



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO
CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS**

Bayron Leonel Vivar Quezada
Asesorado por el Ing. Luis Felipe Herrera Eguizabal

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO
CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BAYRON LEONEL VIVAR QUEZADA

ASESORADO POR EL ING. LUIS FELIPE HERRERA EGUIZABAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Llorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos
EXAMINADORA	Inga. Lesbia Magalí Herrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 03 de noviembre de 2021.

Bayron Leonel Vivar Quezada

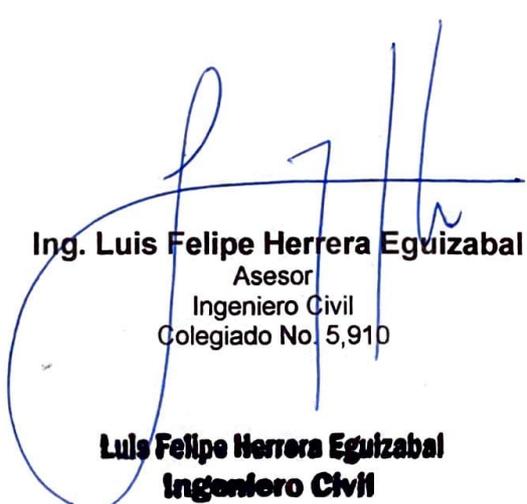
Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Ingeniero
Alejandro Castañón López
Coordinador del Área de Topografía y Transportes
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Castañón:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el protocolo de trabajo de graduación con el tema **“ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS”** del estudiante de la carrera de Ingeniería Civil **Bayron Leonel Vivar Quezada**, identificado con CUI 2607-64221-1002 y registro académico 2009-20112. Manifiesto estar de acuerdo con el tema de investigación y me comprometo en asesorar con responsabilidad y diligencia el trabajo hasta la aprobación de la tesis de graduación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,



Ing. Luis Felipe Herrera Eguizabal
Asesor
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5,910

Luis Felipe Herrera Eguizabal
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5,910

Guatemala, 30 de enero de 2023

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Fuentes:

Por este medio se informa que el Área de Topografía y Transportes, ha aprobado el trabajo de graduación: **“ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS.”**, el cual fue presentado por el estudiante de Ingeniería Civil **Bayron Leonel Vivar Quezada**, con CUI **2607 64221 1002** y registro académico No. **200920112**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Civil **Luis Felipe Herrera Eguizabal**. Y después de haber realizado las correcciones pertinentes por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil.

Por lo que considero que este trabajo llena los requisitos planteados y que representa un aporte para la Facultad de Ingeniería, por lo que se aprueba al mismo, solicitándole darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Alejandro Castañón López
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA
DE TOPOGRAFÍA
Y TRANSPORTES
COORDINACIÓN





El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARCOS**, presentado por: **Bayron Leonel Vivar Quezada**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, febrero de 2023





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.209.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGO DEL PROYECTO MEJORAMIENTO CARRETERA TAJUMULCO - TOCACHE (SAN PABLO) SAN MARGOS**, presentado por: **Bayron Leonel Vivar Quezada**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por nunca dejarme, por su fidelidad y amor, por darme la sabiduría y guiarme en sus pasos.
- Mis padres** En especial a mi madre Herlinda Quezada, por siempre creer en mí, por apoyarme en todo momento sin importar la circunstancia.
- Mis hermanos** Evelyn, Emanuel, Walter y Linda, quienes fueron los primeros en creer en mí y animarme a cumplir este sueño.
- Mi novia** Angélica Morales, por aconsejarme, apoyarme y siempre recordarme que lo podía lograr, aunque las situaciones fueran difíciles.
- Fidel Quezada** Por abrirme las puertas de su casa en el inicio de este sueño. Sé que desde el cielo se siente orgulloso por haberlo logrado.

ACTO QUE DEDICO A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma mater</i> de la educación superior en Guatemala y abrirme las puertas para superarme.
Facultad de Ingeniería	Por llenarme de sabiduría y conocimientos que me servirán en mi carrera profesional.
Amigos de la facultad	Cada uno ha sido especial por compartir conocimientos, amistad y recuerdos.
Amigos de Mazatenango	Laura, Bryan, Meme y Ely, quienes han sido como hermanos para mí durante estos 20 años de amistad.
Ing. Felipe Herrera	Por asesorarme, compartir sus conocimientos conmigo y enseñarme a ser un buen profesional en la rama de la ingeniería.
Ing. Adolfo Rojas	Por abrirme las puertas al área profesional y laboral de la rama de las carreteras en la ingeniería civil. Por creer y confiar en mí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Vulnerabilidad.....	3
2.2. Índice de sismicidad	4
2.3. Precipitaciones	5
2.4. Fenómenos naturales	5
2.4.1. Terremotos	6
2.4.2. Sismos.....	6
2.4.3. Erupciones volcánicas	6
2.4.4. Huracanes	7
2.4.5. Depresiones tropicales	7
2.4.6. Deslizamientos	8
2.4.7. Erosiones.....	8
2.4.8. Inundaciones	8
2.4.9. Sequías	9
2.5. Componentes de una carretera	9
2.5.1. Sección típica	9

2.5.2.	Estructuras de drenaje menor	11
2.5.3.	Estructuras de drenaje mayor	11
2.5.4.	Muros de contención	12
2.5.5.	Estructura del pavimento	13
2.5.6.	Señalización vertical y horizontal	15
2.5.6.1.	Señalización vertical.....	15
2.5.6.2.	Señalización horizontal.....	16
3.	METODOLOGÍA	17
3.1.	Enfoque.....	17
3.2.	Diseño y alcance de la investigación.....	17
3.3.	Método de investigación.....	17
3.4.	Instrumentos de investigación	18
3.5.	Operacionalización y análisis de las variables	20
4.	ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD	23
4.1.	Análisis y gestión de riesgo en el proyecto	23
4.1.1.	Zona geográfica	25
4.1.2.	Sismos y terremotos.....	26
4.1.3.	Precipitaciones	29
4.1.4.	Derrumbes y deslizamientos	30
4.1.5.	Lahares y material piroclástico	31
4.2.	Análisis por exposición del sitio.....	33
4.3.	Matriz de amenazas en análisis de gestión de riesgo	35
4.3.1.	Análisis y gestión de riesgo del municipio de Tajumulco.....	36
4.3.2.	Análisis y gestión de riesgo del municipio de San Pablo (Aldea Tocache).....	40

CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51
APÉNDICES	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Características geométricas para diseño de carreteras	10
2.	Estructura de pavimento flexible	14
3.	Estructura de pavimento rígido.....	15
4.	Boleta de campo de AGRIP	19
5.	Boleta de amenazas de AGRIP.....	20
6.	Diagrama del proceso de análisis de riesgo (AGRIP)	24
7.	Zona Geográfica Tajumulco – Aldea Tocache	26
8.	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala	27
9.	Precipitación promedio en la costa sur de San Marcos.....	29
10.	Deslizamiento de tierra, carretera Tajumulco-Tocache	31
11.	Roca de material volcánico en la caja de drenaje menor	33
12.	Caja de drenaje menor azolvada.....	33
13.	Boleta de evaluación de campo	34
14.	Resultados del análisis y gestión de riesgo del municipio de Tajumulco.....	37
15.	Resultados del análisis y gestión de riesgo del municipio de San Pablo (aldea Tocache)	41

TABLAS

I.	Operacionalización de variables	21
II.	Amenaza sísmica	28

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
km	Kilómetro
m	Metro
mm	Milímetro

GLOSARIO

AGRIP	Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública.
Amenaza	Es un riesgo externo, representado por el peligro latente de un fenómeno.
DGC	Dirección General de Caminos.
DTI	Departamento Técnico de Ingeniería.
Micivi	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
Minfin	Ministerio de Finanzas Públicas.
Precipitación	El término precipitación se utiliza en meteorología para referirse a todos los fenómenos de la caída de agua del cielo en cualquier forma: lluvia, granizo, nieve, entre otros.
Riesgo	Es el resultado del omiso de las amenazas.
Sismicidad	Es la medida de la actividad sísmica de algún lugar específico, según su frecuencia e intensidad a lo largo del tiempo.

Vulnerabilidad

Es el riesgo que una persona, sistema u objeto puede sufrir frente a peligros inminentes.

RESUMEN

En esta investigación se estudia el tema: *Análisis de la gestión de riesgo del proyecto mejoramiento carretera Tajumulco-Tocache (San Pablo) San Marcos*. En las páginas preliminares se detallan aspectos importantes como algunas siglas y símbolos, de los cuales se presenta su significado. Luego se exponen los objetivos y la introducción.

Como parte del desarrollo propiamente, en el capítulo 1 se proporcionan antecedentes de investigación, mientras que en el capítulo 2 se presenta el marco teórico, en el capítulo 3 la metodología y, finalmente, en el cuarto capítulo se profundiza en el análisis de riesgos y vulnerabilidad. Cierra el documento con conclusiones, recomendaciones, bibliografía y apéndices.

OBJETIVOS

General

Analizar la gestión de riesgos de las amenazas que puedan afectar la transitabilidad en el proyecto: *Mejoramiento carretera Tajumulco - Tocache (San Pablo) del departamento de San Marcos*, para minimizar los riesgos en dicho tramo.

Específicos

1. Identificar las posibles amenazas a las que se encuentra expuesto el tramo carretero entre la cabecera municipal de Tajumulco y la aldea Tocache, del municipio de San Pablo, departamento de San Marcos, que puedan causar un desastre natural.
2. Determinar medidas de mitigación con base en las amenazas que se hayan identificado en el tramo carretero.
3. Determinar los beneficios al realizar un análisis de gestión de riesgo para el tramo carretero en estudio.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial brinda comunicación, desarrollo, locomoción y es por medio de ello que se logra la unión entre poblaciones, que dan como resultado el desarrollo tanto social como económico de un país. Las carreteras se encuentran sometidas a una diversidad de amenazas que las hacen vulnerables e incrementan el riesgo de su funcionalidad. El tramo que une las poblaciones de Tajumulco y Tocache se trabajó por medio de un proyecto de la institución encargada de la construcción de carreteras en Guatemala, siendo esta la Dirección General de Caminos, y fue denominado *Mejoramiento carretera Tajumulco - Tocache (San Pablo) San Marcos*. Los 20.8 kilómetros que conforman el tramo carretero, por su ubicación y la zona geográfica que atraviesan, es un tramo con una gran variedad de amenazas, por lo cual es necesario realizar un análisis de riesgo que permita estudiar su vulnerabilidad y así evitar los daños que puedan llegar a afectar la buena transitabilidad de los usuarios.

El proyecto se encuentra ubicado en el altiplano y bocacosta del departamento de San Marcos, en la región montañosa y zona volcánica, ya que se ubica en las faldas del volcán Tajumulco. Se ve amenazado por lluvia de ceniza volcánica, lahares de material piroclástico, inundaciones y precipitaciones que, en combinación con los taludes que forman la sección típica de la carretera, pueden provocar saturación de suelos, dando como resultado movimientos en masa (deslizamientos) y derrumbes, así como el azolvamiento de las alcantarillas y bóvedas por materiales sedimentados en las cuencas de las faldas del volcán Tajumulco que, por las fuertes lluvias que se dan en la época de invierno en la región, ocasionan los lahares.

El análisis de riesgo del proyecto permite estudiar de una forma más profunda las amenazas a las cuales está expuesto y crear una matriz de las amenazas identificadas, para mitigar el impacto que pudieran ocasionar en campo y, de llegar a suceder una catástrofe provocada por un fenómeno natural, que esta no ocasione pérdidas humanas ni destrucción en la carretera.

El Ministerio de Finanzas Publicas (Minfin) presentó en agosto del año 2019 un plan de reactivación vial para los próximos catorce años, con un monto de Q95 mil 817 millones, así mismo presenta la calificación en desempeño logístico por el Banco Mundial, ubicando a Guatemala en el puesto 115 de 167. El enfoque en la red vial del país debe ser un tema de suma importancia para el gobierno central, pues Guatemala es un país que, por su ubicación geográfica, es altamente sísmico, está expuesto a huracanes y depresiones tropicales provenientes de los océanos Pacífico y Atlántico, con cuatro volcanes activos que son una amenaza latente para la infraestructura.

Todas las amenazas antes mencionadas pueden manifestarse en cualquier momento, y esto no significa que su mitigación sea inevitable. Mediante el análisis de riesgo se puede llegar a un punto donde una amenaza no constituya un mayor peligro de destrucción, haciendo que los tramos carreteros sean menos vulnerables y esto a su vez ayudaría a la economía del país.

1. ANTECEDENTES

Guatemala está repartido en tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos. Los movimientos relativos entre estas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes. El contacto entre las placas de Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente. Su manifestación en la superficie son las fallas de Chixoy-Polochic y Motagua.

El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo convergente, la Placa de Cocos se mete por debajo de la Placa del Caribe (fenómeno conocido como subducción). Este proceso da origen a una gran cantidad de temblores y formación de volcanes. El contacto entre estas dos placas está aproximadamente a 50 km frente a las costas del océano Pacífico. A su vez, estos dos procesos generan deformaciones al interior de la Placa del Caribe, produciendo fallamientos secundarios como: Jalpatagua, Mixco y Santa Catarina Pinula. (INSIVUMEH, 2016)

Con base en la investigación realizada se afirma que no existen investigaciones previas aplicadas a este tramo carretero, pero existen estudios relacionados al análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras. En la investigación realizada por el ingeniero civil José Antonio Palma, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se aborda el tema *Análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras*, el cual consiste en establecer criterios estándar para evaluar las amenazas y recomendar medidas de mitigación, a fin de seleccionar las alternativas más adecuadas al proyecto de carretera. Este estudio asegura que la omisión del análisis de riesgo en la planificación de la infraestructura vial podría repetir un ciclo costoso de destrucción y

reconstrucción. El planteamiento de mitigación de desastres y vulnerabilidad debe incorporarse en los esfuerzos de planificación regional más importantes.

En la investigación realizada por el ingeniero civil y máster en geotecnia Diego Alberto Cordero, de la Universidad de Costa Rica, se investiga el tema *Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial nacional*, el cual consiste en evaluar la vulnerabilidad de las carreteras nacionales de manera oportuna y generar acciones para reducirla, esto dependerá de la capacidad de atender emergencias causadas por los eventos en comunidades y/o sectores productivos influenciados, tanto por la infraestructura vial afectada, como por la rapidez de recuperación del país posterior a emergencias.

