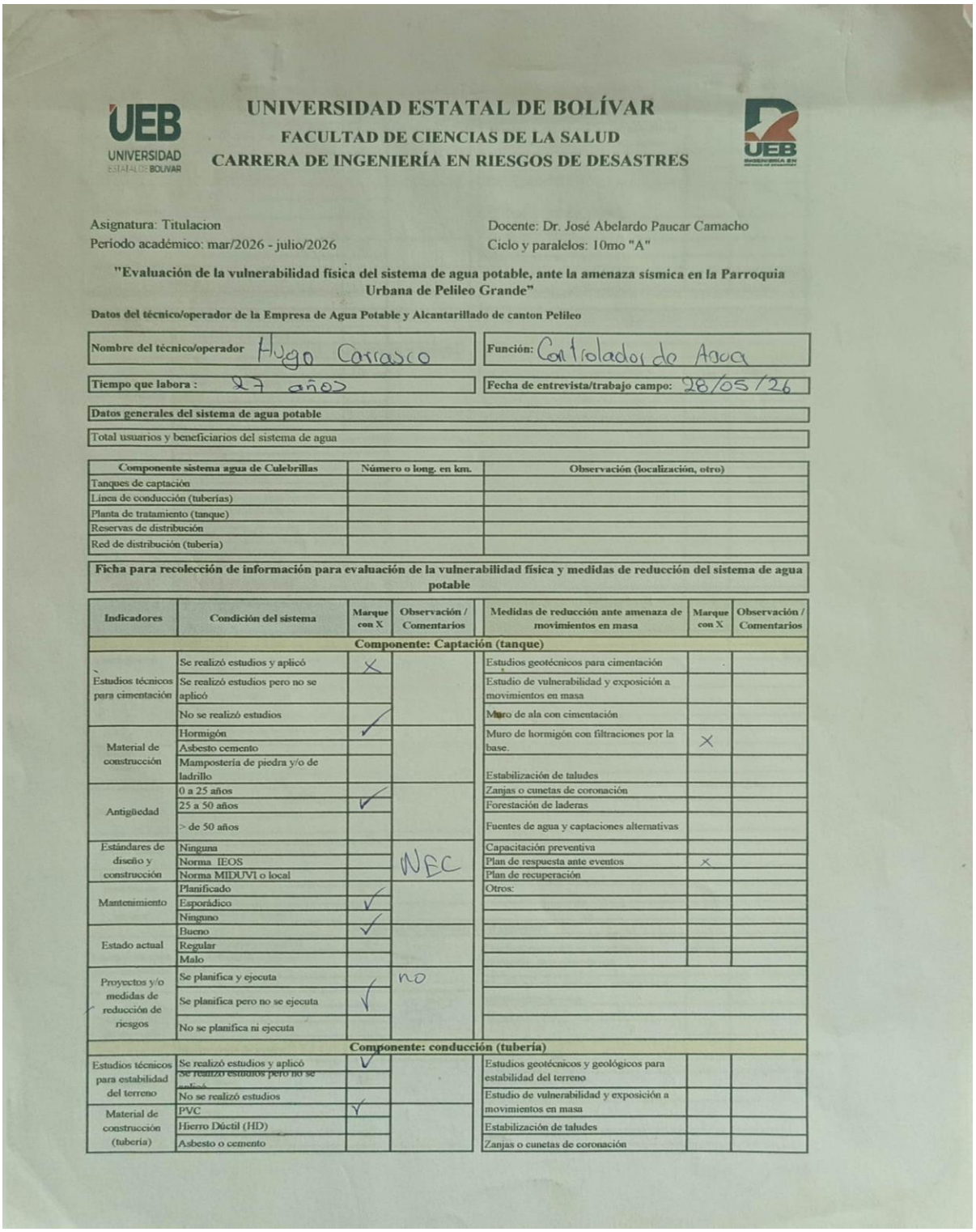
UNISDR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. *Resolución Aprobada Por La Asamblea General El 3 de Junio de 2015*, 26.

Velasquez, G. (2019). *REDES DE AGUA Y DESAGUE: FENOMENOS SISMICOS Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO EN EL DISTRITO DE HUACHO 2019*.

