



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL PUENTE CHAMELECÓN MEDIANTE EL
PROTOCOLO PIEVC POSTERIOR A LOS FENÓMENOS CLIMATOLÓGICOS DE ETA
E IOTA**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

DARÍO ELIÉZER LAGOS BORJAS 21941317

GABRIELA MONSERRATH GIRON CONTRERAS 22111238

ASESORES:

ING. MARIO CARDENAS

ING. OTTO FLORES

CAMPUS SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS

DICIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

PRESIDENTE EJECUTIVA

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

VICERRECTOR ACADÉMICO

JAVIER SALGADO

RECTOR ACADÉMICO

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRANDA

VICEPRESIDENTA CAMPUS SAN PEDRO SULA

MARÍA ROXANA ESPINAL MONTEILH

JEFE ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

HÉCTOR WILFREDO PADILLA

TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTOS DE LOS REQUISITOS

EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ASESOR METODOLÓGICO FASE I

ING. ADA RODRÍGUEZ

ASESORES TEMÁTICOS

ING. OTTO FLORES

ING. ANA BORJAS

ING. MARIO CARDENAS

MIEMBROS DE LA TERNA

DERECHOS DE AUTOR

©Copyright 2024

DARÍO ELÍEZER LAGOS BORJAS 21941317

GABRIELA MONSERRATH GIRON CONTRERAS 22111238

Todos los derechos reservados

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACION DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACION ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

SAN PEDRO SULA

Estimados señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Darío Eliezer Lagos Borjas y Gabriela Monserrath Giron Contreras de San Pedro sula autores del trabajo de grado titulado: Análisis de patologías en puentes de más de 20 años en el departamento de Cortes

Presentado y aprobado en el año 2023, como requisito para optar al título de profesional de ingeniero civil, autorizo a: Las bibliotecas de los centros de recursos para el Aprendizaje y la investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) para que, con fines académicos. Pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:


Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la Biblioteca y la página web de la universidad. Permita la consulta y la reproducción a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formatos CD o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de derechos de Autor y de los derechos conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores. En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los diecinueve días del mes de octubre de dos mil veintitrés.



Gabriela Girón
22111238



Darío Lagos
21941317

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.



Ing. Ada Rodríguez
Asesor Metodológico



Ing. Mario Cárdenas
Asesor temático



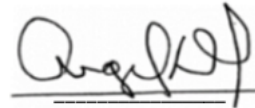
Ing. Otto Flores
Asesor temático



Ing.
Edwin Roberto Turcios



Ing.
Raúl Medina



Ing.
Ángel Fúnez

Ing. Héctor Padilla
JEFE ACADÉMICO DE
INGENIERÍA
CIVIL/UNITEC

DEDICATORIA

Quiero atribuir este logro, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía a lo largo de los años, permitiendo que mis anhelos se cumplan en cada etapa de mi vida. En esta etapa, llegó el momento de alcanzar mi mayor sueño: convertirme en Ingeniero Civil. También quiero dedicar este logro a mi familia, que siempre me ha apoyado a lo largo de mi carrera. En especial, a mi hermano mayor, Kevin Castillo, quien ha sido un gran ejemplo y soporte no solo para mí, sino también para todos mis hermanos. Igualmente, quiero agradecer a mis padres, Juan Giron y Elena Contreras, quienes han estado a mi lado desde que tengo uso de razón, brindándome consejos y motivación para culminar con éxito mi pregrado. En tercer lugar, quiero dedicar a mi hermano Mario Giron este logro con quien compartí el salón de clases todos estos años de clases y con quien termino la carrera universitaria, también expresar mi gratitud a mis amigos universitarios de UNAH y UNITEC, con quienes he compartido mucho. Por último, deseo agradecer a los catedráticos de la carrera de Ingeniería Civil que han estado directamente involucrados en mi formación académica.

Gabriela Giron

Este proyecto de investigación está dedicado a: A mis padres Darío Lagos y Adelma Borjas, mi orgullo, mis modelos a seguir, mis impulsores para este logro que, gracias a su paciencia y dedicación, hemos conseguido otro de muchos logros y aún más por venir, pero por, sobre todo gracias por instruirme en el camino de Dios. Mi hermano, amigo y basquetbolista, Andrés Lagos, que gracias a su compañía y cariño me he convertido y aprendido a ser el hermano mayor que soy. A toda mi familia, abuelos, tíos y primos por su amor incondicional, que con gran cariño aún recuerdo de cada uno de ellos sus consejos y palabras de aliento que en su momento me dieron. De San Pedro Sula a Tegucigalpa con gran amor les mando un abrazo. A todos mis amigos y maestros que he conocido en mi proceso formativo en instituciones como ECSA, UNAH y UNITEC. Finalmente dedicarles un versículo a mis padres que con cariño ellos me dieron en su momento, "Todo lo puedo en Cristo que me fortalece" (Filipenses 4:13).

Darío Lagos

AGRADECIMIENTO

Primeramente, deseamos agradecer a los Ingenieros Jorge Paz y Ana Borjas, ingenieros hondureños quienes participaron directamente en la investigación referente, les agradecemos por haber compartidos sus experiencias, conocimiento, tiempo y soporte a lo largo de este camino. Siendo, nuestros mentores para poder llevar a cabo este proyecto.

A nuestros catedráticos de la carrera de ingeniería civil y asesores temáticos Ingenieros Mario Cárdenas e ingeniero Otto Flores desearles lo mejor por su compromiso, tiempo y apoyo brindado en nuestro proyecto de investigación al igual que a nuestros asesores temáticos Ingeniero Ada Rodríguez e Ingeniero Héctor Padilla por aportar tanto a nuestra formación universitaria.

LISTA DE SIGLAS

PIEVC	Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee
Engineers Canada	Canadian Council of Professional Engineers
CCPE	Canadian Certified Professional Ergonomist
CICH	Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras
SOPTRAVI	Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda
ONU	Organización de Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
CEPRENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana
HEC RAS	Hydrological Engineering Centre – River Analysis System



RESUMEN EJECUTIVO

Honduras enfrenta una elevada vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, debido a su ubicación, evidencia de esto la impactante llegada de los huracanes ETA e IOTA en 2020. El CCPE y CICH, implementaron el protocolo PIEVC en cuatro puentes hondureños. Este mismo protocolo se utilizó para evaluar la vulnerabilidad del puente Chamelecón tras los huracanes, con el propósito de proporcionar datos confiables y fortalecer la resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático. Con el fin de puntuar y categorizar el riesgo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC en la que se posiciona el Puente Chamelecón ante el análisis de eventos climatológicos como Huracanes y Tormentas Tropicales se planteó aplicar el protocolo PIEVC para resolver la incertidumbre si el puente es vulnerable ante este tipo de fenómenos. Asimismo, se obtuvo la probabilidad de ocurrencia para eventos como Huracanes y Tormentas Tropicales asociada a la vulnerabilidad del Puente Chamelecón para estimar la constancia de cada evento. La puntuación que se le otorgó al Puente Chamelecón según la escala del umbral de tolerancia PIEVC en la que se posiciona el Puente Chamelecón ante el análisis de eventos climatológicos para Huracanes es de 6.32 puntos que está por debajo de los 12 puntos, por ende, representa un nivel bajo y para Tormentas Tropicales la puntuación es de 4.49 representando un nivel nulo de riesgo. Se determinó que la probabilidad de ocurrencia para eventos de categoría de Huracanes es del 12% (6 en 50) y para Tormentas Tropicales del 8% (4 en 50).

Palabras Claves: Huracanes, Puentes, Vulnerabilidad, Riesgo, Tormentas



ABSTRACT

Honduras grapples with heightened vulnerability to extreme climatic events, a consequence of its geographical location, exemplified by the impactful arrival of hurricanes ETA and IOTA in 2020. The Canadian Council of Professional Engineers (CCPE) and the Civil Engineers College of Honduras (CICH) executed the Protocol for the Infrastructure and Engineering Vulnerability Committee (PIEVC) on four Honduran bridges. This same protocol was applied to assess the vulnerability of the Chamelecón Bridge post-hurricanes, aiming to furnish reliable data and enhance resilience against the adverse effects of climate change. In an effort to score and categorize risk according to the PIEVC tolerance threshold scale, the analysis of climatological events such as hurricanes and tropical storms positioned the Chamelecón Bridge. The application of the PIEVC protocol was proposed to dispel uncertainties regarding the bridge's vulnerability to these phenomena. Furthermore, the probability of occurrence for events like hurricanes and tropical storms, coupled with the vulnerability of the Chamelecón Bridge, was determined to estimate the frequency of each event. The Chamelecón Bridge scored 6.32 points on the PIEVC tolerance threshold scale for hurricane analysis, falling below the 12-point threshold, indicating a low level of risk. For tropical storms, the bridge received a score of 4.49, representing a negligible risk level. And at last the probability of occurrence for hurricane events was determined to be 12% (6 out of 50), while for tropical storms, it stood at 8% (4 out of 50).