En el trabajo *Mejoramiento carretera Tajumulco - Tocache (San Pablo) San Marcos*, durante su fase de construcción, se desarrolló una serie de acontecimientos provocados por fenómenos naturales, como deslizamientos, derrumbes, erosiones de la sección típica y azolvamientos de estructuras de drenaje menor (alcantarillas) y mayor (bóvedas).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vulnerabilidad

Probabilidad de que, según la fragilidad de factores condicionantes, físicos, socioeconómicos y ambientales, aumente la susceptibilidad a los impactos de amenazas. (SEGEPLAN, 2016)

Las amenazas por sí solas constituyen un peligro latente, en función de las condicionantes de vulnerabilidad de un sitio en particular se pueden convertir en una situación de riesgo para el proyecto. En muchos casos son socialmente generadas y derivan de un proceso de desarrollo mal planificado, que no considera las condicionantes propias de cada territorio. (SEGEPLAN, 2016)

El análisis de la gestión del riesgo en la infraestructura pública está orientado a la gestión prospectiva del riesgo, que es anticiparse a las condiciones de peligro que podría generarse en determinado sitio. Se realiza en procesos externos e internos, los cuales, según la metodología planteada, tienen elementos externos que están conformados por el conocimiento y análisis de las amenazas y de las vulnerabilidades del entorno del proyecto. Estos elementos externos proporcionan la información para el análisis de los elementos internos y comprenden la vulnerabilidad a la exposición del sitio, que permite definir el grado probable de vulnerabilidad por fragilidad, información que será un elemento importante para los diseños estructurales del proyecto. (SEGEPLAN, 2016)

Dentro del marco del Sistema Nacional de Planificación, en las *Normas del sistema nacional de inversión pública* se establece que las Entidades Públicas

de Inversión (EPI) deben incluir dentro del documento de proyecto el análisis de riesgos (amenazas y vulnerabilidades), atendiendo lo establecido en la herramienta para el Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública (AGRIP). (SEGEPLAN, 2016)

La herramienta AGRIP es un instrumento de apoyo que permite la identificación de potenciales amenazas en el sitio en donde se construirá, ampliará o mejorará infraestructura pública, y vincula la gestión del riesgo en el ciclo de formulación de proyectos.

Es un estudio de las amenazas (condición) y el impacto (consecuencia) a las cuales está sometido un proyecto. Al analizar la zona, su entorno, su localización y las condiciones climáticas, se puede obtener una amplia información para las medidas de mitigación y disminuir el riesgo, y así obtener la menor probabilidad de impacto y que no cambie de ser un evento a una tragedia con pérdidas humanas, económicas y transitables.

2.2. Índice de sismicidad

“Incide sobre el nivel de protección sísmica que se hace necesario para diseñar la obra o edificación e incide en la selección del espectro sísmico de diseño” (AGIES, 2018, p. 1-4). Guatemala se divide en macrozonas de amenaza sísmica caracterizadas por su índice de sismicidad, el cual es un rango entre $I_0=2$ a $I_0=4$.

Existen cuatro clasificaciones de obra al momento de realizar la construcción de un proyecto (edificios, carreteras, entre otros). Un tramo carretero se puede clasificar como esencial, ya que, al momento de suceder un evento o desastre natural, la transitabilidad es de suma importancia para la

movilización de cuerpos de socorro, médicos y seguridad. Siendo una clasificación esencial, la probabilidad nominal es de 5 % de ser excedido en un periodo de cincuenta años y se define como sismo severo. (AGIES, 2018)

2.3. Precipitaciones

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Aparicio, 1992, p. 113)

A través de la hidrología se puede realizar un análisis de las precipitaciones que suceden en una región, las precipitaciones se pueden definir como la cantidad de agua que desciende de la atmósfera, su cantidad e intensidad son de suma importancia, dependiendo de ello pueden ocurrir inundaciones, deslizamientos, movimientos en masa, saturación de suelos, las cuales son amenazas latentes para un tramo carretero y su consideración permite realizar un análisis más amplio y completo sobre los riesgos.

2.4. Fenómenos naturales

Se puede definir como un cambio en la naturaleza que no es provocado por la acción del ser humano, estos por ejemplo pueden ser los terremotos, erupciones volcánicas, huracanes, depresiones tropicales, sismos, entre otros. (Herrera, 2002)

Una lista de fenómenos naturales que pueden originar desastres es la siguiente, según Herrera (2002):

- Terremotos
- Sismos
- Erupciones volcánicas
- Huracanes
- Depresiones tropicales
- Deslizamientos
- Erosiones
- Inundaciones
- Sequías
- Lahares de material piroclástico

2.4.1. Terremotos

Sacudida violenta de la corteza y manto terrestres, ocasionada por fuerzas que actúan en el interior de la Tierra. Un terremoto se define como un sismo que causa daños perceptibles en la sociedad humana. (Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, 2019)

2.4.2. Sismos

Es un evento sísmico que no ocasiona daños materiales o económicos perceptibles ni pérdidas humanas. (Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, 2019)

2.4.3. Erupciones volcánicas

Una erupción volcánica se define como la expulsión de magma o rocas fundidas acompañadas de gases y fragmentos de rocas incandescentes de diferentes tamaños a través de un cráter volcánico. (Herrera, 2002)

Las erupciones volcánicas se clasifican en los siguientes tipos:

- Tipo hawaiano: predomina la efusión de fluidos y lavas móviles, el desprendimiento de los gases no tiene carácter explosivo.
- Tipo estromboliano: se emiten lavas fluidas como desprendimientos de gases y explosiones rítmicas o continuas, con formación de bombas y piroclastos.
- Tipo vulcaniano: en este tipo la lava es de forma viscosa y pastosa, rápidamente produce costras superficiales. Por lo general se presentan fumarolas en forma de hongo y de color oscuro.
- Tipo pliniano: este tipo se caracteriza por erupciones violentas y expulsión de gases que se elevan a kilómetros de altura.
- Tipo peleano: se presenta alta viscosidad y explosividad con formación de masas sólidas y nubes ardientes incandescentes. (Herrera, 2002)

2.4.4. Huracanes

Se define como un fenómeno meteorológico de la atmósfera baja, que puede describirse como un gigantesco remolino en forma de embudo. Puede alcanzar un diámetro de cerca de 1000 km y una altura de 10 km. Produce vientos con velocidades superiores a los 200 km/hora y con ráfagas de hasta 400 km/hora, trayendo consigo fuertes lluvias.

2.4.5. Depresiones tropicales

Una depresión tropical se refiere al nacimiento de un ciclón, el cual es una zona amplia de baja presión que se origina en el mar y se caracteriza por tener vientos fuertes constantes, pero que no tienen una intensidad mayor a los 64 kilómetros por hora. (Servicio Geológico Mexicano, 2020)

2.4.6. Deslizamientos

Un deslizamiento de tierra es el movimiento masivo de rocas, escombros, tierra o lodo por una pendiente. Si bien la mayoría de los deslizamientos de tierra son causados por la gravedad, también pueden ser causados por lluvias, terremotos, erupciones volcánicas, presión del agua subterránea, erosión, desestabilización de laderas como resultado de la deforestación, el cultivo y la construcción. Los flujos de escombros, o de lodo, son deslizamientos de tierra de movimiento rápido que son especialmente peligrosos, debido a su velocidad y volumen. Se ha registrado que algunos flujos de escombros alcanzan velocidades de más de 160 kilómetros por hora. (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja, 2022)

2.4.7. Erosiones

Es el desgaste que ejercen a lo largo del tiempo los distintos procesos físicos de la superficie terrestre sobre los suelos, las rocas y los materiales que pudieran ejercerles resistencia. Los principales agentes erosivos son el viento, el agua, el hielo y los cambios de temperatura. (Servicio Geológico Mexicano, 2020)

2.4.8. Inundaciones

Una inundación es la ocupación temporal por agua de áreas en que normalmente no hay. Se dan generalmente por el ascenso en el nivel del agua en ríos, lagos, regiones costeras u otras áreas donde el suelo tiene dificultades de absorción. Las inundaciones se pueden presentar en dos formas: en la mayoría de los casos, el ascenso del nivel del agua es lento. Ocasionalmente pueden presentarse inundaciones súbitas y/o repentinas. (CONRED, 2007)

2.4.9. Sequías

Las sequías son periodos prolongados de tiempo seco causado por la falta de lluvia, lo que produce escasez de agua. Los periodos de sequía pueden causar desabastecimiento de agua y problemas de salud pública. (CDC, 2021)

Las sequías pueden afectar áreas o comunidades de forma diferente dependiendo de muchas variables adicionales, entre las que se incluyen las siguientes:

- La estructura y la capacidad de los sistemas de agua existentes
- Las leyes locales sobre el uso del agua
- El uso urbano o rural de la tierra
- Desarrollo económico
- Poblaciones en riesgo que viven dentro del área afectada

2.5. Componentes de una carretera

Una carretera, también llamada ruta, es el término que se utiliza para hacer referencia a una vía de transporte para la circulación, principalmente, de vehículos. Toda carretera se compone de partes que son fundamentales para cumplir con su objetivo y servicio. Según Ferrovial (s.f.) hay varios tipos:

2.5.1. Sección típica

La sección típica o sección transversal de una carretera es la conformación de todos los elementos que delimitan la conformación de una carretera: carpeta de rodadura, hombro o protección, cunetas, taludes de corte o relleno y contracunetas. En los diseños y estudios realizados por la División

Técnica de Ingeniería de la Dirección General de Caminos se diseña la sección típica en tangente y sección típica en curva, esto derivado del bombeo y peralte de estas.

En Guatemala, con base en las características topográficas que delimitan la línea o trazo por donde pasará la carretera a construirse, se sugiere la utilización de las siguientes secciones típicas:

Figura 1. Características geométricas para diseño de carreteras

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS VALORES LÍMITES RECOMENDADOS PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA EN ESTADO FINAL												
TPD ⁽¹⁾ DE	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERIA		DERECHO DE VIA (m)	RADIO MÍNIMO (m)	PENDIENT E MÁXIMA (m)	DISTANCIA VISIBILIDAD PARADO		DISTANCIA VISIBILIDAD PASO	
				CORTE (m)	RELLENO (m)				MÍNIMA (m)	RECOMENDAD A (m)	MÍNIMA (m)	RECOMENDAD A (m)
3,000 a 5,000	TIPO A⁽²⁾		2 x 7.20	25	24	50						
	Regionales											
	Llanas	100					375	3	160	200	700	750
	Onduladas	80					225	5	110	150	520	550
	Montañosas	60					110	5	70	100	350	400
	TIPO B			7.20	13	12	25					
1,500 a 3,000	Regionales											
	Llanas	80					225	6	110	150	520	550
	Onduladas	60					110	7	70	100	350	400
	Montañosas	40					47	8	40	50	180	200
900 a 1,500	TIPO C		6.50	12	11	25						
	Regionales											
	Llanas	80					225	6	110	150	520	550
	Onduladas	60					110	7	70	100	350	400
500 a 900	Montañosas	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO D		6.00	11	10	25						
	Regionales											
	Llanas	80					225	6	110	150	520	550
100 a 900	Onduladas	60					110	7	70	100	350	400
	Montañosas	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO E		5.50	9.50	8.50	25						
	Regionales											
0 a 100	Llanas	50					75	8	55	70	260	300
	Onduladas	40					47	9	40	50	180	200
	Montañosas	30					30	10	30	35	110	150
	TIPO F		5.50	9.50	8.50	15						
Regionales												
Llanas	40					47	10	40	50	180	200	
Onduladas	30					30	12	30	35	110	150	
Montañosas	20					18	14	20	25	50	100	
ESTRUCTURAS⁽³⁾				NOTAS:								
CARGA		H-15-S-12	1.- T.P.D. = Promedio de Tráfico Diario									
ALTURA LIBRE		4.75 m	2.- La sección Típica para Carreteras Tipo "A", incluye isla central de 1.50 m. de ancho.									
ANCHO RODADURA		7.90 m	3.- Las características de las estructuras son generales para todos los tipos de carretera, con excepción de la Tipo "A", en donde el ancho es doble.									
ESFUERZOS UNITARIOS			4.- La calidad de la capa de recubrimiento de la calzada podrá ser para carreteras Tipo "A"; Hormigón, concreto asfáltico									
Concreto clase "A"		3,000 # / "	Para carreteras Tipo "A": Hormigón, concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial múltiple.									
Acero de refuerzo		18,000 # / "	Para Tipo "B" o "C": Concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial doble.									
Acero estructural		33,000 # / "	Para Tipo "D": Tratamiento superficial doble.									
Distancia de visibilidad de parada, (ver tabla)			Para Tipo "E": Tratamiento superficial simple.									
Longitud mínima de Curva vertical			Para Tipo "F": Recubrimiento de material selecto.									
Guatemala, Noviembre de 1965			Los recubrimientos para las carreteras, desde el Tipo "A" al "E", dependerán de las características mecánicas del suelo y de las propiedades de los materiales de construcción de la zona.									

Fuente: SIECA. (2014). *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras.*

2.5.2. Estructuras de drenaje menor

El exceso de agua provocado por lluvias o desbordamientos puede afectar negativamente a las propiedades geomecánicas, hidrostáticas y volumétricas del pavimento de la carretera. Las obras de drenaje tienen como objetivo controlar y redirigir este exceso de caudal para evitar daños estructurales que puedan ocasionar interrupciones de tráfico, daños en el entorno, entre otros. La principal función del sistema de drenaje de una carretera es evacuar el agua procedente de las precipitaciones para que la superficie de rodadura quede libre de encharcamientos y evitar así el peligroso *aquaplaning*. (CA&CCA, 2019)

Un buen sistema de drenaje no solo permite una conducción más segura, también evita problemas de sedimentación de los elementos procedentes de los terrenos en desmonte. Cuando estos elementos son arrastrados por el agua de la lluvia o por la acción de la gravedad pueden provocar un efecto de erosión que deteriora el pavimento prematuramente. (CA&CCA, 2019)

Las obras de drenaje incluyen la construcción de estructuras transversales, subdrenajes superficiales y subterráneos. El drenaje superficial puede ser longitudinal o transversal en función de su posición respecto al eje del camino. Para evitar que los escurrimientos lleguen a la carretera o permanezcan en ella suele optarse por realizar obras de drenaje longitudinales, siendo las más comunes cunetas, contracunetas, bordillos y drenajes transversales como las alcantarillas. (CA&CCA, 2019)

2.5.3. Estructuras de drenaje mayor

Son estructuras de mayor dimensión en un proyecto de carreteras y su función principal es evacuar el agua protegiendo la vida de la estructura vial y así

mismo no afectar la transitabilidad y locomoción del usuario. Dentro de las estructuras de drenaje mayor se encuentran las siguientes: puentes, bóvedas y demás.