Yepes, H., Bakun, W. H., Alvarado, A., & Singaucho, J. (2010). *Geophysical Journal International*. 1613–1633. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04569.x

ANEXOS

Anexo 1 Ficha de campo para la evaluación de la Red de Distribución del Sistema de Agua Potable



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

Asignatura: Titulacion — Docente: Dr. José Abelardo Paucar Camacho
Periodo académico: mar/2026 - julio/2026 — Ciclo y paralelos: 10mo "A"

"Evaluación de la vulnerabilidad física del sistema de agua potable, ante la amenaza sísmica en la Parroquia Urbana de Pelileo Grande"

Datos del técnico/operador de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de canton Pelileo

Nombre del técnico/operador Hugo Carrasco	**Función:** Controlador de Agua
Tiempo que labora : 27 años	**Fecha de entrevista/trabajo campo:** 28/05/26

Datos generales del sistema de agua potable

Total usuarios y beneficiarios del sistema de agua

Componente sistema agua de Culebrillas	Número o long. en km.	Observación (localización, otro)
Tanques de captación		
Línea de conducción (tuberías)		
Planta de tratamiento (tanque)		
Reservas de distribución		
Red de distribución (tubería)		

Ficha para recolección de información para evaluación de la vulnerabilidad física y medidas de reducción del sistema de agua potable

Indicadores	Condición del sistema	Marque con X	Observación / Comentarios	Medidas de reducción ante amenaza de movimientos en masa	Marque con X	Observación / Comentarios
Componente: Captación (tanque)						
Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	X		Estudios geotécnicos para cimentación		
	Se realizó estudios pero no se aplicó			Estudio de vulnerabilidad y exposición a movimientos en masa		
	No se realizó estudios	✓		Muro de ala con cimentación		
Material de construcción	Hormigón	✓		Muro de hormigón con filtraciones por la base.	X	
	Asbesto cemento					
	Mampostería de piedra y/o de ladrillo			Estabilización de taludes		
Antigüedad	0 a 25 años	✓		Zanjas o cunetas de coronación		
	25 a 50 años			Forestación de laderas		
	> de 50 años			Fuentes de agua y captaciones alternativas		
Estándares de diseño y construcción	Ninguna		NEC	Capacitación preventiva		
	Norma IEOS			Plan de respuesta ante eventos	X	
	Norma MIDUVI o local			Plan de recuperación		
Mantenimiento	Planificado			Otros:		
	Esporádico	✓				
	Ninguno	✓				
Estado actual	Bueno	✓				
	Regular					
	Malo					
Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta		no			
	Se planifica pero no se ejecuta	✓				
	No se planifica ni ejecuta					
Componente: conducción (tubería)						
Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	✓		Estudios geotécnicos y geológicos para estabilidad del terreno		
	Se realizó estudios pero no se aplicó			Estudio de vulnerabilidad y exposición a movimientos en masa		
	No se realizó estudios					
Material de construcción (tubería)	PVC	✓		Estabilización de taludes		
	Hierro Dúctil (HD)			Zanjas o cunetas de coronación		
	Asbesto o cemento					