Keywords: Bridges, Hurricanes, Protocol, Risk, Storms

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	2
2.1.	Precedentes del problema.....	2
2.2.	Definición del problema.....	5
2.2.1.	Enunciado del problema.....	5
2.2.2.	Formulación del problema.....	5
2.3.	Justificación.....	5
2.4.	Preguntas de investigación.....	7
2.5.	Objetivo.....	7
2.5.1.	Objetivo general.....	7
2.5.2.	Objetivos específicos.....	7
III.	Marco teórico.....	9
3.1.	Análisis de la situación actual.....	9
3.1.1.	Análisis del macroentorno.....	9
3.1.1.1.	<i>Manual para la evaluación de desastres santiago de chile</i>	9
3.1.1.2.	<i>Evaluación de riesgo de la infraestructura ante el cambio climático, costa rica</i>	19
3.1.2.	Análisis del microentorno.....	34
3.1.2.1.	Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes.....	34
3.1.3.	Análisis interno.....	51
3.2.	Teoría de sustento.....	53
3.2.1.	Protocolo para la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático (pievc).....	53
3.2.1.1.	<i>Alcance</i>	61

3.2.1.2. <i>Ventajas</i>	61
3.2.1.3. <i>Limitaciones</i>	61
3.2.2. Informe hidrológico-hidráulico orientado a la estimación de las planicies de inundación de las crecidas de río chamelecón próximas a la cota 38 m s.n.m.	62
3.2.3. Información hidrológica de copeco	66
3.3. Conceptualización	77
3.4. Marco legal	80
IV. Metodología	84
4.1. Enfoque	84
4.2. Variables de investigación	85
4.2.1. Diagrama de las variables de operacionalización	87
4.2.2. Tabla de operacionalización	88
4.2.3. Hipótesis	90
4.3. Técnicas e instrumentos aplicados	91
4.3.2. Técnicas	92
4.4. Población y muestra	93
4.4.1. Población	93
4.4.2. Tamaño de la muestra	93
4.5. Metodología de estudio	94
4.6. Metodología de validación	96
4.7. Cronograma de actividades	98
V. Análisis y resultados	103
5.1. Aplicación del protocolo pievc	103
5.2. Paso 1: definición del proyecto	103

5.2.1. Identificación del marco de tiempo	104
5.2.2. Geografía del puente chamelecon	104
5.2.3. Identificación de la infraestructura	105
5.2.4. Visita al sitio	106
5.3. Paso 2: recolección y suficiencia de los datos	109
5.3.1. Componentes de la infraestructura	109
5.3.1.1. <i>Componentes hidrología e hidráulica</i>	109
5.3.1.2. <i>Componentes de la superestructura</i>	110
5.3.1.3. <i>Componentes de la subestructura</i>	114
5.3.1.4. <i>Geología y geotécnica</i>	115
5.3.2. Eventos climáticos	116
5.3.2.1. <i>Tormenta tropical</i>	117
5.3.2.2. <i>Huracanes</i>	117
5.3.3. Cuenca tributaria	117
5.3.3.1. <i>Parámetros morfológicos de la cuenca</i>	119
5.3.3.2. <i>Tipos de suelos de la cuenca</i>	120
5.3.4. Aspectos climáticos	121
5.3.5. Definiciones de puntuación de probabilidad	127
5.3.6. Análisis climático y proyecciones	129
5.3.7. Hec ras	131
5.4. Paso 3: evaluación del riesgo	136
5.4.1. Criterios de desempeño	136
5.4.2. Criterios de severidad	137
5.4.3. Umbrales de tolerancia de riesgo	138

5.4.4. Interpretación del análisis.....	145
5.5. Paso 4: análisis de ingeniería	148
5.6. Paso 5: conclusiones y recomendaciones	149
5.7. Validación de hipótesis.....	151
VI. Conclusiones.....	152
VII. Recomendaciones.....	153
VIII. Aplicabilidad.....	155
Bibliografía	171
IX. Anexos.....	175

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - Diferencia de temperatura global.....	11
Ilustración 2 - Costos indicativos relacionados con puentes y viaductos.....	16
Ilustración 3 - Costos indicativos relacionados con obras de mitigación.....	17
Ilustración 4 - Procedimiento por pasos según el protocolo PIEVC.....	20
Ilustración 5 - Detalle de elementos según cada sección del puente Tempisque	22
Ilustración 6 - Mapa con delimitación de la cuenca alta del río Tempisque	24
Ilustración 7 - Distribución de elevaciones para la cuenca alta del río Tempisque	25
Ilustración 8 - Curva hipsométrica para la cuenca alta del río Tempisque.	26
Ilustración 9 - Tipos de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.	27
Ilustración 10 - Tendencia anual de flujo vehicular en la estación N°549 del MOPT, puente río Tempisque, Guardia.	28
Ilustración 11 - Ubicación de las estaciones por elevación	29
Ilustración 12 - Registros de los eventos de precipitación por estación meteorológica.....	30
Ilustración 13 - Umbrales de riesgo.	31
Ilustración 14 - Resumen de los riesgos identificados en el puente sobre el río Tempisque.....	32
Ilustración 15 - Amenazas que impactan a la región centroamericana.....	35
Ilustración 16 - Procedimiento de evaluación de emplazamiento.....	37
Ilustración 17 - Histograma de evaluación.....	39
Ilustración 18 - Componente bioclimático	40
Ilustración 19 - Componente de Geología.....	41
Ilustración 20 - Componente de Hidrología.....	42
Ilustración 21 - Ejemplo de evaluación de los componentes	43
Ilustración 22 - Ejemplo de evaluación de puentes.....	44
Ilustración 23 - Resumen de la Evaluación	45
Ilustración 24 - Descripción de los valores	47
Ilustración 25 - Componentes de Vulnerabilidad.....	48
Ilustración 26 - Histograma Balance de riesgo.....	50
Ilustración 27 - Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto.....	55
Ilustración 28- Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto.....	58
Ilustración 29 - Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto.....	59
Ilustración 30- Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto.....	60

Ilustración 31 - Red de drenaje superficial de la cuenca de Río Chamelecón.	63
Ilustración 32 - Distribución espacial de la Clasificación Hidrológica de los Suelos (HSG) en la cuenca de Río Chamelecón.....	64
Ilustración 33 - Diagrama de Operacionalización de variables	87
Ilustración 34 - Vista desde el margen derecho del puente Chamelecón.....	94
Ilustración 35 - Diagrama de metodología de estudio	95
Ilustración 36 - Cronograma de trabajo semana 1 – 3.....	100
Ilustración 37 - Cronograma de trabajo semana 4 - 6	100
Ilustración 38 - Cronograma de trabajo semana 7 – 8.....	101
Ilustración 39 - Cronograma de trabajo semana 9 – 10.....	101
Ilustración 40 - Ubicación del puente Chamelecón.....	105
Ilustración 41 - Vista lateral de puentes desde el lado derecho.....	106
Ilustración 42 - Vista desde la parte inferior del puente	107
Ilustración 43 – Estado de DAP END en puente sobre el río Chamelecón	111
Ilustración 44 – Materia orgánica y fractura en DAP END de puente sobre el río Chamelecón.....	112
Ilustración 45 - Distribución de la temperatura media anual en la cuenca de Río Chamelecón.....	118
Ilustración 46 - Variación de la elevación y la temperatura media anual en las estaciones pluviométricas	118
Ilustración 47 - Red de drenaje superficial de la cuenca de Río Chamelecón	119
Ilustración 48 - Distribución espacial de las series de los suelos en la cuenca de Río Chamelecón.	120
Ilustración 49 - Mapa de temperatura promedio anual en Honduras	121
Ilustración 50 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Quimistán.....	122
Ilustración 51 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Chumbagua.....	123
Ilustración 52 -Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación La Entrada	124
Ilustración 53 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Santa Rosa.....	125
Ilustración 54 - Caudal generado por precipitación acumulada en 6 días	130
Ilustración 55 - Secciones del río Chamelecón a cada 200 metros.....	132
Ilustración 56 - Imagen DEM del río Chamelecón.....	133

Ilustración 57 - Modelo de puente Chamelecón en HEC RAS.....	133
Ilustración 58 - Vista en 3D de puente Chamelecón	134
Ilustración 59 - Caudal durante el huracán ETA	134
Ilustración 60 - Caudal durante el huracán IOTA	135
Ilustración 61 - Caudal real al que fue expuesta la estructura	135
Ilustración 62 – Interfaz de plataforma.....	159
Ilustración 63 – Cuenca del Rio Chamelecón	159
Ilustración 64 – Cuadro de información de cuenca	160
Ilustración 65 – Microcuencas en la vista.....	160
Ilustración 66 – Promedio de precipitación anual.....	161
Ilustración 67 – Promedio del balance Anual	161
Ilustración 68 – Precipitación mensual	162
Ilustración 69 – Aporte de agua mensual	162
Ilustración 70 – Tabla y grafico de precipitaciones futuras.....	163
Ilustración 71 – Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema Pluvial)	164
Ilustración 72 – Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema de recolección de agua residual)	166
Ilustración 73 –Evaluación de los componentes de infraestructura (Sistema de recolección de agua residual)	168
Ilustración 74 – Parámetros climáticos (Sistema de recolección de agua residual)	169
Ilustración 75 – Componentes de infraestructura (Sistema de recolección de agua residual).....	169
Ilustración 76 – Pasos Finales (Sistema de recolección de agua residual)	170