2.5.4. Muros de contención

Se denomina muro de contención a un tipo de estructura de contención destinada a contener algún material, que en la mayoría de los casos es suelo. El propósito de una estructura de contención es resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida y transmitir esas fuerzas a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. (Rojas, 2009)

Una vez conocidas las características del suelo donde se emplazará el muro de contención, se debe proceder al diseño de este. Un diseño adecuado debe considerar los siguientes aspectos:

- Los componentes del muro deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte y momento internos generados por las presiones del suelo y demás cargas.
- El muro debe ser seguro contra un desplazamiento lateral.
- El muro debe ser seguro contra un posible volcamiento.
- Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del suelo.

Los muros de contención pueden ser por gravedad o voladizo y son utilizados en una carretera en la fase de construcción del ancho de terracería en áreas donde no es posible lograr dicho ancho y es necesario construir un muro

de contención, para no realizar cambios muy significativos en la geometría de la carretera.

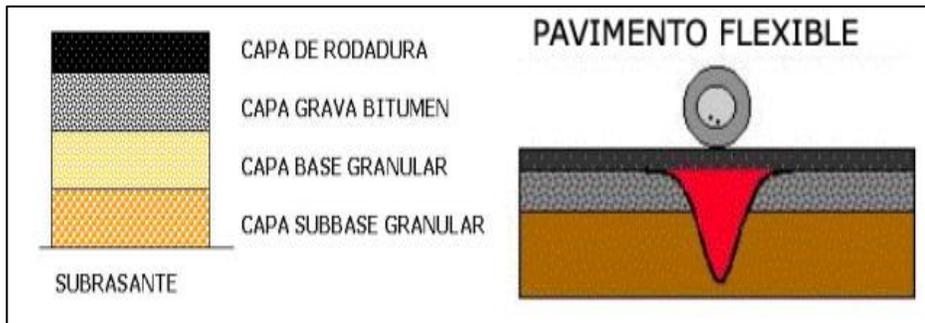
2.5.5. Estructura del pavimento

La estructura del pavimento es aquella que tiene como función absorber y transmitir las cargas de los vehículos (esales) hacia la subrasante de la carretera, de tal manera que la capacidad soporte de la subrasante pueda resistir la carga. Los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en que distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas por los vehículos a las capas inferiores, lo que constituirá un criterio de clasificación más acertado. (Saucedo, 2010)

En Guatemala se trabaja con tres tipos de pavimentos: flexible, rígido y semirrígido.

Un pavimento flexible es una carpeta asfáltica, la cual proporciona la superficie de rodamiento. Las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y de cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible se pueden observar en la figura 2:

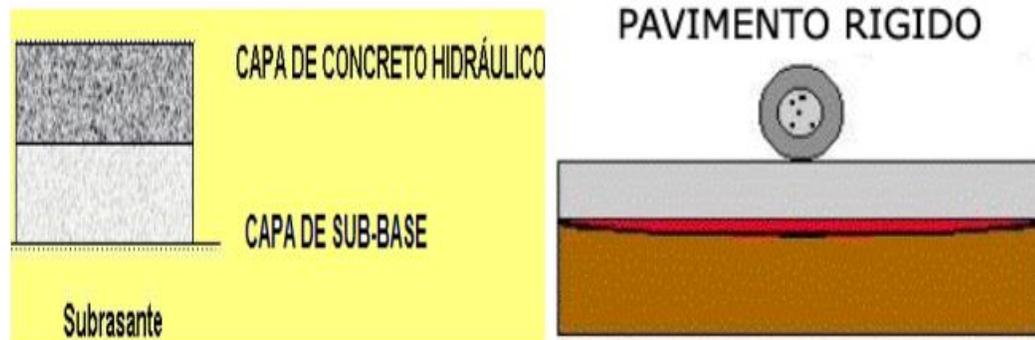
Figura 2. **Estructura de pavimento flexible**



Fuente: Saucedo. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de México*. Consultado el 24 de marzo de 2022. Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Un pavimento rígido es aquel cuyo elemento fundamental es una losa de concreto hidráulico en la que se distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla de la losa (Saucedo, 2010). En la figura 3 se observa la composición de la estructura de pavimento rígido:

Figura 3. Estructura de pavimento rígido



Fuente: Saucedo. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de México*. Consultado el 24 de marzo de 2022. Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

2.5.6. Señalización vertical y horizontal

En los siguientes incisos se describe qué es la señalización vertical y horizontal.

2.5.6.1. Señalización vertical

Las señales verticales son dispositivos de tránsito que deben ser instalados a nivel del camino o sobre él, están destinadas a transmitir mensajes tanto a los conductores como a peatones, por medio de palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente. Sirven también para advertir sobre la existencia de algún tipo de peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.

Las señales también suministran información sobre rutas, direcciones, destinos, puntos de interés y otras informaciones que se consideren necesarias.

Algunas veces resulta difícil determinar si se debe instalar una señal o no, así como la elección de la señal apropiada. En tales casos, la instalación y selección de dicha señal dependerá exclusivamente del juicio, criterio y experiencia del ingeniero responsable. También deben ubicarse y usarse solamente donde se necesiten, según un análisis de necesidades y estudios de campo (Ara, 2014). Para una buena señalización en una carretera se deben utilizar señales preventivas, restrictivas e informativas.

2.5.6.2. Señalización horizontal

La demarcación está constituida por las líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. Las marcas en el pavimento desempeñan funciones definidas e importantes en un adecuado esquema de control de tránsito.

En algunos casos, se usan como complemento de las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como señales verticales y semáforos. En otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas claramente comprensibles. (SIECA, 2014)

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

La investigación realizada se basó en el enfoque cuantitativo, al realizar un análisis de riesgo de los fenómenos naturales y sociales a los cuales se encuentra sometido el proyecto del tema de investigación, donde se buscó cuantificar los riesgos, los cuales pueden ser ocasionados por la zona geográfica y la topografía del área.

3.2. Diseño y alcance de la investigación

Con un alcance correlacional y descriptivo, se determinó como correlacional porque analizó la relación entre dos o más variables del problema planteado y descriptivo, y porque describe la situación geográfica y estructural en relación al problema de investigación, basándose en un diseño no experimental, ya que no se buscó manipular ninguna variable para verificar su efecto, si no que se tomó como base la observación y medición de diferentes variables.

3.3. Método de investigación

El método científico es el fundamento de la presente investigación relacionada con el análisis de los riesgos dentro de la gestión del proyecto *Mejoramiento carretera Tajumulco - Aldea Tocache (San Marcos)*, considerándose como herramienta de evaluación y análisis para la toma de decisiones de futuros proyectos de carreteras. La investigación se realizó sobre un enfoque cuantitativo y alcance correlacional y descriptivo, a través del estudio

de la relación que tienen las variables estructurales, fenómenos naturales, zonas geográficas y sociales donde se aplicó el método científico en sus tres fases:

- Indagatoria: se empleó a través de los procesos de recolección de información por medio de recorridos a la zona geográfica y una observación minuciosa de los riesgos a los cuales se encuentra expuesto el proyecto.
- Demostrativa: se utilizó para demostrar la relación de las variables geográficas y sociales, para determinar los riesgos que conllevan y, con base en eso, se realiza el análisis de riesgos, con el objetivo de reducir impactos negativos en los proyectos viales de carreteras.
- Expositiva: finalmente, se realizó la matriz de la guía para el análisis y gestión de riesgo en proyectos de inversión pública de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplan), a través de la presente investigación, completando de esta forma las fases del método científico.

3.4. Instrumentos de investigación

Dentro del proceso de investigación de campo se implementó la observación directa y el análisis de información de los estudios geológico, hidrológico e hidráulico del proyecto de *Mejoramiento carretera Tajumulco - Aldea Tocache (San Pablo) San Marcos*. La técnica de recolección de datos a utilizar es a través de boletas de campo de Segeplan en AGRIP. A continuación se presenta el modelo de la boleta:

Figura 4. Boleta de campo de AGRIP

DIAGRAMA DEL PROCESO DEL ANÁLISIS DE RIESGO EN LA INFRAESTRUCTURA PÚBLICA –AGRIP.

SEGEPLAN AGRIP BOLETA DE EVALUACIÓN DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL SITIO

DATOS GENERALES

REGIÓN: _____ DEPARTAMENTO: _____

MUNICIPIO: _____

NOMBRE LUGAR POBLADO: _____

TIPO DE PROYECTO: _____

COORDENADAS:

LATITUD: _____ LONGITUD: _____

CROQUIS

INDICAR EN EL CROQUIS:

AGUA POTABLE: SI / NO ENERGÍA ELÉCTRICA: SI / NO CUERPOS DE AGUA: SI / NO

ALCANTARILLADO: SI / NO ACCESOS: SI / NO GRIetas: SI / NO

SEGUIR LOS SIGUIENTES PASOS:

- 1 Llenar el apartado de **DATOS GENERALES**, el cual comprende la localización del sitio. No olvidar anotar las coordenadas que son tomadas en el sitio previsto para el proyecto.
- 2 Dibujar un **CROQUIS** del sitio, en donde se deberán incluir los aspectos relevantes en los alrededores, ejemplos: barrancos, taludes, cuerpos de agua, volcanes, etc.

Fuente: SEGEPLAN. (2022). *Guía para el análisis y gestión del riesgo*.

Figura 5. **Boleta de amenazas de AGRIP**

BOLETA DE LAS AMENAZAS (ejemplo)

SEGEPLAN AGRIP AMENAZA VOLCÁNICA

¿ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:
 SI NO

- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE.
 - SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO:		SI	NO
TIPO DE EVENTO:	ARENA VOLCÁNICA		
	FLUJO DE LAVA	DISTANCIA EN METROS:	
	FLUJOS PIROCLÁSTICOS	DISTANCIA EN METROS:	
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO AL EDIFICIO VOLCÁNICO		KILÓMETROS:	
EL SITIO ANALIZADO SE ENCUENTRA EN O CERCA DE QUEBRADAS QUE SURGEN DEL EDIFICIO VOLCÁNICO		DISTANCIA EN METROS:	
CUANDO HA SUCEDIDO UN EVENTO VOLCÁNICO, CUÁL HA SIDO EL DAÑO		MEDIO:	
		ALTO:	
		MUY ALTO:	

1 Como primer paso, verificar con fuentes secundarias y el grupo focal, si la amenaza está presente o se ha manifestado en el sitio.

- De ser afirmativo, se continúa con el llenado de la ficha.
- De ser negativo, se pasa a la descripción de otra amenaza.

2 Con la información proporcionada por el grupo focal, se procede a anotar las características solicitadas para esta amenaza.

Fuente: SEGEPLAN. (2022). *Guía para el análisis y gestión del riesgo*.

3.5. Operacionalización y análisis de las variables

Dentro de las variables que se presentan en la tabla I, se encuentran factores que intervienen tanto como causa o como resultado dentro del proceso, o formando parte esencial de la estructura de la investigación.

Tabla I. **Operacionalización de variables**

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
Identificar las posibles amenazas a las que se encuentra expuesto el tramo carretero entre la cabecera municipal de Tajumulco y la aldea Tocache, del municipio de San Pablo, departamento de San Marcos, que puedan causar un desastre natural.	Amenazas: volcánica, sismicidad, movimientos en masa, huracanes, depresiones tropicales y precipitaciones.	Boletas de amenazas de AGRIP.
Determinar medidas de mitigación con base en las amenazas que se hayan identificado en el tramo carretero Tajumulco – Tocache (San Pablo) San Marcos.	Medidas de mitigación.	Observación del tramo carretero con visitas de campo al proyecto.
Determinar los beneficios al realizar un análisis de gestión de riesgo para el tramo carretero en estudio.	Beneficios.	Aplicando normas de mitigación ante las amenazas que son inevitables por su zona geográfica.

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD

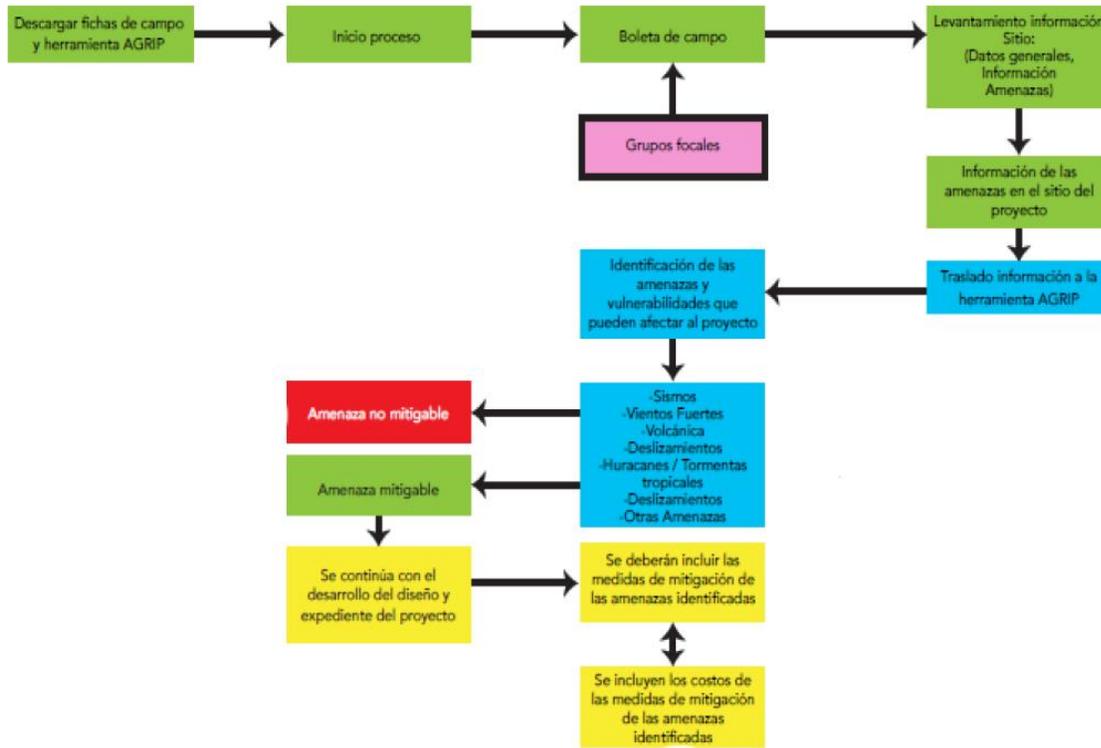
4.1. Análisis y gestión de riesgo en el proyecto

Se realiza un análisis a través de inspección visual del proyecto carretero, estudio hidrológico y estudio geotécnico, para así determinar los riesgos a los cuales se encuentra sometido y tomar acciones que mitiguen la vulnerabilidad y el impacto que los mismos generan.