Antigüedad	0 a 25 años			Paso elevado con zapata superficial en el cauce de río o quebrada		
	25 a 50 años	X		Sistema de soporte de tuberías mediante anclajes, tensores de acero y anillos		
	> de 50 años	X				
Estándares de diseño y construcción	Ninguna		1108	Forestación de laderas		
	Norma IEOS		Inen	Capacitación preventiva		
	Norma MIDUVI o local					
Mantenimiento	Planificado			Plan de respuesta ante eventos		
	Esporádico	X				
	Ninguno			Plan de recuperación		
Estado actual	Bueno	X		Otros:		
	Regular					
	Malo					
Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta					
	Se planifica pero no se ejecuta					
	No se planifica ni ejecuta					
Componente: tratamiento (tanques o planta)						
Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	X		Estudios, topográficos, geotécnicos y geológicos para cimentación	X	Topografico
	Se realizó estudios pero no se aplicó					
	No se realizó estudios			Estudio de vulnerabilidad y exposición a movimientos en masa	X	SI
Material de construcción	**PLANTA HORMIGÓN**	X				
	Hormigón	X				
	Asbesto cemento			Estabilización de taludes		
	Mamposteria de ladrillo			Zanjas o cunetas de coronación		
	Prefabricado			Capacitación preventiva		
	PLANTA METÁLICA			Plan de respuesta ante eventos		
	Metalica	X		Plan de recuperación		
	PLANTA DAFFI			Forestación de laderas		
	Acero Inoxidable-Aceros			Sistema de drenaje del entorno para evacuación de agua		
	Hormigón					
Antigüedad	**PLANTA HORMIGÓN**			Otros:		
	0 a 25 años					
	25 a 40 años	X				
	> de 40 años					
	PLANTA METÁLICA		Supera los			
	0 a 25 años	X	25 años			
	25 a 40 años	X	de construcción			
	> de 40 años					
	PLANTA DAFFI					
	0 a 25 años					
	25 a 40 años					
	> de 40 años					
Estándares de diseño y construcción	Ninguna		Nec			
	Norma IEOS					
	Norma MIDUVI o local					
Mantenimiento	Planificado					
	Esporádico	X				
	Ninguno					
Estado actual	Bueno	X				
	Regular					
	Malo					
Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta					
	Se planifica pero no se ejecuta	X				
	No se planifica ni ejecuta					
Componente: Distribución (tanque)						
Estudios técnicos para cimentación	Se realizó estudios y aplicó	X		Estudios, topográficos, geotécnicos y geológicos para cimentación		
	Se realizó estudios pero no se aplicó					
	No se realizó estudios			Estudio de vulnerabilidad y exposición a movimientos en masa		
Material de construcción	Hormigón Armado	X	2000			
	Ferro cemento		m3	Zanjas o cunetas de coronación		
	Mamposteria de ladrillo				X	
	Mamposteria de piedra			Sistema de drenaje del entorno para evacuación de agua		
Antigüedad	0 a 25 años	X		Forestación de laderas		
	25 a 40 años	X		Capacitación preventiva		
	> de 40 años			Plan de respuesta ante eventos		
Estándares de diseño y construcción	Ninguna					
	Norma IEOS			Plan de recuperación		
	Norma MIDUVI o local	X		Otros:		

Mantenimiento	Planificado					
	Esporádico	X				
	Ninguno					
Estado actual	Bueno	X				
	Regular					
	Malo					
Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta					
	Se planifica pero no se ejecuta					
	No se planifica ni ejecuta					
Componente: Distribución (tubería)						
Estudios técnicos para estabilidad del terreno	Se realizó estudios y aplicó	X		Estudios geotécnicos y geológicos para estabilidad del terreno	X	Geotecnico
	Se realizó estudios pero no se aplicó					
	No se realizó estudios			Estudio de vulnerabilidad y exposición a movimientos en masa		
Material de construcción (tubería)	PVC	X		Estabilización de taludes		
	PVC-TOM			Zanjas o cunetas de coronación		
	Hierro Dúctil (HD)			Paso elevado con zapata superficial en el cauce de río o quebrada		
	Politubo					
	Asbesto o cemento			anclajes, tensores de acero y anillos flexibles		
Antigüedad	0 a 25 años	X	Tubo de 90			
	25 a 50 años			Forestación de laderas		
	> de 40 años			Capacitación preventiva		
Estándares de diseño y construcción	Ninguna		Hay Pocos Hidrios	Plan de respuesta ante eventos		
	Norma IEOS			Plan de recuperación		
	Norma MIDUVI o local			Otros:		
Mantenimiento	Planificado	X				
	Esporádico	X				
	Ninguno					
Estado actual	Bueno	X				
	Regular					
	Malo					
Proyectos y/o medidas de reducción de riesgos	Se planifica y ejecuta	X				
	Se planifica pero no se ejecuta					
	No se planifica ni ejecuta					

Nombre y firma del responsable de la ficha técnica

Anexo 2 Registro del tramo del ciénego



Fotografía 1. Se evidencia el tramo del ciénego.

Anexo 3 Registros Fotográficos



Fotografía 2. Aplicación de la ficha de campo a un técnico del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado para determinar las condiciones de amenaza sísmica y vulnerabilidad del sistema de agua.



Fotografía 3. Se aplicó la evaluación de la Red de Distribución del sistema de Agua Potable al operador del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado.



Fotografía 4. Salida de campo para determinar el sistema de captación.



Fotografía 5. Utilización del GPS para georreferenciar el sistema de captación.



Fotografía 6. Verificación de la planta de tratamiento.



Fotografía 7. Inspección de los tanques de la planta de tratamiento.



Fotografía 8. Supervisión de la planta de tratamiento.



Fotografía 9. Verificación de la tubería que conduce a la planta de tratamiento.



Fotografía 10. Inspección visual de la existencia de fallas ante la amenaza sísmica.



Fotografía 11. Planta de tratamiento del sistema de agua potable.



Fotografía 12. Tanque de almacenamiento del sistema de agua potable.