Índice de tablas

Tabla 1 - Información hidrológica de la tormenta OT 2018	66
Tabla 2 - Información hidrológica del huracán ETA en el 2020	69
Tabla 3 - Información hidrológica del huracán IOTA en el 2020	71
Tabla 4 - Información hidrológica JULIA 2023	74
Tabla 5 - Información hidrológica TTPILAR 2023	75
Tabla 6 - Tabla de variables de operacionalización	85
Tabla 7 - Tabla de operacionalización de variables	88
Tabla 8 - Tabla de Softwares	91
Tabla 9 - Tabulación de anotaciones vistas en campo	108
Tabla 10 - Parámetros morfológicos para la cuenca del del río Chamelecón	119
Tabla 11 - Historial Meteorológico Eventos Extremos en Honduras 1954 a 2023	126
Tabla 12 - Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión VA 10.11.	128
Tabla 13 - Tabla de Parámetros del Clima	129
Tabla 14 - Tabla Precipitación Acumulada vs Caudal	129
Tabla 15 - Criterios de severidad para valoración del riesgo	137
Tabla 16 - Umbrales de tolerancia al riesgo (R)	139
Tabla 17 - Tabla de Probabilidad	140
Tabla 18 - Matriz de riesgo puente Chamelecón	141
Tabla 19 - Matriz de riesgo Hidrología e Hidráulica	142
Tabla 20 - Matriz de riesgo de Estructura	143
Tabla 21 - Matriz de riesgo Geología y Geotecnia	144
Tabla 22 - Resultado en Tormentas Tropicales	145
Tabla 23 - Resultado en Huracanes	145
Tabla 24 - Resultado en evento de referencia ETA	146
Tabla 25 - Resultado totales	146
Tabla 26 – Resumen de análisis de vulnerabilidad (Tormentas tropicales)	146
Tabla 27 – Resumen de análisis de vulnerabilidad (Huracanes)	147

Tabla 28 – Resultados totales puntaje neto de vulnerabilidad del puente 148

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 - Envolvente de Crecidas 131

Ecuación 2 – Riesgo 138

Índice de anexos

Anexo 1 - Daños en pretiles	175
Anexo 2 - Daños en losas de aproximación	175
Anexo 3 - Daños en losa de rodadura	176
Anexo 4 - Daños en DAP END	177
Anexo 5 - Daños en DAP END	178
Anexo 6 - Daños en DAP END puente de concreto	179

I. INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad climática en Centroamérica ante eventos extremos es cada vez más notoria, dejando daños significativos a la población y también a la infraestructura del país. El aumento de la temperatura, las constantes modificaciones en los patrones de precipitación y el aumento en la frecuencia e intensidad de estas lluvias representan una amenaza seria para la región.

Honduras se encuentra en una situación crítica respecto a huracanes, que se vieron reforzados por los huracanes ETA e IOTA en 2020. En alianza con CCPE y CICH, implementaron el protocolo de ingeniería (PIEVC) en cuatro puentes, en vías de comunicación hondureñas en 2013, mismo protocolo se utilizará para evaluar la vulnerabilidad del puente Chamelecón ubicado en San Pedro Sula posterior a estos huracanes. En este contexto, se hace imprescindible la colaboración de diversos sectores y entidades públicas, privadas, académicas y civiles, para abordar los desafíos del cambio climático.

Este esfuerzo se materializa en el proyecto: "Evaluación de Vulnerabilidad del Puente Chamelecón Posterior a los Fenómenos Climatológicos de ETA e IOTA," el cual representa una aplicación del documento guía previo, en respuesta a la creciente urgencia climática y a los impactos de huracanes ETA e IOTA en 2020. Esta investigación estará basada en la aplicación del protocolo para la ingeniería PIEVC para proporcionar una base de datos confiable a las autoridades responsables del mantenimiento de los puentes en Honduras, para mejorar la flexibilidad y adaptabilidad del puente Chamelecón a los efectos nocivos del cambio climático.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se plantean los antecedentes del problema, dentro de estos se aborda la problemática de la vulnerabilidad de Honduras ante los cambios climáticos y como estos afectan a los puentes. Seguidamente se definirá el problema al que se le busca dar una solución óptima. Posteriormente se realizarán las preguntas de investigación que se contestarán a medida que se avanza en el estudio. Culminando el capítulo con la definición de los objetivos que serán guía para la investigación.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Honduras se encuentra en una situación desesperada al enfrentar eventos climáticos extremos, exacerbados por los huracanes ETA e IOTA en 2020 los daños causados por los huracanes Eta e Iota a su paso por Honduras se estiman en hasta 250 mil millones de lempiras (10 mil millones de dólares) Aproximadamente 860,000 personas perdieron sus empleos debido a estas tormentas y aproximadamente 4 millones de personas se vieron empujadas a la pobreza debido a estos fenómenos climáticos extremos(DPA, 2020).

La trágica escena subraya la urgente necesidad de abordar la vulnerabilidad de Honduras al cambio climático. Según el informe (Eckstein et al., 2018), entre 1992 y 2011, el país tuvo la desgracia de ser uno de los más afectados por condiciones climáticas extremas en el mundo.

Honduras al ser un país de clima tropical se encuentra vulnerable año tras año ante eventos climatológicos extremos como huracanes, depresiones tropicales, entre otros; los cuales son los principales causantes de grandes pérdidas tanto económicas como de infraestructura. Así mismo, no se lleva un inventario de todos los puentes existentes en Honduras, mucho menos un análisis de vulnerabilidad. Por lo que es conveniente implementar el protocolo del PIEVC al puente Chamelecón por haber estado expuesto a los huracanes. Los daños causados por las condiciones climáticas extremas no se limitan a este período, sino que acontecimientos pasados también han tenido un efecto devastador en la vida de las personas y en la economía y la infraestructura de los países.

Según (Beteta & Lennox, 2016) en 2008, la economía hondureña experimentó 11 eventos hidrometeorológicos y climáticos extremos en la década de 1970. Los daños fueron de casi 6 mil millones de dólares, pero la pérdida económica para toda la región centroamericana fue de 13.642 millones de dólares. La magnitud de estas pérdidas afecta no sólo a la economía del país, sino también al crecimiento económico y la capacidad de los países para afrontar los procesos de reparación y reconstrucción.

Por ello (Escobar, 2022) afirma que los puentes son estructuras muy importantes para nuestra sociedad, pero están sujetos a daños y desgaste con el tiempo. Las últimas investigaciones sobre cambio climático muestran que el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de lluvias y la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos representan una seria amenaza para toda Centroamérica, un sector de la región muy vulnerable al cambio climático de estos efectos.

Los huracanes Eta e Iota de 2020 enfatizaron aún más la urgencia de abordar la vulnerabilidad climática. Además, debido a que los factores climáticos son importantes para actividades económicas como la agricultura, el cambio climático aumenta estas vulnerabilidades y afecta cada vez más el desarrollo económico de la región. En este sentido, la cooperación entre el sector público y privado, el sector académico y civil y las instituciones es necesaria para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático. En esta tarea ha participado activamente el Instituto Hondureño de Ingenieros Civiles (CICH). En colaboración con el Consejo Canadiense de Ingenieros (CCPE), Engineers Canada ha estado trabajando para implementar la décima versión del proceso de ingeniería PIEVC para mejorar la resiliencia y adaptabilidad del agua de la infraestructura del suelo para combatir los efectos nocivos del cambio climático. (Engineers Canada & CICH, 2013).

Estos esfuerzos se reflejan en el proyecto Desarrollo de conocimientos y creación de capacidades: evaluación de riesgos climáticos y prácticas de construcción de infraestructura de puentes de carreteras en Honduras, una continuación de un documento de orientación anterior desarrollado en respuesta al creciente desafío climático y a huracanes como ETA e IOTA. Desde que se propuso el documento guía "Proyecto de Vulnerabilidad al Cambio Climático"; En 2013 con Ingenieros Canadá, es importante resaltar que la infraestructura de puentes hondureños se ha deteriorado

gravemente en los últimos 10 años, especialmente después de que eventos climáticos extremos como los huracanes ETA e IOTA en 2020 causaran daños estructurales significativos. (Engineers Canada & CICH, 2013).

En 2013, el Consejo Canadiense de Ingenieros (CCPE) y el Gobierno de Canadá lanzaron conjuntamente este proyecto de colaboración a través de Environment Canada. El programa se centra en la creación de conocimiento y la educación, centrándose en cuatro puentes de infraestructura vial en Honduras. Los puentes se eligieron porque estas estructuras son particularmente vulnerables a condiciones climáticas extremas, que han causado grandes daños en el pasado. El programa está financiado por Environment Canada y se desarrolló desde enero de 2012 hasta marzo de 2013. El informe final se desarrolló como un documento de insumo para brindar información importante a las autoridades, en particular al Ministerio de Asuntos Públicos, Transporte y Vivienda (SOPTRAVI). El informe ofrece una visión general del alcance de los riesgos de los fenómenos climáticos. (Engineers Canada & CICH, 2013)

En el 2020 hubo dos eventos climatológicos extremos en Honduras, los huracanes ETA e IOTA, El primer impacto fue causado por el huracán Eta, clasificado como categoría 4 con vientos de 240 km/h, que tocó tierra en Nicaragua el 4 de noviembre y posteriormente se desplazó por Honduras y el noreste de Guatemala. Posteriormente, llegó Iota, catalogado como el huracán más potente de la temporada al alcanzar la categoría 5 con velocidades de hasta 260 km/h. Iota golpeó nuevamente los mismos tres países, cuando apenas comenzaban a recuperarse del impacto de Eta. (BBC News, 2020)

El puente Chamelecón es muy vulnerable ante los eventos climatológicos extremos y es necesario aplicar el Protocolo para la ingeniería PIEVC, dado que el caudal máximo que el río es capaz de contener es de 1000 a 1500 m³/s, luego de esto se comienza a desbordar, pero en el huracán ETA cayeron 6236 m³/s de agua y durante IOTA cayeron 5803 m³/s, lo que fue en primera instancia aproximadamente seis veces más de su capacidad, el puente se vio sometido a un empuje muy significativo durante el 2020.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En determinación a los acontecimientos conocidos y relacionados al tema de investigación, se procederá a definir el problema en la investigación. En dicha definición del problema, esta se separa en dos partes: el enunciado del problema y formulación del problema. Estos nos facilitaran la información para realizar las preguntas de la investigación.