Se determina según análisis que la carretera que comunica al municipio de Tajumulco con la aldea Tocache del municipio de San Pablo del departamento de San Marcos, se encuentra en un área en la cual está expuesta a varios factores de amenaza que pueden afectarla. Para determinar las amenazas se hizo uso del diagrama del proceso de análisis de riesgo de la *Guía para el Análisis y Gestión de Riesgo en Proyectos de Inversión Pública (AGRIP)* de SEGEPLAN.

El diagrama permitió seguir un proceso para determinar las amenazas, las cuales pudieron ser determinadas a través de grupos focales o levantamiento de información en el sitio. Para recabar la información se hizo uso de boletas de campo, para luego trasladar la información de la herramienta AGRIP para determinar si la amenaza es mitigable o no dentro del proyecto. En la figura No. 5 se presenta el diagrama del proceso para realizar un análisis de riesgo con base en las amenazas detectadas y la vulnerabilidad del proyecto.

Figura 6. Diagrama del proceso de análisis de riesgo (AGRIP)



Fuente: SEGEPLAN. (2022). *Guía para el análisis y gestión del riesgo*.

Con base en el diagrama se ha determinado que, previo a la ejecución de un proyecto de inversión pública en Guatemala, es necesario realizar un análisis de gestión de riesgo, este análisis permite determinar la vulnerabilidad del proyecto y si las amenazas son mitigables para lograr el desarrollo del diseño previo a la ejecución. Las medidas de mitigación generan costos dentro del proyecto, las cuales deben ser consideradas para la asignación presupuestaria.

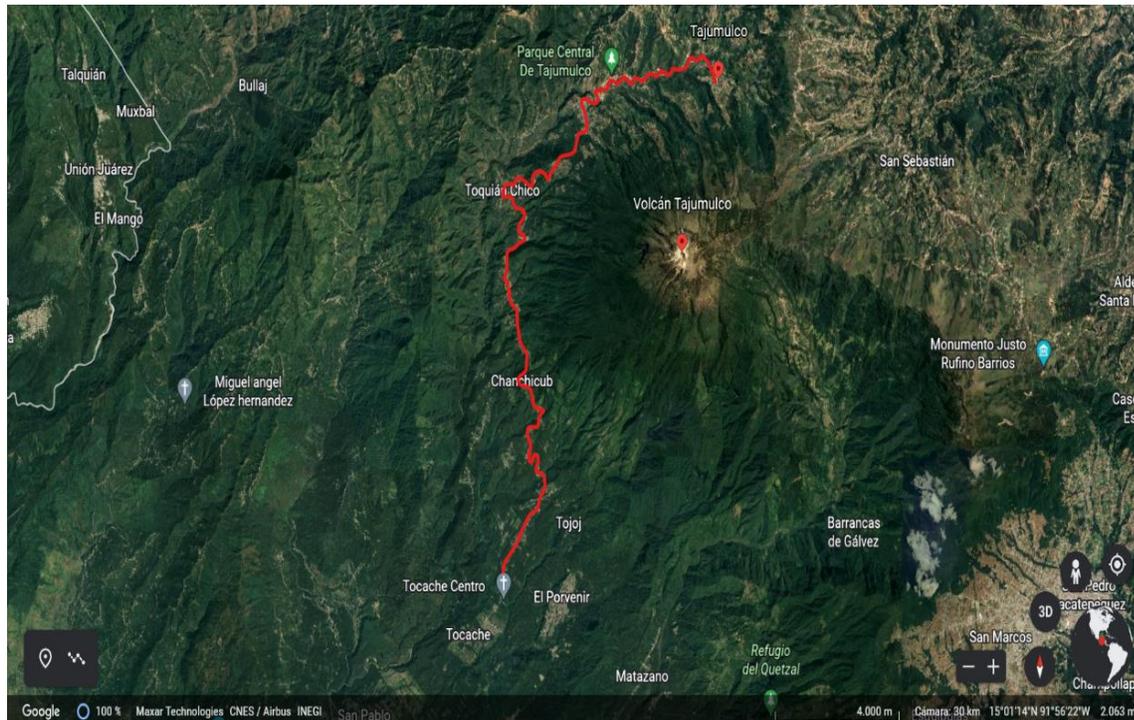
Con base en el diagrama del proceso se procede a levantar la información del sitio para llevar a cabo el análisis de riesgo, previo a identificar las amenazas se hizo un estudio de la zona geográfica.

4.1.1. Zona geográfica

El departamento de San Marcos se encuentra situado en la región suroccidente del país. Se caracteriza por tener una variedad de climas derivada de su topografía, en el altiplano (municipio de Tajumulco) el clima es templado derivado de las montañas, volcanes y altura de la zona, y en la costa sur (municipio de San Pablo) el clima es cálido derivado de las planicies de la zona.

El proyecto se construyó en una zona montañosa, lo cual provoca nubosidad y altas precipitaciones que disminuyen la visibilidad al momento de transitar. El tramo carretero se sitúa a un lado del volcán Tajumulco, el volcán más alto de Guatemala, con una altura de 4,203 metros sobre la altura del nivel del mar, esto genera amenazas de exposición a material piroclástico y ceniza volcánica que pueden interrumpir la transitabilidad y la vida útil del proyecto. En la figura No. 6 se presenta la zona geográfica donde se puede observar el tramo carretero y a un lado el volcán Tajumulco.

Figura 7. **Zona Geográfica Tajumulco – Aldea Tocache**



Fuente: elaboración propia, empleando: Google Earth. (2022). *Tajumulco-Aldea Tocache*.
<https://www.google.com/intl/es-419/earth/>.

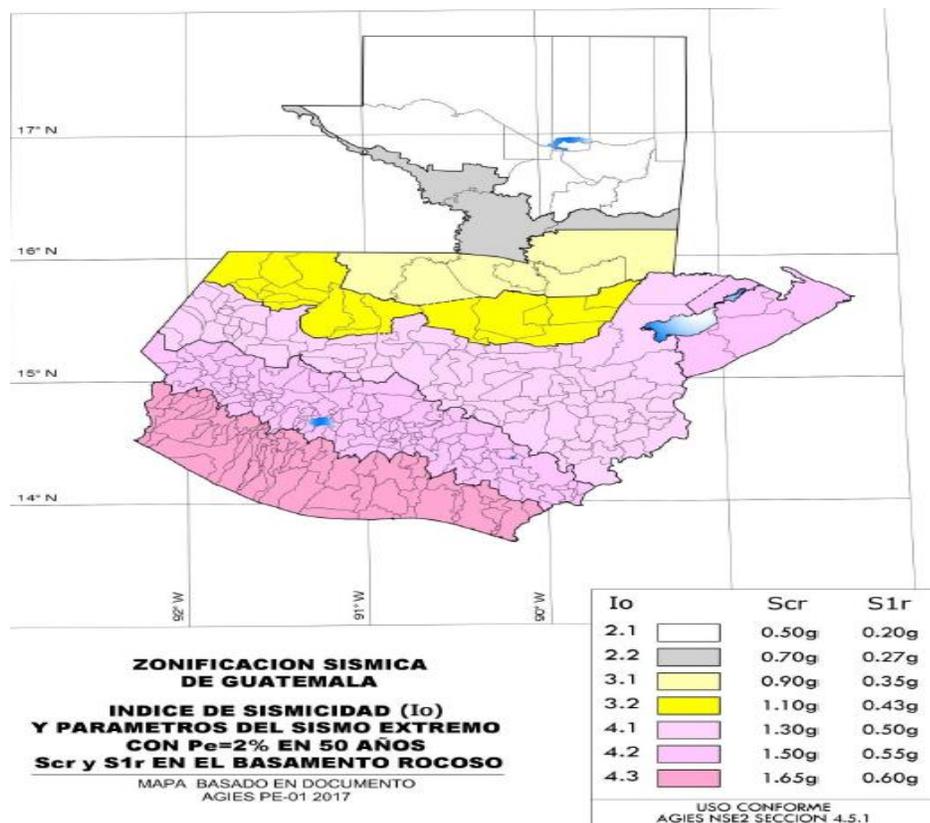
El proceso del análisis de gestión de riesgo ha permitido identificar las amenazas como fuente de información para determinar la vulnerabilidad del proyecto. Dentro de las amenazas identificadas están las siguientes:

4.1.2. Sismos y terremotos

Guatemala es un país altamente sísmico, como consecuencia de las 3 placas tectónicas sobre las cuales se encuentra su superficie territorial.

El país se ha dividido en macrozonas con base en la actividad sísmica ocurrida, índice de sismicidad y topografía del terreno, en la figura 8 se presenta la zonificación realizada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).

Figura 8. **Mapa de zonificación sísmica de Guatemala**



Fuente: AGIES. (2018). *NSE 2. Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección.*

El departamento de San Marcos, y específicamente los municipios de Tajumulco y San Pablo que son objeto de estudio, cuentan con una amenaza sísmica alta, lo cual pone en riesgo el proyecto carretero y la transitabilidad del

usuario. El índice de sismicidad se mide con valores en un rango de 2.1, siendo este índice el más bajo hasta 4.3, siendo este el índice más alto y con significado de amenaza alto para la región. Los municipios en los cuales se encuentra el proyecto carretero que es objeto de estudio cuentan con un índice de sismicidad de 4.2, el cual es alto, y esto pone en riesgo la permanencia de la estructura del pavimento y su vida útil de servicio.

A continuación, en la tabla II, se presenta el índice de sismicidad de cada municipio con base en la zonificación creada por la AGIES.

Tabla II. **Amenaza sísmica**

Municipio	Departamento	Amenaza Sísmica		
		Io	Scr	S1r
San Pablo	San Marcos	4.2	1.50 g	0.55 g
Tajumulco	San Marcos	4.2	1.50 g	0.55 g

Fuente: AGIES. (2018). *NSE 2. Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección.*

Los valores de Scr son la ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés, y sus valores se encuentran entre los parámetros 0.50 y 1.65, siendo para los municipios en estudio el valor de 1.50 g el que representa un valor alto de amenaza y vulnerabilidad.

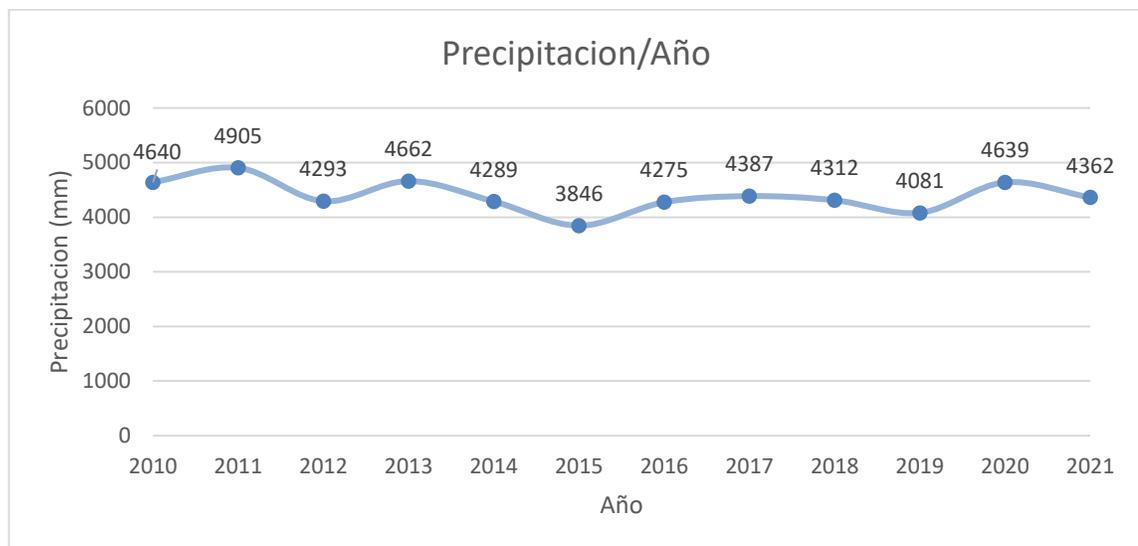
Los valores de S1r son la ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés, y sus valores se encuentran entre los parámetros 0.20 y 0.60, siendo para los

municipios en estudio el valor de 0.55 g el que representa un valor alto de amenaza y vulnerabilidad.

4.1.3. Precipitaciones

Con base en información obtenida del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, a través de la estación meteorológica Catarina, ubicada en el municipio de Catarina del departamento de San Marcos, en el periodo entre los años 2010 y 2021, ha habido una precipitación promedio de 4391 mm por año (ver apéndice 1), comparado con la ciudad de Guatemala en la cual la precipitación promedio es de 662 mm. Esto representa un 663 % de precipitación mayor en la costa sur del departamento de San Marcos con respecto a la capital de Guatemala. En la figura No. 8 se puede observar el comportamiento de la precipitación anual en la costa sur de San Marcos.

Figura 9. Precipitación promedio en la costa sur de San Marcos



Fuente: elaboración propia, con base en información de INSIVUMEH.