2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

“El puente Chamelecón se vio afectado por los huracanes ETA e IOTA recibiendo caudales que superaban en más de tres veces su capacidad hidráulica, al no haber un análisis de vulnerabilidad, se desconoce la condición actual del mismo.”

2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo ha cambiado la infraestructura del puente Chamelecón, ante la vulnerabilidad climática de Honduras, según el protocolo del PIEVC, considerando los impactos de los huracanes ETA e IOTA en 2020?

2.3. JUSTIFICACIÓN

Es necesaria la aplicación del protocolo PIEVC para analizar la vulnerabilidad de las infraestructuras públicas al cambio climático, este protocolo se ha convertido en una parte importante de la planificación y gestión de infraestructuras. La metodología consta de cinco pasos detallados, crea una base sólida para evaluar y comprender la vulnerabilidad de la infraestructura a eventos climáticos extremos y su interacción con el medio ambiente. Estos pasos proporcionan un marco sólido para el análisis de componentes y la identificación de peligros ambientales, lo que a su vez facilita el cálculo de riesgos y el desarrollo de medidas adaptativas para proteger la integridad de las infraestructuras.

La importancia de este estudio quedó demostrada aún más por la experiencia en 2013, el CCPE, en colaboración con el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH), aplicó la versión 10 del Protocolo de Ingeniería PIEVC para abordar los desafíos del cambio climático. Sin embargo, este informe ha sido olvidado pasados 10 años y con eventos climáticos recientes como Eta e Iota han

generado serias preocupaciones sobre la vulnerabilidad del Puente Chamelecón Ubicado en San Pedro Sula.

Los fenómenos Eta e Iota dejaron a su paso estragos significativos en Honduras, especialmente en el Valle de Sula, donde las corrientes fluviales, impulsadas por las intensas lluvias de estas tormentas, causaron crecidas y contribuyeron a numerosos daños. El Río Chamelecón, en particular, fue una de las corrientes responsables de causar considerables daños, especialmente en la ciudad de La Lima.

Está claro que es urgente evaluar y supervisar la vulnerabilidad de las infraestructuras, especialmente los puentes, en relación con los efectos del cambio climático. El propósito de este estudio es proporcionar una base de datos confiable para las autoridades responsables del mantenimiento de puentes en Honduras. Esto permite una comprensión más completa y actualizada de la vulnerabilidad de la infraestructura, especialmente del Puente Chamelecón, a los efectos nocivos del cambio climático.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para informar a las instituciones relevantes para que tomen decisiones informadas. El monitoreo de la vulnerabilidad de los puentes tiene como objetivo alentar a tomar medidas proactivas para garantizar la seguridad de los ocupantes y prevenir posibles fallas futuras. Esto evita un aumento de los costes de reparación y daños al entorno económico y a la industria. Esta investigación tiene como objetivo no solo llenar vacíos de conocimiento, sino también promover la resiliencia del puente, lo cual es esencial en un mundo donde el cambio climático es una realidad cada vez más apremiante.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia para eventos como Huracanes y Tormentas Tropicales asociada a la vulnerabilidad del Puente Chamelecón?
2. ¿Cuál fue el comportamiento del caudal según la precipitación acumulada en 6 días del Río Chamelecón con los fenómenos Eta e Iota con respecto al Puente Chamelecón?
3. ¿Cuál es la cantidad de caudal necesario para provocar crecidas que entren en contacto con la superestructura?
4. ¿Cuál de los 23 parámetros dentro de las 3 categorías (Hidrológica, Estructural y Geológica) presentan un riesgo moderado o severo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC?
5. ¿Cuál es la puntuación y categoría de riesgo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC en la que se posiciona el Puente Chamelecón ante la evaluación de eventos climatológicos como Huracanes y Tormentas Tropicales?

2.5. OBJETIVO

En todo estudio de investigación es de suma importancia conocer las metas que uno quiere alcanzar, por ellos, se establecen el objetivo general que es el propósito primordial que desea cumplir la investigación, una vez teniéndolos, se definen los objetivos específicos que responderán las preguntas del estudio planteados.

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la vulnerabilidad del puente Chamelecón – Cortés, mediante el protocolo PIEVC, para brindar una base de datos confiables para mejorar la resiliencia y adaptabilidad de la infraestructura a los efectos adversos de los huracanes ETA e IOTA.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener la probabilidad de ocurrencia para eventos como Huracanes y Tormentas Tropicales asociada a la vulnerabilidad del Puente Chamelecón
2. Brindar cual fue el comportamiento del caudal según la precipitación acumulada en 6 días del Río Chamelecón con los fenómenos Eta e Iota con respecto al Puente Chamelecón.

3. Modelar mediante el uso de HEC-RAS el caudal necesario para provocar crecidas que entren en contacto con la superestructura
4. Identificar cuáles de los 23 parámetros dentro de las 3 categorías (Hidrológica, Estructural y Geológica) presentan un riesgo moderado o severo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC
5. Puntuar y categorizar la vulnerabilidad según la escala del umbral de tolerancia PIEVC en la que se posiciona el Puente Chamelecón ante el análisis de eventos climatológicos como Huracanes y Tormentas Tropicales.

III. MARCO TEÓRICO

Después de proporcionar información general sobre el problema de investigación y el precedente para ayudar a definir y articular el propósito del proyecto, este capítulo presenta y desarrolla el marco teórico que conduce al desarrollo de conceptos, procedimientos y teorías existentes. Estos incluyen los fundamentos de la investigación de los respectivos autores, las teorías subyacentes en las que nos basamos y una lista y definiciones de los términos utilizados. Finalmente, se presenta el marco legal de los distintos aspectos de la investigación.

3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente apartado se realiza el análisis de la situación actual la que contiene información teórica basadas en estudios relativos con semejanza a nuestro proyecto de Evaluación de vulnerabilidad del puente Chamelecón posterior a los fenómenos climatológicos del ETA e IOTA. El marco informativo está dividido en tres partes: Análisis del macroentorno, que se compone de estudios referentes extranjeros principalmente canadienses con similitud a la investigación a realizar. Análisis del microentorno, son estudios relacionados al tema de estudio dentro del país y por último el análisis interno, que son proyectos destacados en la misma área de estudio del tema planteado.

3.1.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

A continuación, se presentan el análisis de macroentorno el cual está basado en investigaciones internacionales referentes al comportamiento de las estructuras, principalmente de puentes posteriores a un evento climático y también sobre las medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático.

3.1.1.1. MANUAL PARA LA EVALUACIÓN DE DESASTRES SANTIAGO DE CHILE

La presente investigación se realizó en Santiago de Chile, por La CEPAL, titulado “Manual para la evaluación de desastres” Este estudio se elaboró en el marco del Programa de la Cuenta del

Desarrollo de las Naciones Unidas y fue posible gracias a la colaboración y financiamiento de las siguientes organizaciones: Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, teniendo como autores a Laura Ortiz (cap. I); Omar D. Bello (caps. II, IV, XI, XIII, XIV y XVI); Liudmila Ortega (caps. III, VIII, X y XVII); Celso Bambaren y Ciro Ugarte y (caps. V y VI); Sandra G. Fraga (cap. VI); Raquel Szalachman (cap. VII); Magda Buitriago (cap. IX); Luis López C. (caps. XII y XVIII), y Guillermo Zúñiga (cap. XV).(Ortiz et al., 2014).

La vulnerabilidad a los desastres son las características y condiciones de una comunidad o sistema que lo hacen susceptible a los efectos adversos de un peligro natural. Como parte de la vulnerabilidad, generalmente se hace una distinción entre procesos externos potencialmente peligrosos, como factores de exposición climáticos y geográficos a peligros naturales, y factores de exposición a daños económicos, sociales, institucionales y ambientales internos, incluidos los déficits en la capacidad de respuesta y la resiliencia. .(Ortiz et al., 2014)

El cambio climático, impulsado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), está provocando importantes cambios climáticos. Por ejemplo, la temperatura media global aumentó 0,85°C en comparación con el período 1880-2012 (de 0,65°C a 1,06°C). (CEPAL, 2014).

- **Generalidades**

Estos cambios climáticos se observan en América Latina y el Caribe. En otras palabras, por ejemplo, hay evidencia de una tendencia de aumento de la temperatura de 0,1 °C por década desde la década de 1960, con una proyección de 1 °C para 2100 en comparación con el período 1986-2005 en el escenario de emisiones más optimista. Del mismo modo, los escenarios intermedios muestran un aumento de temperatura de más de 2 °C para finales de siglo según la misma referencia. Los patrones de precipitaciones en la región han cambiado. Para Centroamérica, los cambios proyectados en las precipitaciones se sitúan entre -22% y 7% hacia finales del siglo XXI. En la subregión de América del Sur las proyecciones son heterogéneas, con una disminución de alrededor del 22% en el noreste de Brasil a finales del siglo XXI; pero en el sureste de América del Sur, las precipitaciones aumentan aproximadamente un 25%. En general, la región se ve afectada por diversos fenómenos climáticos como El Niño, que seguramente seguirá siendo la variabilidad

anual dominante en el Pacífico tropical, y con el actual aumento de la humedad, es probable que aumenten las precipitaciones. variabilidad asociada a este fenómeno. (CEPAL, 2014).

Según (F. COPECO, 2022) Las temperaturas de la superficie terrestre y oceánica de la Tierra fueron de 14,7 °C en 2021, lo que lo convierte en el sexto año más cálido registrado, a pesar de que La Niña enfrió las aguas del Pacífico y bajó las temperaturas. En 2021, la Tierra estaba aproximadamente 1,1°C más caliente que el promedio al comienzo de la Revolución Industrial.

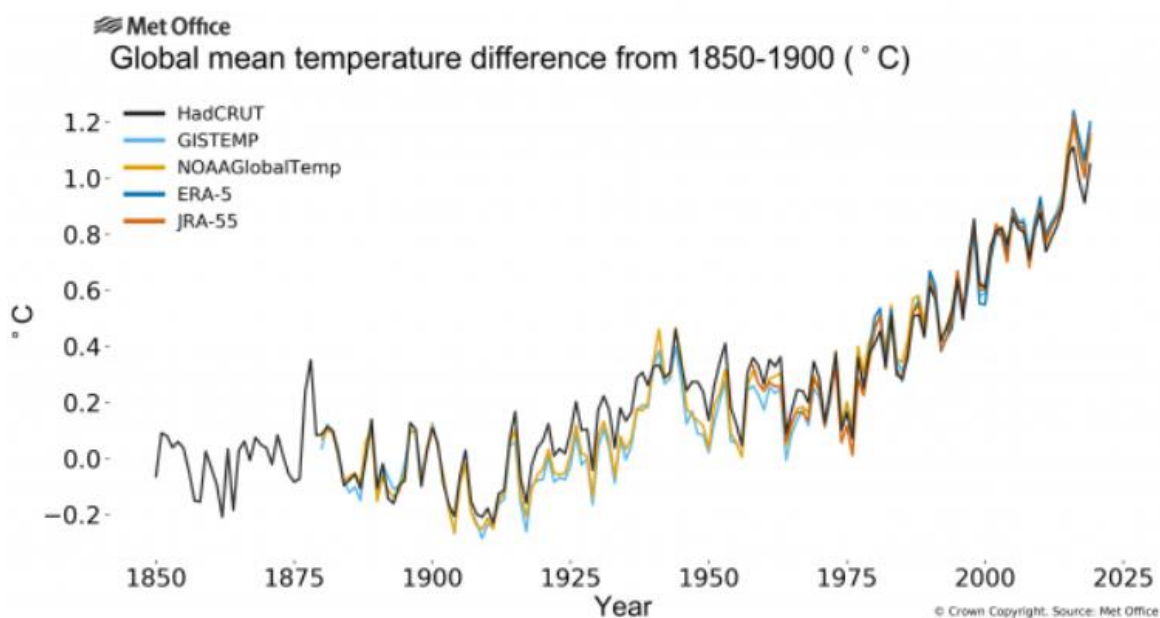


Ilustración 1 - Diferencia de temperatura global

Fuente: (F. COPECO, 2022)

La ilustración 1 representa las temperaturas de la superficie terrestre y oceánica de la Tierra comprendida desde los años 1850 – 2022 destacando que en el 2021 la temperatura fue de 14,7 °C, lo que lo convierte en el sexto año más cálido registrado.

- **Metodología**

La metodología de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), publicada por primera vez en 1991, brinda una oportunidad para avanzar en la evaluación del impacto económico de los desastres naturales para apoyar los procesos de reconstrucción y mitigación.

riesgo Esta contribución comenzó con una evaluación de los efectos del terremoto de Managua en 1972 y ahora cuenta con más de 90 informes de 28 países de la región². Además de proporcionar estimaciones financieras de pérdidas y daños específicos de la industria y posibles efectos macroeconómicos, los estudios realizados tienen en cuenta los diversos escenarios de impacto que normalmente ocurren como resultado de un desastre. Algunos aspectos importantes que diferencian la escala de los desastres inmediatos y de corto plazo son: el alcance económico, regional y demográfico del impacto, el valor del capital expuesto a pérdidas, el desarrollo institucional de los países y el tamaño y la resiliencia del desastre economías afectadas.(Ortiz et al., 2014).

La evaluación de los daños debe corresponder al coste de las obras esenciales para restaurar la infraestructura viaria al mismo estado en que se encontraba antes del siniestro. La evaluación de daños incluye tanto los trabajos de renovación necesarios para restaurar el servicio (acceso, controlabilidad) como los trabajos de reemplazo de infraestructura para restaurar la condición anterior al desastre. Al mismo tiempo, la renovación deberá incluir obras nuevas clasificadas como obras de reparación, que deberán realizarse para reparar o ampliar la vía dañada..(Ortiz et al., 2014).

a) Levantamiento de la información previa al desastre

Es importante recopilar la siguiente información institucional y estadística cuando comience la estimación.

- Verifique que la información sea responsable de cada información, incluida cada información.
- Esquema simple del contexto y el contexto regional en las regiones afectadas por el estado o el contexto de la región;
- La infraestructura de la carretera nacional, el número de eventos y el número de países se llevan a cabo. En particular, es útil determinar las áreas geográficas influenciadas o las características del terreno de la región y el país.
- Evaluar las posibles áreas alternativas que reflejan la ubicación de la región y el enlace local;
- Descripción de carreteras y funciones;

- Información sobre carreteras generales y carreteras principales e información y costos críticos de uso de vehículos.

Con carácter general, la gestión viaria abarca las siguientes situaciones:

- Carreteras de importancia republicana: bajo responsabilidad del gobierno central, sean concesionales o no.
- Departamento: Akimat, responsable de concesiones y no concesiones; Gobierno local: responsable de los gobiernos locales.
- Estas habilidades deben adaptarse a la distribución geográfica de cada país. Como tabla de ejemplo. (Ortiz et al., 2014).

b) Levantamiento de la información de daños a la vialidad

Como primer paso, se debería organizar una reunión con los administradores de la infraestructura afectada y las fuerzas del orden locales para obtener información sobre las características, condiciones y niveles de exposición registrados en la carretera. (Ortiz et al., 2014).

Las evaluaciones de daños realizadas por las autoridades nacionales o locales pueden ser incompletas o poco fiables y siempre deben evaluarse cuidadosamente. Las razones anteriores son las siguientes:

- Debido a la inaccesibilidad de algunos tramos de la red viaria, no fue posible evaluar los tramos superiores a los que quedaron intransitables tras el accidente.
- Las autoridades locales o nacionales han sobreestimado el valor de los daños para conseguir más dinero para la restauración.
- Parte del daño se debió al retraso en el mantenimiento antes del accidente.
- Las estimaciones pueden no incluir el costo total de reconstrucción. Esto se debe, por ejemplo, a que no tiene en cuenta la mano de obra fabril incluida en el presupuesto de la organización en cuestión.

- En algunos casos, las autoridades nacionales consultadas no toman en cuenta los daños causados a la infraestructura o a los administradores privados en las jurisdicciones locales.(Ortiz et al., 2014)

A partir de esta información se deberá realizar un estudio encargado y priorizado (y posiblemente una inspección visual) de los daños causados y su impacto en la accesibilidad y los servicios, así como de las posibles reparaciones o ampliaciones permitidas por el Plan o considerar emprender trabajos de reconstrucción.

Debe hacer esto con cada agencia responsable de su camino, las autoridades competentes deben participar en la preparación de este informe. Se pueden utilizar dos formularios, uno para puentes y otro para otros tramos de carretera, que se pueden descargar desde el sitio web mencionado en esta guía facilitan la identificación y registro de factores influyentes. (Ortiz et al., 2014)

La información general sobre estos formularios es la siguiente:

- Concesión: Se deberá especificar que el camino sobre el que se ubica el puente o paso pertenece a la concesión.
- Departamento: El departamento administrativo donde se ubica la infraestructura correspondiente.
- Municipio: Si la infraestructura se ubica dentro de los límites de un municipio, se deberá indicar el municipio aledaño a la infraestructura.
- Nombre de la vía: El nombre de la vía en la que ocurrió el incidente se indica según la forma en que esté inscrita en el listado de carreteras nacionales. Muestra de dónde viene el nombre y adónde va el apellido.
- Funcionalidad: Determinar la clasificación funcional de la vía a construir. Puede ser primario, secundario o terciario, según las siguientes definiciones:
 - Mayor (P): Vía principal, vía llana o vía de acceso que conduce a la capital del departamento; Cumple la función principal de unir las principales zonas de población, producción y consumo del país y conectarlas con los países vecinos.