4.1.4. Derrumbes y deslizamientos

Por las altas precipitaciones y la zona montañosa en la cual se encuentra el proyecto *Mejoramiento Carretera Tajumulco – Aldea Tocache*, es altamente vulnerable a derrumbes y deslizamientos, la saturación de los suelos es una constante amenaza a movimientos en masa y desprendimientos de grandes cantidades de rocas, tierra o detritos, los cuales, derivado de la pendiente de la zona, tienden a desplazarse a gran velocidad, esta amenaza afecta directamente la transitabilidad del proyecto carretero y la locomoción del usuario.

La vulnerabilidad que esta amenaza representa para el proyecto se hizo presente en el mes de julio del año 2021. Hubo un desprendimiento de material provocado por altas precipitaciones, pendientes mayores a 45 grados de inclinación con respecto a la horizontal de la montaña comprendida entre el talud de la carretera y las faldas del volcán Tajumulco. Esto generó cárcavas o canales de conducción de aguas superficiales, las cuales se clasificaron como estacionarias, propias por la temporada lluviosa. En la figura No. 9 se observa el deslizamiento, y también más fotografías de este en apéndice 2.

Figura 10. **Deslizamiento de tierra, carretera Tajumulco-Tocache**



Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Lahares y material piroclástico

El proyecto que es objeto de estudio se encuentra a un costado del volcán Tajumulco, el cual tiene una altitud 4222 metros sobre el nivel del mar. La última actividad volcánica de la cual se tiene información por parte del INSIVUMEH fue en el año 1863. En la actualidad se considera extinto y sin ninguna amenaza de actividad volcánica que pueda dañar la transitabilidad e integridad del proyecto. Sin embargo, derivado de la ubicación del tramo carretero y la estratigrafía de la región, se pueden encontrar diferentes materiales piroclásticos y geológicos que van desde volcánicos hasta metamórficos.

La cadena volcánica está compuesta por coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos, estos son una amenaza para el tramo carretero, ya que los mismos provocan asolvamiento en alcantarillas, bóvedas y cunetas. En la época lluviosa, que ocurre entre los meses de mayo a octubre, se presentan precipitaciones de alta intensidad y larga duración para las cuales es necesario

un sistema de drenaje mayor y menor y así lograr una evacuación de la escorrentía superficial.

La vulnerabilidad a la amenaza de azolvamiento del sistema de drenajes en el tramo carretero es latente en la época lluviosa y esto provoca que la escorrentía superficial fluya sobre la sección típica de la carretera, dañando la carpeta de rodadura de concreto hidráulico y afectando la locomoción de los usuarios. Así mismo se pudo observar que el flujo que desciende de las faldas del volcán Tajumulco, además de agua, presenta sedimentos, rocas, material vegetal y restos de material piroclástico, esto genera que se sobrepase la capacidad de diseño del área hidráulica de las alcantarillas y bóvedas en el tramo carretero.

En la figura 11 se puede observar una roca de material volcánico, la cual descendió a través de las faldas del volcán Tajumulco hasta el sistema de drenaje menor del tramo carretero. En la figura No. 11 se observa cómo una caja del sistema de drenaje menor se encuentra azolvada por material acarreado por las precipitaciones, esto disminuye el área hidráulica de la caja y obstaculiza la evacuación de la escorrentía superficial.

Figura 11. **Roca de material volcánico en la caja de drenaje menor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Caja de drenaje menor azolvada**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis por exposición del sitio

A través de un análisis realizado con visitas de campo al sitio en el cual se encuentra construido el proyecto, y tomando como base la boleta de evaluación

de campo para el análisis dimensional del sitio, se procede a identificar las amenazas que ponen en riesgo la transitabilidad, al usuario y el periodo de diseño. Se hizo uso de GPS para determinar las coordenadas geográficas, recorridos peatonales y vehiculares para la observación visual y así determinar el impacto de vulnerabilidad y su cercanía que pudiera influir en el análisis de riesgo.

En la figura 13 se puede observar la boleta de campo que se ha utilizado para la identificación de amenazas y recopilación de información, la cual fue descargada desde el sitio web de Segeplan. La boleta de campo llena en su totalidad hecha por el observador se encuentra en el apéndice 3.

Figura 13. **Boleta de evaluación de campo**

BOLETA DE EVALUACIÓN DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL SITIO

AGRIP

DATOS GENERALES:

REGIÓN VI DEPARTAMENTO SAN MARCOS

MUNICIPIO TAJUMULCO

NOMBRE LUGAR POBLADO TAJUMULCO

TIPO DE PROYECTO MEJORAMIENTO DE CARRETERA

COORDENADAS

LATITUD 15° 05' 30"

LONGITUD 91° 55' 49"

CROQUIS

INDICAR EN EL CROQUIS

AGUA POTABLE: SI NO ENERGÍA ELÉCTRICA: SI NO CUERPOS DE AGUA: SI NO

ALCANTARILLADO: SI NO ACCESOS: SI NO GRIETAS: SI NO

www.segeplan.gob.gt

Fuente: elaboración propia, empleando: AGRIP (2022). *Guía para el análisis y gestión de riesgo.*

4.3. Matriz de amenazas en análisis de gestión de riesgo

Con la identificación de las amenazas se procede a crear la matriz de análisis de gestión de riesgo, para crear esta se utiliza la herramienta AGRIP de la Segeplan. Esta herramienta contribuye de forma directa en los procesos para la formulación de los proyectos de inversión con capital fijo, busca que al momento de la ejecución de los proyectos no se produzcan más riesgos y reducir los existentes identificando las amenazas en el entorno.

La herramienta AGRIP surge derivada de la necesidad de crear un análisis de riesgo en los proyectos de inversión pública, la creó la Dirección de Inversión para el Desarrollo de Segeplan, con apoyo del Programa Conjunto del PNUD, incorporando información actualizada de los índices de sismicidad y velocidades de viento de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).

La herramienta permite estimar el nivel de riesgo al que podría estar expuesto el proyecto, por medio de la identificación de las amenazas que están presentes en la zona donde se realizará o ya ha sido ejecutado. Estas amenazas pueden ser de tipo geológico (sismos, derrumbes, deslizamientos, volcánicas, entre otras) o hidrometeorológicas (inundaciones, huracanes, tormentas tropicales, vientos fuertes). De acuerdo con la frecuencia e intensidad de su ocurrencia incide de forma directa en la vida útil del proyecto para el cual fue diseñada la herramienta.

El proyecto *Mejoramiento carretera Tajumulco – Aldea Tocache (San Pablo) San Marcos* es la unión entre el municipio de Tajumulco y San Pablo, al mismo tiempo es la unión entre el altiplano y la costa sur del departamento de San Marcos. Derivado de la situación anteriormente descrita, se realizó la matriz

de análisis y gestión de riesgo para el municipio de Tajumulco, el cual representa el altiplano, y para el municipio de San Pablo, específicamente en la Aldea Tocache, el cual representa la costa sur.

4.3.1. Análisis y gestión de riesgo del municipio de Tajumulco

El resultado obtenido a través de la herramienta AGRIP en el análisis y gestión de riesgo para el tramo carretero en el municipio de Tajumulco es el siguiente: exposición muy alta en algunas de las amenazas identificadas, se recomienda buscar un nuevo sitio o indicar medidas de mitigación/protección y costo estimado de las mismas.

A continuación, se presentan los resultados por segmento de amenazas identificadas. La matriz completa con la ficha técnica de información del evaluador, coordenadas y fecha de creación se encuentran en el apéndice 4.

En la figura 14 se presentan los resultados obtenidos a través de la herramienta AGRIP. Se puede observar la amenaza, el nivel de la relación entre intensidad y frecuencia, los efectos probables a la exposición del sitio del proyecto y las recomendaciones de la herramienta.

Figura 14. Resultados del análisis y gestión de riesgo del municipio de Tajumulco



RESULTADOS DEL ANÁLISIS				
NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO		Mejoramiento Carretera Tajumulco - Aldea Tocache		
AMENAZAS		NIVEL DE LA RELACIÓN INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS AMENAZAS EN EL SITIO DEL PROYECTO (EXPOSICIÓN)	EFFECTOS PROBABLES A LA EXPOSICIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO Y SEGÚN AMENAZA EVALUADA	RECOMENDACIONES
GEOLÓGICAS	Sismicidad (Terremoto)	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Muy fuerte a destructivo EMM (VII-IX). > Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. > Grandes daños en importantes edificios, con colapsos parciales. > Edificios desplazados fuera de las bases. 	<p>A NIVEL NACIONAL SE RECOMIENDA CONSULTAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> > NORMATIVA NSE-2-2018 (modificada 2020) de AGIES, con el objetivo de calcular y según el índice de sismicidad del sitio, el diseño de acuerdo a la ordenada espectral de período corto y la ordenada espectral con período de 1 segundo. > NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020) de AGIES relacionada a los estudios geotécnicos. > NORMATIVA NSE-1, 2018 (modificada 2020) de AGIES, relacionada a generalidades, administración de las normas y supervisión técnica. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES relacionadas al diseño de los proyectos.
	Volcánicas	MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Existe una alta probabilidad de destrucción total y repentina de la infraestructura (viviendas y edificios), así como áreas de cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> > Se recomienda la búsqueda de un nuevo sitio para la construcción del proyecto, dada la posibilidad de alta peligrosidad para la infraestructura y sus usuarios.
	Deslizamientos / Derrumbes	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Por las condicionantes del terreno y el grado de pendiente, la probabilidad de que ocurran deslizamientos es alta, por lo que pueden ocasionar daños a la infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> > El proyecto debe considerar medidas de mitigación de acuerdo a las características del terreno y obra. > En todos los casos se recomienda la utilización de la NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES, específicamente consultar: capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo); capítulo 5 (cimentación); capítulo 7 (estabilidad de laderas y taludes). > En todos los casos se recomienda la utilización de la normativa NSE-2-2018 de AGIES, capítulo 10 (condiciones de terreno)

Continuación de la figura 14.

HIDROMETEOROLÓGICAS	Vientos fuertes	BAJA	> Probabilidad de daños leves.	> Se recomienda observar las recomendaciones de la normativa NSE-2-18 de AGIES, relacionadas a la amenaza; especificadas en el capítulo 5 (acciones del viento).
	Huracanes	MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Destrucción de tejados de viviendas y edificios. > Las inundaciones dañan las plantas bajas de las estructuras. > Evacuación masiva de áreas residenciales. > Árboles arrancados de raíz y/o quebrados. > Algunas casas frágiles pueden ser arrancadas desde sus cimientos. > Daños severos o totales a los cultivos anuales y permanentes. > Cortes y apagones de electricidad pueden durar varios días. > Inundaciones catastróficas en profundidad y duración, donde está sumergido el primer piso de las edificaciones y hay peligro de pérdida de vidas humanas. 	<ul style="list-style-type: none"> > Observar las recomendaciones de la norma NSE-2-2019 (modificada 2020) de AGIES, capítulo No. 5, relacionadas al viento y capítulo No. 10, relacionado a condiciones de terreno, el subcapítulo 10.2.5 que se refiere a zonas inundables y erosionables. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES, relacionadas al diseño de los proyectos.
	Inundaciones	ALTA	> Pérdidas considerables	<ul style="list-style-type: none"> > El proyecto deberá llevar medidas de mitigación por ser zona inundable que puede causar daños considerables, se sugiere la búsqueda de un nuevo sitio. > En todos los casos se recomienda el uso de la normativa NSE-2-2019 (diseño estructural de edificaciones); especificado en el capítulo 10 (condiciones del terreno). > Se recomienda utilizar la NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES (estudios geotécnicos), especialmente el capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo).

Fuente: elaboración propia, empleando la herramienta AGRIP de SEGEPLAN.

Con base en los resultados de la matriz de análisis y gestión de riesgo, la cual se realizó con la información de la exposición del sitio, las amenazas son muy altas y altas, siendo las muy altas las amenazas volcánicas y las de huracanes. Las volcánicas se deben a la zona geográfica por el volcán Tajumulco, actualmente inactivo, aun así el desprendimiento de material volcánico crea vulnerabilidad para el proyecto carretero, afectando su periodo de diseño y transitabilidad. La recomendación que brinda la matriz AGRIP con base en las normas NSE de AGIES es buscar un nuevo sitio para la construcción del proyecto.

El proyecto que es objeto de estudio ya ha sido construido, esta recomendación no ha sido tomada en cuenta debido a las necesidades de transitabilidad, el comercio y el desarrollo de estas comunidades y, por lo indicado anteriormente, por la no actividad del volcán Tajumulco.

La amenaza de huracanes es muy alta, lo cual representa una destrucción en los techos de viviendas y edificaciones, inundaciones catastróficas que podrían afectar la locomoción en el proyecto carretero, el incremento de la escorrentía superficial puede superar la capacidad de diseño hidráulico del drenaje mayor y menor, crear un desbordamiento hacia la carpeta de rodadura y generar daños en esta.

Se recomienda, con base en los resultados que brinda la matriz AGRIP y con base en la Norma NSE2-2018, que la obra de infraestructura sea capaz de resistir los efectos de flotación y desplazamiento lateral causados por los efectos hidrostáticos, así mismo que toda la información recopilada se unifique en un estudio hidráulico.

La amenaza de sismicidad (terremoto) para el municipio de Tajumulco es alta con base en las Normas NSE de AGIES modificadas en el año 2020. Al momento de presentarse un sismo estaría en un rango de fuerte a destructivo, provocando daños en las edificaciones y por consiguiente dañando severamente el tramo carretero que es objeto de estudio. Esto se debe a que el municipio de Tajumulco en San Marcos tiene un índice de sismicidad de 4.2, siendo 4.3 el valor más alto para Guatemala. La recomendación de la matriz de AGRIP es construir la obra de infraestructura basándose en las Normas NSE2 de AGIES.

La amenaza de deslizamientos/derrumbes es alta, el proyecto se encuentra en una región montañosa, por consiguiente, las pendientes son altas y esto provoca un riesgo latente de derrumbes que pueden dañar la infraestructura y bloquear por completo la transitabilidad del usuario.

La amenaza sísmica es un factor importante para los derrumbes y deslizamientos, al momento de ocurrir un sismo existen vibraciones en la corteza

terrestre, provocando movimientos en masa que se convierten en derrumbes. En el apéndice 5 se puede visualizar el mapa de inundaciones y deslizamientos para los municipios de San Pablo y Tajumulco por parte de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), en el cual se considera como alta la amenaza por deslizamientos en toda la extensión del municipio de Tajumulco. La recomendación de la matriz de AGRIP menciona que actualmente se encuentran en el proyecto bermas, contracunetas para evitar la saturación de los suelos y estudios geotécnicos de las áreas vulnerables.