- Segundo (S): Conectado a la capital del gobierno local o proveniente de la capital del gobierno local y entrando a la vía principal y
- Terciario (T): conecta ubicaciones de ciudades con carreteras o conecta carreteras entre sí. (Ortiz et al., 2014)

C) Información de puentes y viaductos

Se consideran las siguientes opiniones para eliminar la información de los puentes y las ventas debido a inspecciones visuales.

- Los nombres de las piernas o colas del pony: si corresponde al nombre del pie o el video, se ve afectado por una carretera, tuberías, tuberías o daños, pies o afectados;
- Ubicación: Abscis (km) debe mostrarse cuando se permite o se permite un nombre de carretera de emergencia como punto de origen.
- luz (m): la longitud de la pared de un medidor lineal;
- Tipo de pierna: en el caso de un automóvil (v) o peatón (p)
- Tipo estructural: corriente (c) o metal (m) o metal (m) de la estructura (m).
- Tipo de Orrmation: de acuerdo con los siguientes indicadores, debe especificar las características del evento.
 - Los daños de fondo (c) generalmente contactan con suficientes medidas de suministro de agua que afectan o afectan la base.
 - Muro o daño final (MA): eliminación de todo o parcial debido al daño o debilitamiento de la base o estructura;
 - Infraestructura (i) Daño: eliminación de todo o parcial debido a la interrupción total o parcial o el flujo parcial de la sección transversal debido al debilitamiento de la estructura de soporte del puente;
 - Slump general (CT): pérdida general de rescate.

Para obtener el costo de reemplazo esperado, se debe pagar cada uno requerido, que se usa en el área de colisión. El Cuadro IX.3 muestra los costos proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Viales (INVIAS) para el caso colombiano..(Ortiz et al., 2014).

Costos indicativos relacionados con puentes y viaductos
(En dólares)

Tipo de puente o viaducto	Unidad	Valor
Construcción de vigas preesforzadas		
Recomendado para luces inferiores a 40 m	m	13 807
Construcción en voladizos sucesivos	m	30 550

Ilustración 2 - Costos indicativos relacionados con puentes y viaductos

Fuente: (Ortiz et al., 2014).

En la ilustración 2 se presentan los costos en dólares indicativos relacionados con puentes y viaductos por cada metro.

d) Información de los demás elementos de la vía

Para eliminar la información de otros elementos de la pieza, se recomienda utilizar la información y las orientaciones relacionadas para inspeccionar y recopilar los valores físicos de la información obtenida, los valores físicos de cada efecto.

- deslizamientos de tierra, deslizamientos de tierra, flujos de lodos (D): todas las influencias debido a la inclinación, todas las influencias debido a la reducción o separación de la unidad de placas de montaña.
- Banco, Buceo (Pb): el efecto ocurre antes cuando el efecto es bajo y causa la pérdida de bancos y sumideros. También puedes confiar en la pendiente.
- Efecto en las obras de drenaje (OD): anillo de corona: la inflamación de la foto profesional o leve o la escala de agua;
- trabajos incompetentes o de estabilización o estabilización (OCE): superficies simples o inferiores o superficies superiores e inferiores de tareas, pérdidas o pérdidas integrales, concreto o iris simple o mejorado; Participación en el tráfico (t): pérdida o pérdida o pérdida de un límite más alto o pendiente menor o menor licencia o pérdida de licencia o una pérdida de licencia;

- La impresión de los tipos estructurales de túneles: piso, paredes y ático, fracción, colapso y fugas, piezas o cierre general y
- El amor del túnel electrónico del automóvil (TEE): daños debido a todos los equipos, como la destrucción del centro de control que evita el funcionamiento normal de la combustión, los cortes de corriente o el túnel.

Para obtener un costo estimado de recuperación se debe pagar cada tipo de daño, teniendo en cuenta los precios aplicables a la zona del desastre. Para Colombia, el Cuadro presenta los gastos de capital nacionales indicativos del país, proporcionados según el estándar INVIAS110. Los expertos en transporte deben garantizar que los precios nacionales coincidan con los de las zonas afectadas por desastres y hacer los ajustes necesarios a la estimación.(Ortiz et al., 2014)

Costos indicativos relacionados con obras de mitigación
(En dólares)

Tipo de obra	Unidad	Costo
Remoción y transporte de derrumbes a 1 km	m ³	4
Reconformación de la banca	m ²	0,31
Colocación de afirmado	m ³	50
Estructura de pavimento	m ³	561
Construcción de cunetas	m ³	255
Construcción de alcantarilla de 36 pulgadas	m	278
Construcción de alcantarilla de cajón	m ³	299
Muro en gaviones H = 2 m	m	300
Muro en gaviones H = 2 m	m	985
Muro en concreto reforzado en pilotes H = 2 m	m	2,1
Muro en concreto reforzado en pilotes H = 2 m	m	3,6
Muro en concreto reforzado en zapata H = 2 m	m	480
Muro en concreto reforzado en zapata H = 2 m	m	1,35

Ilustración 3 - Costos indicativos relacionados con obras de mitigación

Fuente: (Ortiz et al., 2014)

En la ilustración 3 se presentan los costos en dólares indicativos relacionados con obras de mitigación.

e) Consolidación de la información

La información recopilada, sistematizada y analizada puede integrarse en todas las direcciones responsables de la gestión de la infraestructura vial: el sector público (municipios, departamentos y autoridades estatales) y el sector privado responsable de la gestión de las rutas de autorización. Para ello, esta reunión será una herramienta clave en la planificación de las fases de reposición y reconstrucción. Se proporciona un formulario consolidado que se puede descargar desde el sitio web de este manual. Los grupos de daños totales deben informarse de manera exhaustiva por sección, número de secciones, ubicaciones críticas, longitud de la carretera, número de puentes y cruces dañados y clasificación. (Ortiz et al., 2014).

- **Conclusiones Relevantes**

Existe consenso en que las inundaciones son los desastres naturales más destructivos y causan el mayor número de muertes, las medidas más comúnmente utilizadas para mitigar el impacto de las inundaciones pueden denominarse: evaluar el nivel de riesgo mediante la creación de un mapa de riesgo basado en información hidrológica básica y otros registros completos; regular y controlar el uso de las llanuras aluviales de acuerdo con el principio de identificar la tierra relevante como un área de conservación ecológica; construcción de estructuras para controlar o minimizar inundaciones de cursos de agua sin alterar el funcionamiento normal del ecosistema; planificar y promover la construcción de otras estructuras físicas de protección contra inundaciones, instalar juegos en cuerpos de agua acumulados y crear programas enfocados a la previsión de inundaciones para evitar el continuo deterioro de puentes u obras viales en el país, también debería considerarse la posibilidad de introducir un sistema de alerta temprana para los residentes en riesgo de sufrir nuevas inundaciones (Ortiz et al., 2014).

3.1.1.2. EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA INFRAESTRUCTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, COSTA RICA

La presente investigación se realizó en Costa Rica, titulado "Evaluación e Riesgo De La Infraestructura Ante El Cambio Climático" Este estudio se elaboró en el marco del Programa de la Cuenta del Desarrollo de las Naciones Unidas y fue posible gracias a la colaboración y financiamiento de las siguientes organizaciones (CONAVI, 2020).

- **Generalidades**

De acuerdo con (CONAVI, 2020) el protocolo del PIEVC consiste en un proceso sistemático de examen de datos climáticos históricos para explicar su naturaleza y proyectarlos mediante la creación de escenarios futuros. De esta forma se determina tanto la probabilidad de que se produzcan estos fenómenos climáticos en el futuro como la gravedad de los efectos de estos eventos sobre la infraestructura analizada.

La elección de la infraestructura para implementar el protocolo PIEVC se realizó en consulta con diversas organizaciones estatales y civiles, primero, para determinar el tipo de infraestructura a considerar, se realizó un análisis multicriterio que condujo a la selección de la infraestructura del puente, para seleccionar un caso de estudio, se pidió a un grupo de expertos en el diseño y construcción de este tipo de infraestructuras que presentaran una propuesta de un puente específico a través de un estudio semiestructurado, sobre la base del análisis de los datos recopilados, se preparó una lista de 11 puentes propuestos, después del estudio, el grupo de trabajo realizó una evaluación específica para cada puente propuesto, se utilizó una matriz de criterios que cubren tres áreas de análisis: la disponibilidad de datos climáticos, las características del edificio y finalmente los criterios que ayudan a determinar el valor geográfico estratégico clave y el valor socioeconómico del proyecto. (CONAVI, 2020)

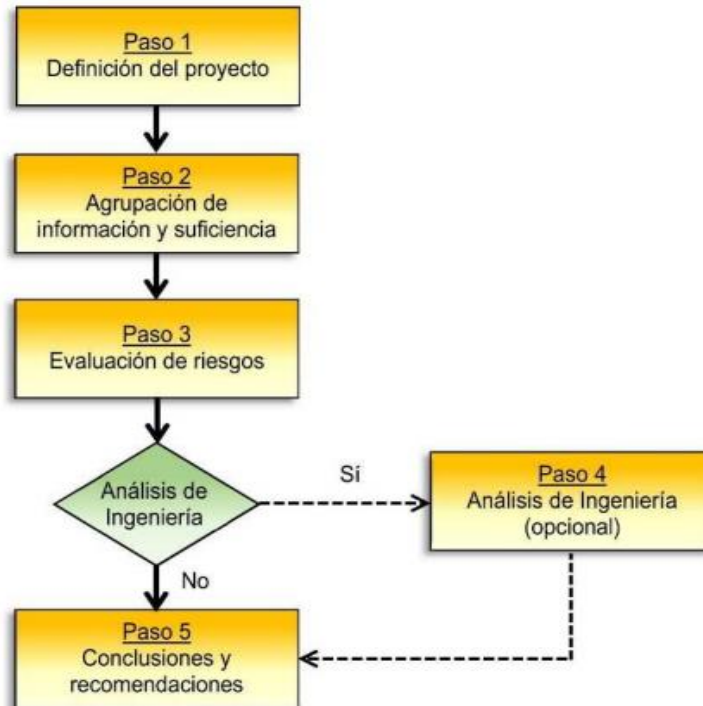


Ilustración 4 - Procedimiento por pasos según el protocolo PIEVC.

Fuente: (CONAVI, 2020).

En la ilustración 4 se presentan los pasos según el protocolo del PIEVC, donde se muestra que uno de los pasos es de carácter opcional el cual es el análisis de ingeniería, debido a muchos factores, en algunos casos, la naturaleza de la infraestructura y la magnitud del proyecto pueden no requerir un análisis de ingeniería detallado. Otra razón es la escasa disponibilidad de datos detallados sobre los componentes de la infraestructura y su respuesta a eventos climáticos extremos dado que también puede influir en la decisión de realizar o no un análisis de ingeniería. También el enfoque del protocolo puede ser más conceptual o de alto nivel, centrándose en la evaluación general de la vulnerabilidad y el riesgo, sin entrar en detalles específicos de ingeniería.

✓ **Objetivos**

- Determinar el estado actual del puente como consecuencia de eventos hidrometeorológicos.
- Creación de una línea base de información climática histórica y futura para el análisis de riesgo del puente y entorno circundante por eventos hidrometeorológicos.

- Realizar un análisis de riesgos comparando escenarios climáticos actuales (datos históricos) con escenarios climáticos futuros (proyecciones de cambio de clima).
- Proporcionar a los tomadores de decisiones con base en los criterios técnicos para la futura operación y mantenimiento del puente.
- Estimular el conocimiento de los expertos en la toma de decisiones y promover la creación y fortalecimiento de capacidades técnicas para el desarrollo de infraestructura de puentes.(CONAVI, 2020)

✓ **Metodología**

Desde un punto de vista metodológico, la siguiente lista cubre algunas de las principales tareas requeridas en el contexto de la evaluación de riesgos.

- Separar los diferentes componentes del puente para analizar en detalle cómo afecta cada fenómeno climático al puente.
- Identificar eventos climáticos que hayan afectado o puedan afectar partes de la estructura del puente y sus inmediaciones.
- Recopilación y análisis de información relevante sobre los parámetros climáticos que afectan al área geográfica afectada por el puente investigado.
- Al recopilar información sobre interrupciones operativas debido a eventos climáticos específicos, se pueden identificar los componentes vulnerables de la estructura que son relevantes para la operación general del sistema. d) Con base en la experiencia acumulada, establecer límites de resistencia a los efectos de los fenómenos climáticos en los puentes.
- Determinación del grado de severidad de la influencia de los parámetros climáticos en la estructura de las partes estructurales, operativas y funcionales del puente.
- Establecer interacciones entre bloques de construcción e identificar eventos climáticos extremos y tendencias climáticas futuras. h) Realizar una evaluación de riesgos teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de fenómenos climáticos y la severidad de su impacto sobre la estructura y el medio ambiente.

- Realizar una evaluación de la vulnerabilidad del edificio y el entorno circundante basándose en las hipótesis y la información recopilada y analizada durante la implementación.
- Proporcionar recomendaciones de ingeniería, supervisión de obra y/o gestión y soporte técnico.
- Elaborar una descripción de la vulnerabilidad o resiliencia de la estructura y el entorno.(CONAVI, 2020)

Sección	Elementos por considerar
Accesos	<ul style="list-style-type: none"> o Calzada de acceso. o Rellenos de aproximación: márgenes izquierda y derecha.
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> o Pavimentos. o Drenajes. o Baranda de acero: márgenes izquierda y derecha. o Juntas: márgenes izquierda y derecha
Subestructura	<ul style="list-style-type: none"> o Bastiones: márgenes izquierda y derecha. o Fundaciones: márgenes izquierda y derecha. o Apoyos: márgenes izquierda y derecha
Superestructura	<ul style="list-style-type: none"> o Cerchas principales. o Sistema de arriostamiento. o Vigas transversales. o Losa de rodamiento
Otros componentes	<ul style="list-style-type: none"> o Estructura de puente paralelo -viejo-. o Infraestructura paralela de agua potable. o Arrastre

Ilustración 5 - Detalle de elementos según cada sección del puente Tempisque

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 5 se presentan los detalles de elementos según cada sección del puente Tempisque desde los accesorios, subestructura, superestructura hasta los componentes menores como ser estructuras de puentes paralelos.

Paso 1: Definición del proyecto

A nivel global se han identificado los siguientes factores:

- Infraestructura evaluada
- Solicitud
- Consideraciones climáticas
- Consideraciones geográficas
- Uso de la infraestructura

El grupo de trabajo involucró a expertos institucionales en la primera fase del protocolo.

Ejemplos: IMN, CONAVI, Instituto Nacional de Modelado de Materiales y Estructurales. Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); CFIA, MOPT, Municipio de San José y GIZ. (CONAVI, 2020)

Paso 2: Recopilación y análisis de los datos

Después de definir las principales características del proyecto, continuamos recopilando los datos necesarios y los análisis correspondientes, tareas que caen en la llamada fase 2. En esta etapa se realiza una definición más precisa de infraestructura y clima especial. tendencias consideradas en el análisis de riesgos.

Desde el punto de vista de la recopilación de datos, es importante definir roles y responsabilidades en el paso 1. En la primera etapa, las personas u organizaciones que indicaron que tenían información específica la proporcionaron al equipo para su evaluación y análisis. El criterio profesional del equipo determinó entonces que la información disponible era suficiente. Para determinar la falta de información es necesario analizar si existen los siguientes tres factores.

- Información de baja calidad;

- Alto nivel de incertidumbre o
- Falta de datos o información.

Es importante señalar que se pueden implementar actividades para complementar los datos faltantes durante los ejercicios o para compensar los datos de baja calidad mediante la evaluación. (CONAVI, 2020)

→ **Cuenca tributaria**

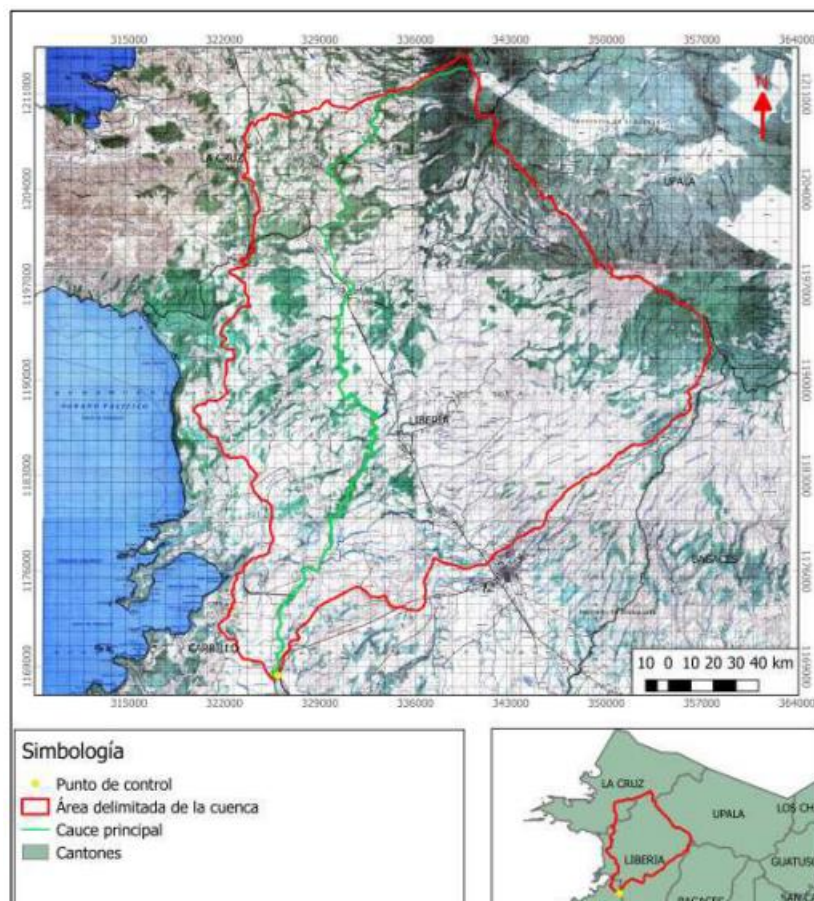


Ilustración 6 - Mapa con delimitación de la cuenca alta del río Tempisque

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 6 se presenta el mapa que delimita el área de la cuenca tributaria del río Tempisque al tomar como punto de cierre la ubicación del puente, dato que es necesario conocer para el análisis hidrológico del río.