La amenaza de vientos fuertes es baja, puede ser imperceptible para el tramo carretero, ya que las amenazas de viento afectan principalmente a edificaciones con altura considerable. Se toma en cuenta esta amenaza ya que los vientos fuertes pueden ocasionar daño en árboles, postes de cableado eléctrico y edificaciones que a su vez pueden bloquear la transitabilidad del usuario.

4.3.2. Análisis y gestión de riesgo del municipio de San Pablo (Aldea Tocache)

El resultado obtenido a través de la herramienta AGRIP en el análisis y gestión de riesgo para el tramo carretero en el municipio de San Pablo (aldea Tocache) es el siguiente: exposición alta en algunas de las amenazas identificadas. Se recomienda buscar un nuevo sitio o indicar medidas de mitigación/protección y costo estimado de las mismas.

A continuación se presentan los resultados por segmento de amenazas identificadas. La matriz completa con la ficha técnica de información del evaluador, coordenadas y fecha de creación, se encuentran en el apéndice 5.

En la figura 15 se presentan los resultados obtenidos a través de la herramienta AGRIP. Se puede observar la amenaza, el nivel de la relación entre intensidad y frecuencia de esta, los efectos probables a la exposición del sitio del proyecto y las recomendaciones de la herramienta.

Figura 15. **Resultados del análisis y gestión de riesgo del municipio de San Pablo (aldea Tocache)**




RESULTADOS DEL ANÁLISIS				
NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO		Mejoramiento Carretera Tajumulco - Aldea Tocache		
AMENAZAS	NIVEL DE LA RELACIÓN INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS AMENAZAS EN EL SITIO DEL PROYECTO (EXPOSICIÓN)	EFECTOS PROBABLES A LA EXPOSICIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO Y SEGÚN AMENAZA EVALUADA	RECOMENDACIONES	
GEOLOGICAS	Sismicidad (Terremoto)	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Muy fuerte a destructivo EMM (VII-IX). > Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. > Grandes daños en importantes edificios, con colapsos parciales. > Edificios desplazados fuera de las bases. 	<p>A NIVEL NACIONAL SE RECOMIENDA CONSULTAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> > NORMATIVA NSE-2-2018 (modificada 2020) de AGIES, con el objetivo de calcular y según el índice de sismicidad del sitio, el diseño de acuerdo a la ordenada espectral de período corto y la ordenada espectral con período de 1 segundo. > NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES relacionada a los estudios geotécnicos. > NORMATIVA NSE-1, 2018 (modificada 2020) de AGIES, relacionada a generalidades, administración de las normas y supervisión técnica. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES relacionadas al diseño de los proyectos.
	Volcánicas	MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> > Probabilidad de daños en la infraestructura proyectada se puede considerar leve, sin embargo, tomar en cuenta la caída de tefra (arena), que puede ocasionar daños a la infraestructura de techos y proyectos de cielo abierto (plantas de tratamiento, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> > En construcciones que están sujetas a amenazas volcánicas se deberán observar las normas AGIES NS-2-2018, que se refieren al diseño. Considerar lo relacionado a los aspectos volcánicos. > Observar la NORMA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES respecto a los estudios geotécnicos. > Se recomienda sensibilizar a la población, de la existencia de amenaza volcánicas moderadas para que apliquen las medidas preventivas y correctivas para la preservación de la infraestructura.
	Deslizamientos / Derrumbes	BAJA	<ul style="list-style-type: none"> > Se considera que no habrán daños significativos por esta amenaza y/o son de baja intensidad. 	<ul style="list-style-type: none"> > En todos los casos se recomienda la utilización de la NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES específicamente consultar: capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo); capítulo 5 (cimentación); capítulo 7 (estabilidad de laderas y taludes). > En todos los casos se recomienda la utilización de la normativa NSE-2-2018 de AGIES, capítulo 10 (condiciones de terreno)
HIDROMETEOROLOGICAS	Vientos fuertes	BAJA	<ul style="list-style-type: none"> > Probabilidad de daños leves. 	<ul style="list-style-type: none"> > Se recomienda observar las recomendaciones de la normativa NSE-2-18 de AGIES, relacionadas a la amenaza, especificadas en el capítulo 5 (acciones del viento).
	Huracanes	MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Destrucción de tejados de viviendas y edificios. > Las inundaciones dañan las plantas bajas de las estructuras. > Evacuación masiva de áreas residenciales. > Árboles arrancados de raíz y/o quebrados. > Algunas casas frágiles pueden ser arrancadas desde sus cimientos. > Daños severos o totales a los cultivos anuales y permanentes. > Cortes y apagones de electricidad pueden durar varios días. > Inundaciones catastróficas en profundidad y duración, donde está sumergido el primer piso de las edificaciones y hay peligro de pérdida de vidas humanas. 	<ul style="list-style-type: none"> > Observar las recomendaciones de la norma NSE-2-2018 (modificada 2020) de AGIES, capítulo No. 5, relacionadas al viento y capítulo No. 10, relacionado a condiciones de terreno, el subcapítulo 10.2.5 que se refiere a zonas inundables y erosionables. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES, relacionadas al diseño de los proyectos.

Continuación de la figura 15.

HIDROMETEOROLÓGICAS	Inundaciones	ALTA	> Pérdidas considerables	<p>> El proyecto deberá llevar medidas de mitigación por ser zona inundable que puede causar daños considerables, se sugiere la búsqueda de un nuevo sitio.</p> <p>> En todos los casos se recomienda el uso de la normativa NSE-2-2018 (diseño estructural de edificaciones), especificado en el capítulo 10 (condiciones del terreno).</p> <p>> Se recomienda utilizar la NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES (estudios geotécnicos), especialmente el capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo).</p>
---------------------	---------------------	-------------	--------------------------	--

Fuente: elaboración propia, empleando la herramienta AGRIP de SEGEPLAN.

Con base en los resultados de la matriz de análisis y gestión de riesgo, la cual se realizó con la información de la exposición del sitio, las amenazas son altas, siendo altas también las amenazas de sismicidad y las inundaciones.

Las de sismicidad son con base en las Normas NSE de AGIES, al momento de ocurrir un evento sísmico este podría ser muy fuerte y hasta llegar a ser destructivo, provocando daños en las edificaciones y dañando severamente el tramo carretero que es objeto de estudio. Esto se debe a que el municipio de San Pablo en San Marcos tiene un índice de sismicidad de 4.2, siendo 4.3 el valor más alto para Guatemala.

La amenaza de inundaciones es alta, la recomendación de la matriz de AGRIP indica lo siguiente: el proyecto deberá llevar medidas de mitigación por ser zona inundable que puede causar daños considerables, y se sugiere la búsqueda de un nuevo sitio. Así mismo, los estudios geotécnicos para el estudio del subsuelo y las condiciones del terreno indican que el proyecto, al ya estar ejecutado, cuenta con medidas de mitigación que consisten en sistema de drenaje mayor y drenaje menor, que están compuestos por bóvedas, puentes y alcantarillas, cunetas, cajas y cabezales, sucesivamente, estos sistemas tienen la función principal del desfogue del agua derivada de las altas precipitaciones en la zona y la escorrentía superficial (ver apéndice 5).

La amenaza de huracanes es muy alta. Por ser un municipio que se encuentra en la bocacosta del departamento de San Marcos, se encuentra vulnerable al riesgo de sufrir daños por huracanes que ingresan provenientes del océano Pacífico a Guatemala. La recomendación por la matriz de AGRIP es utilizar la normativa NSE-2-2018 en su capítulo 10, el cual indica que en una zona que puede ser inundable se debe utilizar un mapeo de amenaza territorial. En el apéndice 4 se puede visualizar el mapa de inundaciones y deslizamientos para los municipios de San Pablo y Tajumulco, hecho por la CONRED, en el cual se considera como alta la amenaza por inundaciones.

La amenaza volcánica para el municipio de San Pablo (aldea Tocache) es media. Como consecuencia de la distancia entre el volcán Tajumulco y la aldea Tocache, la amenaza disminuye, pero no desaparece derivado de la exposición de materiales volcánicos como tefra (arena) que puedan ocasionar daños en el sistema de drenajes y un desbordamiento de la escorrentía superficial.

La amenaza de deslizamientos/derrumbes es baja, ya que por ser un municipio en la bocacosta existe mayor planicie en su zona geográfica, y la amenaza disminuye, por lo cual se determina que no existirán daños significativos o serán leves y no impactarán la transitabilidad del usuario en el tramo carretero (ver apéndice 5).

La amenaza de vientos fuertes es baja, de igual manera que en el municipio de Tajumulco, por lo cual puede ser imperceptible para el tramo carretero, ya que las amenazas de viento afectan principalmente a edificaciones con altura considerable. Se toma en cuenta esta amenaza ya que los vientos fuertes pueden ocasionar daño en árboles, postes de cableado eléctrico y edificaciones, que a su vez pueden bloquear la transitabilidad del usuario.

Hay beneficios al realizar el análisis de riesgo = amenaza (condición) + impacto (consecuencia). Los beneficios de realizarlo son múltiples y sobre todo buscan proteger la inversión pública por parte del Estado de Guatemala, siendo estos:

- Conocer las amenazas a las cuales se encuentra expuesto un proyecto carretero y el impacto que estas podrían ocasionar, lo cual permite que el Estado de Guatemala incluya medidas de mitigación de riesgo dentro de sus renglones de trabajo al momento de realizar la ejecución de proyectos para no poner en riesgo la vida de los usuarios, trabajadores y del proyecto mismo.
- Realizar un análisis de riesgo permite que una amenaza se pueda mitigar y se pueda llevar a un punto donde no constituya una vulnerabilidad para los tramos carreteros ni para la economía de Guatemala.
- Con el análisis de riesgo disminuyen los costos de mantenimientos correctivos, que son más elevados que un mantenimiento preventivo.
- Con un análisis de riesgo se puede llegar a determinar si una problemática, como una falla en el tramo en estudio, es viable trabajarla con mantenimientos planteados, o mejor plantear otra solución como lo puede ser un cambio de línea o la construcción de un nuevo tramo carretero.
- En el año 2019 el Minfin presentó la calificación por el Banco Mundial, ubicando a Guatemala en el puesto 115 de 167 en desempeño logístico. El análisis de riesgo permite identificar todas las amenazas de la red vial y presentar acciones de mitigación que permitan mantener la transitabilidad

y la libre locomoción en el país. Con esto se busca disminuir el impacto negativo en la economía y la logística de la producción guatemalteca.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis de la exposición de sitio en el municipio de Tajumulco y aldea Tocache, en el cual se pudo identificar las amenazas que exponen la vulnerabilidad del proyecto carretero. Por la zona geográfica en la cual se ha construido existen las amenazas volcánicas, sismos y terremotos, deslizamientos, derrumbes, huracanes, inundaciones y vientos fuertes.
2. Con base en las amenazas identificadas se procedió a realizar la matriz de análisis de riesgo de Segeplan, para determinar las medidas de mitigación y reducir la vulnerabilidad del proyecto carretero. La principal medida de mitigación es calcular y diseñar tomando como base la Normativa NSE-2-2018 de AGIES, en la cual el sitio donde se ha construido el proyecto debe contar con sistemas de drenaje menor y mayor y tener el diseño de área hidráulica capaz de desfogar las altas precipitaciones de la región, diseño estructural (puentes y bóvedas) con respecto al índice de sismicidad de la zona y su ordenada espectral. También debe haber muros de contención y bermas que reduzcan el grado de inclinación de los taludes que se encuentran en las orillas del tramo carretero para evitar deslizamientos y derrumbes. En la amenaza volcánica la medida de mitigación más importante es la observación constante de la actividad del volcán Tajumulco, para prever en un tiempo adecuado un desastre natural ocasionado por este.

3. El beneficio primordial de realizar un análisis de riesgo de un proyecto carretero es proteger la vida de los usuarios que transitan sobre la vía, y así mismo cumplir con el periodo de diseño de este. Se logra mantener la transitabilidad en el tramo carretero Tajumulco – Aldea Tocache, lo cual es de suma importancia para el desarrollo económico de la región, desarrollo turístico y social.

RECOMENDACIONES

1. Recordar que en Guatemala el análisis de riesgo para los proyectos de inversión pública se realiza para obtener información sobre la zona geográfica donde se van a ejecutar los proyectos y las amenazas a los cuales estos se encuentran expuestos. Se recomienda tomar en cuenta estos análisis e incluir las medidas de mitigación de riesgo que puedan crear seguridad vial y proteger la vida útil de los proyectos carreteros en el país.
2. Tomar en cuenta que la Dirección General de Caminos (DGC) cuenta con un Departamento Técnico de Ingeniería (DTI), la función de este es hacer estudios técnicos de los proyectos previos a ejecutar. Para los proyectos que van a entrar en proceso de licitación se solicita emitir un dictamen favorable o no favorable. Se recomienda a este departamento ampliar los criterios y estudios realizados en los cuales se basa para dar un dictamen favorable. Así mismo, la recomendación es para supervisoras contratadas por la DGC, quienes emiten los dictámenes durante la ejecución de los proyectos.
3. Recomendar al Departamento Técnico de Ingeniería (DTI) incluir dentro de su dictamen la matriz de análisis de riesgo de Segeplan, las recomendaciones de esta y las medidas de mitigación de riesgo que deben ejecutar las empresas contratadas por el Estado de Guatemala para cumplir con la vida útil para la cual ha sido diseñado el proyecto carretero.

4. Invitar a las unidades ejecutoras del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI), entre cuyas funciones está la ejecución de proyectos de carreteras, para trabajar en conjunto con la Coordinadora Nacional para la Prevención de Desastres (CONRED) y con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), antes de ejecutar un proyecto para estudiar las amenazas y la vulnerabilidad a la que se encuentra expuesto el mismo.
5. Tener en cuenta que la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL) inicia los mantenimientos de los tramos carreteros después de año y medio de haber sido recibidos y liquidados, tiempo en el cual el proyecto se ve expuesto a condiciones que dañan su servicio, transitabilidad y vida útil. Se recomienda hacer cambios en las políticas y renglones de ejecución en que se pueda incluir un mantenimiento rutinario (limpieza de cunetas y alcantarillas, chapeo, poda de árboles en las orillas de la sección típica, entre otras actividades) en este periodo de tiempo para así mantener en óptimas condiciones la red vial del país.
6. Recordar que la COVIAL debe analizar y hacer uso de la matriz de riesgo de AGRIP, antes de los trabajos de mantenimiento rutinario, para priorizar las áreas más vulnerables de cada tramo carretero y evitar un colapso de la vía que afecte su servicio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
2. Ara, I. (2014). *Seguridad vial por medio de señalización vertical en la república de Guatemala* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3826_C.pdf.
3. CDC. (26 de julio de 2021). Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/sequias/index.html>
4. CONRED (2007). *Las inundaciones*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0227/doc0227.pdf>
5. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja. (22 de marzo de 2022). Deslizamiento de tierras [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.ifrc.org/es/deslizamientos-de-tierras>
6. Ferrovial. (s.f.). Partes de Una Carretera [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.ferrovial.com/es/recursos/partes-de-una-carretera/>
7. Herrera, L. (2002). *Análisis de vulnerabilidad y plan de emergencia para pozos electromecánicos y líneas de conducción de agua potable*,

aplicado al sistema de abastecimiento municipal denominado Canalitos (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

8. Ministerio de Finanzas Publicas. (30 de agosto de 2019). Plan de reconstrucción vial [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.minfin.gob.gt/index.php/comunicados/comunicados-2019/5753-167-minfin-presenta-plan-de-reconstruccion-vial>
9. Palma, J. (2012). *Análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://docplayer.es/37399001-Analisis-de-riesgo-y-vulnerabilidad-en-proyectos-de-carreteras.html>.
10. Rojas, S. (2009). *Diseño de muros de contención sector La Aguada Comuna de Corral* (tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcir7411d/doc/bmfcir7411d.pdf>.
11. Saucedo, A. (2012). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de México* (tesis de licenciatura). Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

12. Sección de Sismología Vulcanología y Exploración Geofísica. (24 de enero de 2019). ¿Cuál es la diferencia entre un sismo, un temblor y un terremoto? [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia/325-cual-es-la-diferencia-entre-un-sismo-un-temblor-y-un-terremoto>
13. SEGEPLAN. (2016). *Guía para el análisis y gestión del riesgo*. Guatemala: Autor.
14. Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). Vulcanismo [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Vulcanismo.html#:~:text=Los%20volcanes%20son%20las%20aberturas,acaba%20haci%C3%A9ndose%20s%C3%B3lida%20al%20enfriarse.>
15. SIECA. (2014). *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Guatemala: Autor. Recuperado de https://www.academia.edu/35562250/Manual_Centroamericano_de_Dispositivos_uniformes_para_el_Control_del_Tr%C3%83nsito_Edici%C3%83n
16. SIECA. (2014). *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras*. Guatemala: Autor.

APÉNDICES

Apéndice 1. Precipitación anual (valores en mm)

Precipitación anual estación INSIVUMEH Catarina San Marcos													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2010	8	2	4	324	786	889	733	605	881	343	57	16	4640
2011	1	51	220	267	405	506	926	1013	566	782	101	60	4905
2012	38	82	142	409	447	395	518	687	606	841	72	92	4292
2013	7	44	8	275	468	525	694	691	614	982	263	58	4662
2014	1	7	131	164	572	920	247	505	779	759	184	22	4289
2015	46	18	16	170	604	447	502	462	660	429	532	10	3846
2016	7	45	70	198	725	682	390	478	830	638	329	221	4275
2017	27	56	12	386	912	618	381	377	611	442	212	11	4387
2018	2	33	151	44	613	542	460	437	836	843	167	46	4081
2019	129.6	338.1	853.9	2308.5	6117.5	6195.5	5458.7	5827.3	7222.3	6735.3	2112.7	574.4	43873.8
2020													186
Total													

Fuente: elaboración propia, empleando información proporcionada por el INSIVUMEH.

Apéndice 2. **Fotografías de las amenazas identificadas**



Continuación del apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Boleta de campo del sitio del municipio de Tajumulco**



GOBIERNO de GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GIANMATTEI

SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

BOLETA DE EVALUACIÓN DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL SITIO



DATOS GENERALES:

REGIÓN VI

MUNICIPIO TAJUMULCO

NOMBRE LUGAR POBLADO TAJUMULCO

TIPO DE PROYECTO MEJORAMIENTO DE CARRETERA

COORDENADAS

DEPARTAMENTO SAN MARCOS

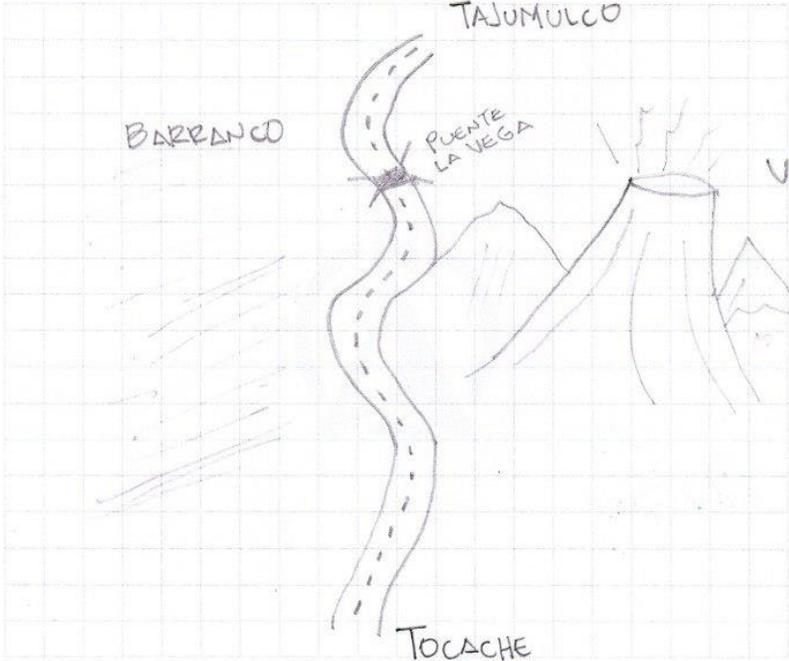
LATITUD

15° 5' 30"

LONGITUD

91° 55' 49"

CROQUIS



INDICAR EN EL CROQUIS

AGUA POTABLE: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	ENERGÍA ELÉCTRICA: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	CUERPOS DE AGUA: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO
ALCANTARILLADO: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	ACCESOS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	GRIETAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>

SEGEPLAN



www.segeplan.gob.gt

Continuación del apéndice 3.



GOBIERNO de GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GUARNATTI

SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

AMENAZA VOLCÁNICA





ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO:	
TIPO DE EVENTO:	ARENA VOLCÁNICA SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	FLUJO DE LAVA DISTANCIA EN METROS: 0.00
	FLUJOS PIROCLÁSTICOS DISTANCIA EN METROS: 1,000.00
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO AL EDIFICIO VOLCÁNICO KILÓMETROS: 2.0	
EL SITIO ANALIZADO SE ENCUENTRA EN O CERCA DE QUEBRADAS QUE SURGEN DEL EDIFICIO VOLCÁNICO DISTANCIA EN METROS: 1.0	
CUANDO HA SUCEDIDO UN EVENTO VOLCANICO, CUÁL HA SIDO EL DAÑO	BAJO:
	MEDIO: <input checked="" type="checkbox"/>
	ALTO:
	MUY ALTO:

www.segeplan.gob.gt



Continuación del apéndice 3.

AGRIP



ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

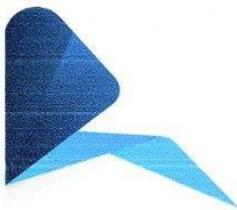
- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO:					
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO A LA CRESTA O TALUD	METROS: 300		PORCENTAJE DE PENDIENTE	%: 45 - 50	
COBERTURA FORESTAL	EXISTE:	NO EXISTE:	TIPO DE SUELO	COMPACTO	SUELTO
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		ROCOSO <input checked="" type="checkbox"/>	POROSO
CUERPOS DE AGUA CERCANOS	EXISTE:	NO EXISTE:	FRACTURAS / GRIETAS	EXISTE:	NO EXISTE:
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CUANDO HA SUCEDIDO UN DESLIZAMIENTO O DERRUMBE, CUÁL HA SIDO EL DAÑO				BAJO:	<input type="checkbox"/>
				MEDIO:	<input type="checkbox"/>
				ALTO:	<input checked="" type="checkbox"/>
				MUY ALTO:	<input type="checkbox"/>



www.segeplan.gob.gt



Continuación del apéndice 3.

AGRIP



ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

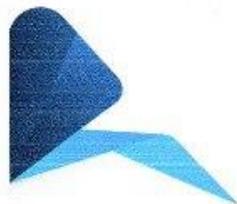
- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: 17/10/2021		CAUSAS:		LLUVIAS INTENSAS: <input checked="" type="checkbox"/> DESBORDAMIENTO RÍO:	
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO A LOS RÍOS O CUERPOS DE AGUA		METROS: 100			
CUANDO HA OCURRIDO INUNDACIÓN, INDICAR EL NIVEL DEL AGUA EN METROS.	METROS: 0.90	CUÁNTO DURÓ EL ESPEJO DE AGUA.	HORAS:	DÍAS: 1	
CUANDO HA SUCEDIDO UNA INUNDACIÓN, CUÁL HA SIDO EL DAÑO:				BAJO:	
				MEDIO: <input checked="" type="checkbox"/>	
				ALTO:	
				MUY ALTO:	



www.segeplan.gob.gt



Continuación del apéndice 3.



GOBIERNO de GUATEMALA
SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

AMENAZA HURACANES




+


ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: <i>Julio 2021</i>			
VELOCIDAD DEL VIENTO EN KILÓMETROS POR HORA DURANTE EL EVENTO: <i>230</i>			
ALTURA DEL AGUA EN EL SITIO EN METROS: <i>0.90</i>		DURACIÓN DE LA INUNDACIÓN EN DÍAS: <i>2</i>	
DURACIÓN DE LLUVIAS INTENSAS: <i>2</i>	DÍAS: <i>2</i>	DISTANCIA DE CUERPOS DE AGUA CERCA DEL SITIO DEL PROYECTO	METROS: <i>100</i>
CUANDO HA SUCEDIDO UN EVENTO DE HURACÁN, CUÁL HA SIDO EL DAÑO:			BAJO:
			MEDIO: <input checked="" type="checkbox"/>
			ALTO:
			MUY ALTO:



www.sisgeplan.gob.gt

Continuación del apéndice 3.



GOBIERNO de GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GIANINOTTI

SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

OTRO TIPO DE AMENAZAS PARTICULARES DEL SITIO



CARACTERÍSTICAS

TIPO DE EVENTO: SISMO				
FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: 7/11/2021			DURACIÓN DEL EVENTO: 50 SEGUNDOS	
SE HAN PRESENTADO LLUVIAS TORRENCIALES?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	DURACIÓN DEL EVENTO: 4 Hrs.	
¿HA HABIDO INUNDACIONES COMO CONSECUENCIA DE ESAS LLUVIAS?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
PRECIPITACIÓN	MÍNIMA: 0.9	MÁXIMA: 143.1	MEDIA: 13	
TEMPERATURA	MÍNIMA: 6°	MÁXIMA: 24°	MEDIA: 16°	
DAÑOS CAUSADOS A LA INFRAESTRUCTURA	NO SIGNIFICATIVOS	LEVES	SEVEROS <input checked="" type="checkbox"/>	COLAPSO DE ALGUNAS
PÉRDIDAS	SIN IMPORTANCIA	BAJA CONSIDERACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	ELEVADAS	GRAN MAGNITUD
INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS	SIN INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS	MOMENTÁNEA	PARCIAL <input checked="" type="checkbox"/>	PERIODOS LARGOS
INDIQUE CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO:		BREVE DESCRIPCIÓN:		
<ul style="list-style-type: none"> - ES REPETITIVO O EXCEPCIONAL - QUÉ LO CAUSÓ (EFECTO DE LA NATURALEZA, MANO DEL HOMBRE, CAMBIOS EN EL CLIMA, ETC.) - CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO OCURRIDO 		<p>EXPOSICIÓN A LA ZONA GEOGRÁFICA Y DEFORESTACIÓN</p>		

Se anexan 6 fotografías georeferenciadas del sitio.

Nombre del Representante COCODE: _____

Cargo: _____

Firma y sello: _____

Nombre: **BAYRON LEONEL VIVAR**

Firma: 

Fecha: **13/11/2021**

SEGEPLAN



www.segeplan.gob.gt

Fuente: elaboración propia, empleando formulario de Segeplan.

Apéndice 4. **Boleta de campo del sitio de la aldea Tocache del municipio de San Pablo**



SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

BOLETA DE EVALUACIÓN DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL SITIO



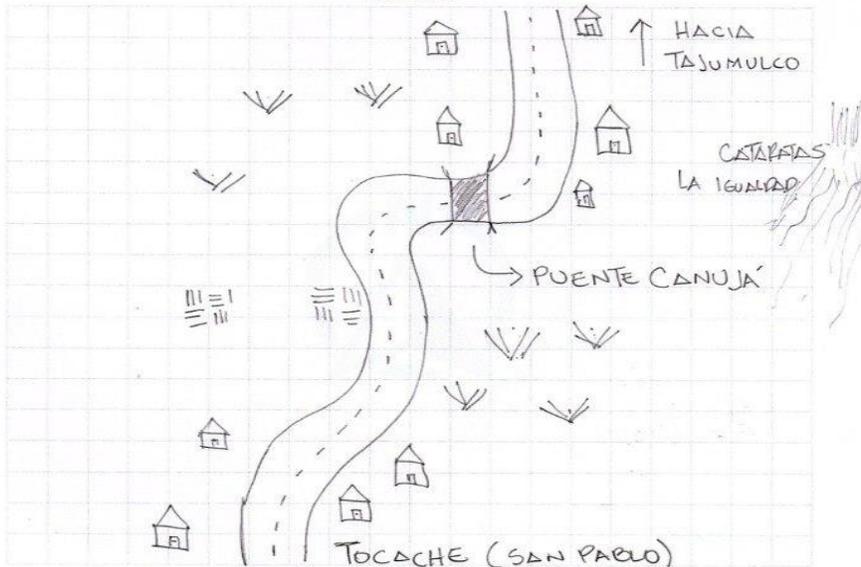
DATOS GENERALES:

REGIÓN VI DEPARTAMENTO SAN MARCOS
 MUNICIPIO SAN PABLO
 NOMBRE LUGAR POBLADO ALDEA TOCACHE
 TIPO DE PROYECTO MEJORAMIENTO DE CARRETERAS
 COORDENADAS

LATITUD
14° 59' 25" "

LONGITUD
91° 56' 30" "

CROQUIS



INDICAR EN EL CROQUIS

AGUA POTABLE: SI / NO ENERGÍA ELÉCTRICA: SI / NO CUERPOS DE AGUA: SI / NO
 ALCANTARILLADO: SI / NO ACCESOS: SI / NO GRIETAS: SI / NO



www.segeplan.gob.gt

Continuación del apéndice 4.



GOBIERNO de GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GUARMASTEI

SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

AMENAZA VOLCÁNICA





ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

· SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
 · SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO:	
TIPO DE EVENTO:	ARENA VOLCÁNICA SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	FLUJO DE LAVA DISTANCIA EN METROS: 20,000
	FLUJOS PIROCLÁSTICOS DISTANCIA EN METROS: 20,000
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO AL EDIFICIO VOLCÁNICO KILÓMETROS: 20.00	
EL SITIO ANALIZADO SE ENCUENTRA EN O CERCA DE QUEBRADAS QUE SURGEN DEL EDIFICIO VOLCÁNICO DISTANCIA EN METROS: 3.00	
CUANDO HA SUCEDIDO UN EVENTO VOLCANICO, CUÁL HA SIDO EL DAÑO	BAJO: <input checked="" type="checkbox"/>
	MEDIO: <input type="checkbox"/>
	ALTO: <input type="checkbox"/>
	MUY ALTO: <input type="checkbox"/>



SEGEPLAN

www.segeplan.gob.gt

Continuación del apéndice 4.



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
REPUBLICA DE GUATEMALA

SECRETARÍA DE
PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN
DE LA PRESIDENCIA

**AMENAZA
DESLIZAMIENTOS /
DERRUMBES**







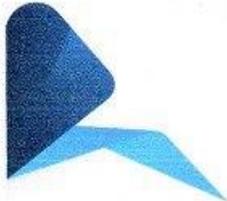
ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO:					
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO A LA CRESTA O TALUD	METROS:		PORCENTAJE DE PENDIENTE	%:	
COBERTURA FORESTAL	EXISTE:	NO EXISTE:	TIPO DE SUELO	COMPACTO ROCOSO	SUELTO POROSO
CUERPOS DE AGUA CERCANOS	EXISTE:	NO EXISTE:	FRACTURAS / GRIETAS	EXISTE:	NO EXISTE:
CUANDO HA SUCEDIDO UN DESLIZAMIENTO O DERRUMBE, CUÁL HA SIDO EL DAÑO					BAJO:
					MEDIO:
					ALTO:
					MUY ALTO:



www.segeplan.gob.gt

SEGEPLAN



Continuación del apéndice 4.



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

SECRETARÍA DE
PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN
DE LA PRESIDENCIA

**AMENAZA
INUNDACIONES**







ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

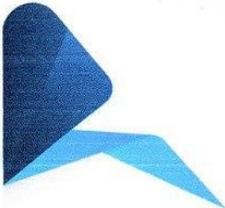
CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: <i>17/10/21</i>		CAUSAS:	LLUVIAS INTENSAS: <input checked="" type="checkbox"/>	
		DESBORDAMIENTO RÍO:		
DISTANCIA DEL SITIO ANALIZADO A LOS RÍOS O CUERPOS DE AGUA		METROS: <i>100</i>		
CUANDO HA OCURRIDO INUNDACIÓN, INDICAR EL NIVEL DEL AGUA EN METROS.	METROS: <i>2.00</i>	CUÁNTO DURÓ EL ESPEJO DE AGUA.	HORAS:	DÍAS: <i>3</i>
CUANDO HA SUCEDIDO UNA INUNDACIÓN, CUÁL HA SIDO EL DAÑO:			BAJO:	
			MEDIO:	
			ALTO: <input checked="" type="checkbox"/>	
			MUY ALTO:	

SEGEPLAN

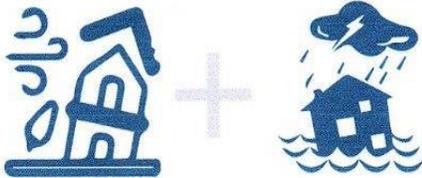


www.segeplan.gob.gt



Continuación del apéndice 4.

AGRIP



ESTÁ PRESENTE LA AMENAZA:

SI NO

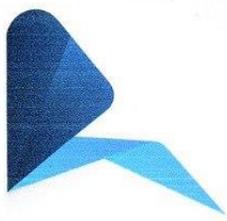
- SI LA RESPUESTA ES "SI", CONTINUAR LLENANDO EL CUADRO SIGUIENTE,
- SI LA RESPUESTA ES "NO", PASAR A LAS OTRAS AMENAZAS.

CARACTERÍSTICAS

FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: Julio 2021			
VELOCIDAD DEL VIENTO EN KILÓMETROS POR HORA DURANTE EL EVENTO: 160			
ALTURA DEL AGUA EN EL SITIO EN METROS: 2.00		DURACIÓN DE LA INUNDACIÓN EN DÍAS: 3	
DURACIÓN DE LLUVIAS INTENSAS: 3	DÍAS: 3	DISTANCIA DE CUERPOS DE AGUA CERCA DEL SITIO DEL PROYECTO	METROS: 100
CUANDO HA SUCEDIDO UN EVENTO DE HURACÁN, CUÁL HA SIDO EL DAÑO:			BAJO:
			MEDIO:
			ALTO: <input checked="" type="checkbox"/>
			MUY ALTO:



www.segeplan.gob.gt



Continuación del apéndice 4.



GOBIERNO de GUATEMALA
UN ALTERNADOR DEMOCRÁTICO

SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA

OTRO TIPO DE AMENAZAS PARTICULARES DEL SITIO



CARACTERÍSTICAS

TIPO DE EVENTO: SISMO				
FECHA DEL ÚLTIMO EVENTO: 7/11/2012			DURACIÓN DEL EVENTO: 54 segundos	
SE HAN PRESENTADO LLUVIAS TORRENCIALES?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	DURACIÓN DEL EVENTO: 4 Hrs.	
¿HA HABIDO INUNDACIONES COMO CONSECUENCIA DE ESAS LLUVIAS?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
PRECIPITACIÓN	MÍNIMA: 30 mm	MÁXIMA: 800 mm	MEDIA: 430 mm	
TEMPERATURA	MÍNIMA: 16°	MÁXIMA: 28°	MEDIA: 24°	
DAÑOS CAUSADOS A LA INFRAESTRUCTURA	NO SIGNIFICATIVOS	LEVES	SEVEROS <input checked="" type="checkbox"/>	COLAPSO DE ALGUNAS
PÉRDIDAS	SIN IMPORTANCIA	BAJA CONSIDERACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	ELEVADAS	GRAN MAGNITUD
INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS	SIN INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS	MOMENTÁNEA	PARCIAL <input checked="" type="checkbox"/>	PERIODOS LARGOS
INDIQUE CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO:		BREVE DESCRIPCIÓN:		
<ul style="list-style-type: none"> • ES REPETITIVO O EXCEPCIONAL • QUÉ LO CAUSÓ (EFECTO DE LA NATURALEZA, MANO DEL HOMBRE, CAMBIOS EN EL CLIMA, ETC.) • CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO OCURRIDO 				

Se anexan 6 fotografías georeferenciadas del sitio.

Nombre del Representante COCODE: _____

Cargo: _____

Firma y sello: _____

Nombre: **BAYRON LEONEL VIVAR**

Firma: 

Fecha: **14/11/2021**

SEGEPLAN

www.segeplan.gob.gt

Fuente: elaboración propia, empleando formulario de Segeplan.

Apéndice 5. **Matriz de análisis de riesgo general por AGRIP del municipio de Tajumulco**



DATOS GENERALES DEL PROYECTO				
NOMBRE Y TIPO DEL PROYECTO	Mejoramiento Carretera Tajumulco - Adea Tocache			
SNIP	190108			
BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	Mejoramiento de la carretera entre el municipio de Tajumulco y la Adea Tocache del municipio de San Pablo del departamento de San Marcos.			
UNIDAD EJECUTORA	Gobierno de Guatemala			
REGIÓN	VI			
DEPARTAMENTO	SAN_MARCOS			
MUNICIPIO	TAJUMULCO			
LUGAR POBLADO	Tajumulco			
COORDENADAS GTM		Grados	Minutos	Segundos
	Latitud	15	5	30
	Longitud	91	55	49
FECHA DEL ANÁLISIS DE RIESGO	06/01/2022			
NOMBRE DEL EVALUADOR	Bayron Leonel Vivar Quezada			
CARGO	Estudiante Universitario			
INSTITUCIÓN	USAC			
PROFESIÓN	Ingeniero Civil			
No. COLEGIADO	0			

NIVEL DE RIESGO PARA EL PROYECTO

Exposición **MUY ALTA** en algunas de las amenazas identificadas, se recomienda buscar un nuevo sitio o indicar medidas de mitigación/protección y costo estimado de las mismas.

Es obligatorio anexar mínimo 6 fotografías del sitio y/o infraestructura, junto con la boleta de evaluación de campo.

se los

Firma de Formulator del Análisis de Riesgo
 Bayron Leonel Vivar Quezada
 DPI 2607642211002

V."B." Director de Planificación
 Luis Felipe Herrera Egúzabal
 DPI 1755145420101

Continuación del apéndice 5.



RESULTADOS DEL ANÁLISIS				
NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO		Mejoramiento Carretera Tajumulo - Aldea Toaache		
AMENAZAS		NIVEL DE LA RELACIÓN INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS AMENAZAS EN EL SITIO DEL PROYECTO (EXPOSICIÓN)	EFFECTOS PROBABLES A LA EXPOSICIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO Y SEGÚN AMENAZA EVALUADA	RECOMENDACIONES
GEOLOGICAS	Sismicidad (Terremoto)	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Muy fuerte a destructivo EMM (VI-IX), > Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. > Grandes daños en importantes edificios, con colapsos parciales. > Edificios desplazados fuera de las bases. 	<p>A NIVEL NACIONAL SE RECOMIENDA CONSULTAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> > NORMATIVA NSE-2-2018 (modificada 2020) de AGIES, con el objetivo de calcular y según el índice de sismicidad del sitio, el diseño de acuerdo a la ordenada espectral de período corto y la ordenada espectral con período de 1 segundo. > NORMATIVA NSE-2-1-18 (modificada 2020) de AGIES relacionada a los estudios geotécnicos. > NORMATIVA NSE-1, 2018 (modificada 2020) de AGIES, relacionada a generalidades, administración de las normas y supervisión técnica. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES relacionadas al diseño de los proyectos.
	Volcánicas	MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Existe una alta probabilidad de destrucción total y repentina de la infraestructura (viviendas y edificios), así como áreas de cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> > Se recomienda la búsqueda de un nuevo sitio para la construcción del proyecto, dada la posibilidad de alta peligrosidad para la infraestructura y sus usuarios.
	Deslizamientos / Derrumbes	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Por las condicionantes del terreno y el grado de pendiente, la probabilidad de que ocurran deslizamientos es alta, por lo que pueden ocasionar daños a la infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> > El proyecto debe considerar medidas de mitigación de acuerdo a las características del terreno y obra. > En todos los casos se recomienda la utilización de la NORMATIVA NSE-2-1-18 (modificada 2020) de AGIES, específicamente consultar capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo); capítulo 5 (cimientos); capítulo 7 (estabilidad de taludes y taludes). > En todos los casos se recomienda la utilización de la normativa NSE-2-2018 de AGIES, capítulo 10 (condiciones de terreno)
HIDROMETEOROLÓGICAS	Vientos fuertes	BAJA	<ul style="list-style-type: none"> > Probabilidad de daños leves. 	<ul style="list-style-type: none"> > Se recomienda observar las recomendaciones de la normativa NSE-2-18 de AGIES, relacionadas a la amenaza, especificadas en el capítulo 5 (acciones del viento).
	Huracanes	MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> > Destrucción de tejados de viviendas y edificios. > Las inundaciones dañan las plantas bajas de las estructuras. > Evacuación masiva de áreas residenciales. > Árboles arrancados de raíz y/o quebrados. > Algunas casas frágiles pueden ser arrancadas desde sus cimientos. > Daños severos o totales a los cultivos anuales y permanentes. > Cortes y apagones de electricidad pueden durar varios días. > Inundaciones catastróficas en profundidad y duración, donde está sumergido el primer piso de las edificaciones y hay peligro de pérdida de vidas humanas. 	<ul style="list-style-type: none"> > Observar las recomendaciones de la norma NSE-2-2018 (modificada 2020) de AGIES, capítulo No. 5, relacionado al viento y capítulo No. 10, relacionado a condiciones de terreno, el subcapítulo 10.2.5 que se refiere a zonas inundables y erosionables. > Así como las demás NORMAS NSE de AGIES, relacionadas al diseño de los proyectos.

Continuación del apéndice 5.




HIDROMETEOROLÓGICAS	Inundaciones	ALTA	> Pérdidas considerables	<p>> El proyecto deberá llevar medidas de mitigación por ser zona inundable que puede causar daños considerables, se sugiere la búsqueda de un nuevo sitio.</p> <p>> En todos los casos se recomienda el uso de la normativa NSE-2:2018 (diseño estructural de edificaciones), especificado en el capítulo 10 (condiciones del terreno).</p> <p>> Se recomienda utilizar la NORMATIVA NSE-2.1-18 (modificada 2020), de AGIES (estudios geotécnicos), especialmente el capítulo 4 (caracterización geotécnica del subsuelo).</p>
OTRAS AMENAZAS IDENTIFICADAS	0	NO IDENTIFICADA	---	---
		NO IDENTIFICADA	---	---
		NO IDENTIFICADA	---	---

Fuente: elaboración propia, empleando formulario de Segeplan.