→ **Topografía y relieve.**

Observando la topografía y la topografía, en la Figura se observa que la zona más alta se ubica en el noreste, coincidiendo con la Cordillera Volcánica de Guanacaste, y la elevación más alta es de 1,890 m, la elevación más baja se ubica en el suroeste, donde se encuentra el puente de estudio. punto más bajo de la cuenca de estudio a 17 m sobre el nivel del mar. (CONAVI, 2020)

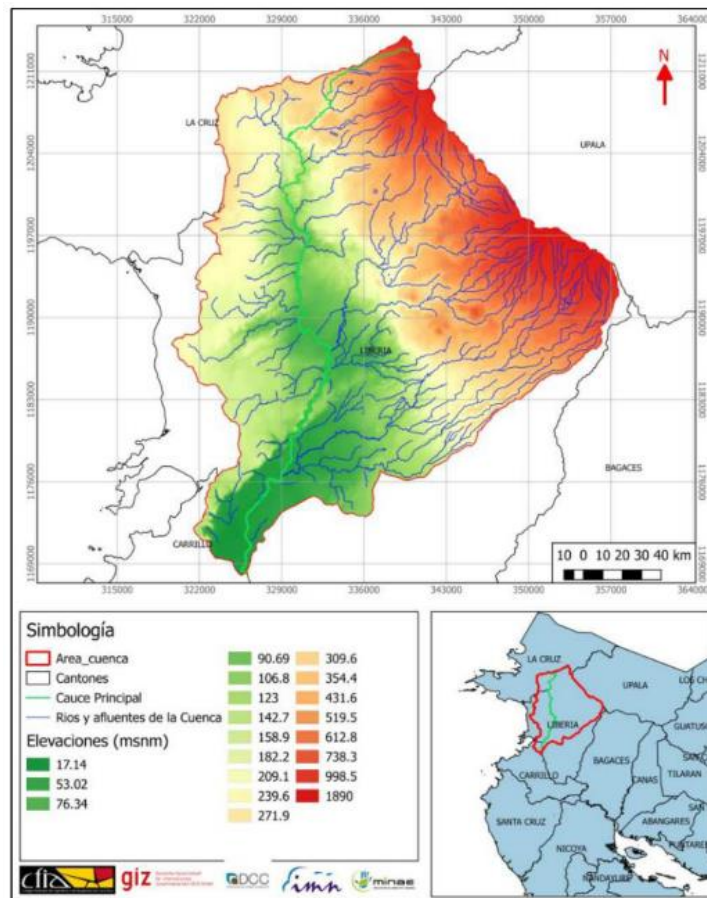


Ilustración 7 - Distribución de elevaciones para la cuenca alta del río Tempisque

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 7 se muestra el relieve o la distribución de las diferentes elevaciones de la cuenca del río Tempisque necesario para determinar los parámetros de elevación para la cuenca alta del río.

Con base en la distribución de frecuencia de elevación, la Figura muestra la curva hipsométrica de la cuenca estudiada. Su forma sugiere que tiene fuertes pendientes en la parte superior y amplios valles en la parte media y baja. Esto se desprende de la concentración de puntos con diferencias muy pequeñas en el área acumulada desde aproximadamente 600 m hasta 1890 m sobre el nivel del mar, mientras que a partir de los 600 m sobre el nivel del mar la diferencia porcentual en el área acumulada entre una altura y una altura es mayor. en segundo lugar. (CONAVI, 2020)

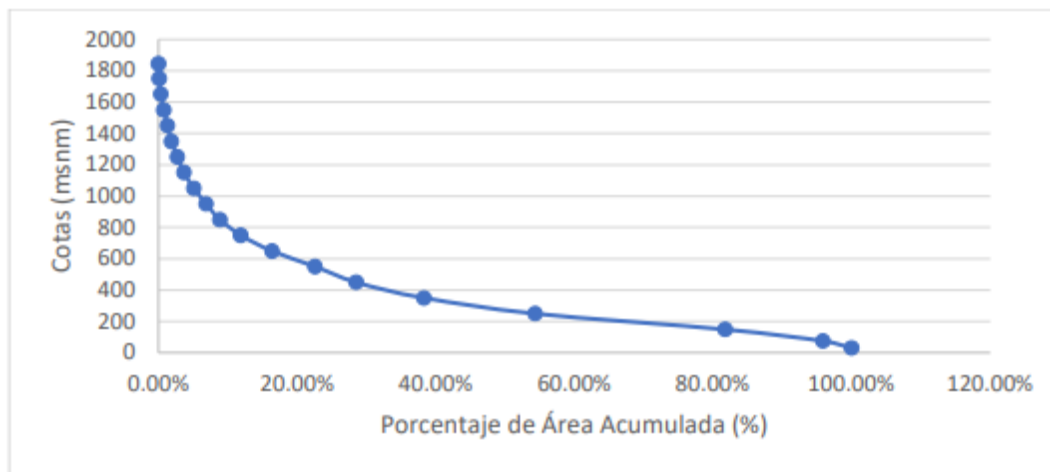


Ilustración 8 - Curva hipsométrica para la cuenca alta del río Tempisque.

Fuente: (CONAVI, 2020)

La ilustración 8 muestra la curva hipsométrica de la cuenca estudiada. Su forma sugiere que tiene fuertes pendientes en la parte superior y amplios valles en la parte media y baja.

Tipos y usos de suelo.

Si observa la descripción del suelo, verá que el suelo está compuesto de Entisoles e Inceptisoles. Estos materiales son naturalmente de grano fino, varían en composición y son naturalmente sedimentarios como resultado del transporte y deposición por inundaciones locales, (CONAVI, 2020)

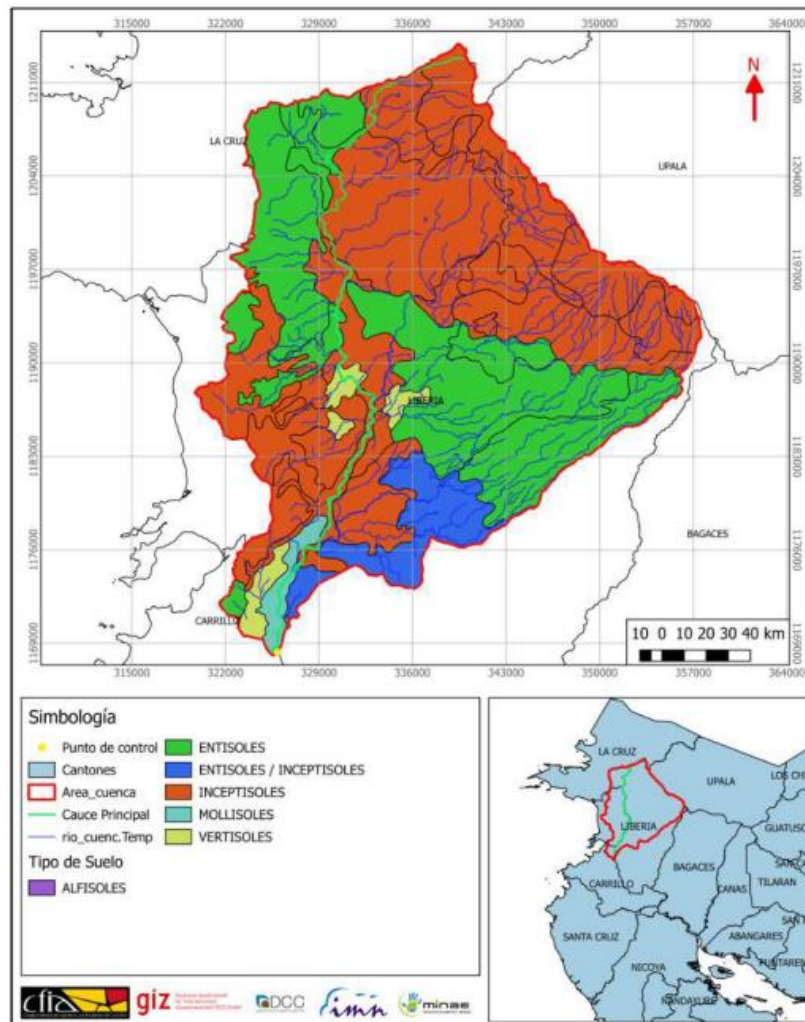


Ilustración 9 - Tipos de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.

Fuente: (CONAVI, 2020)

La ilustración 9 muestra la distribución geográfica de los tipos de suelo. Estos aspectos se distinguen por el impacto de los sedimentos a lo largo del canal y el impacto potencial de los sedimentos aguas abajo del río Tempisque.

Cambios en las condiciones de servicio que afectan la infraestructura

Ha transcurrido tiempo entre el diseño, la construcción y el uso actual, por lo que se han observado cambios en la forma de utilizar el puente. Por ejemplo, la cantidad y tipo de vehículos que circulan por la ruta 21 son parámetros que han cambiado desde la conceptualización del edificio en estudio. El sitio web del MOPT tiene datos de vehículos de sitios específicos. El puente se encuentra ubicado en el tramo de control marcado con el número 50082, el cual cuenta con la estación de medición 549.(CONAVI, 2020)

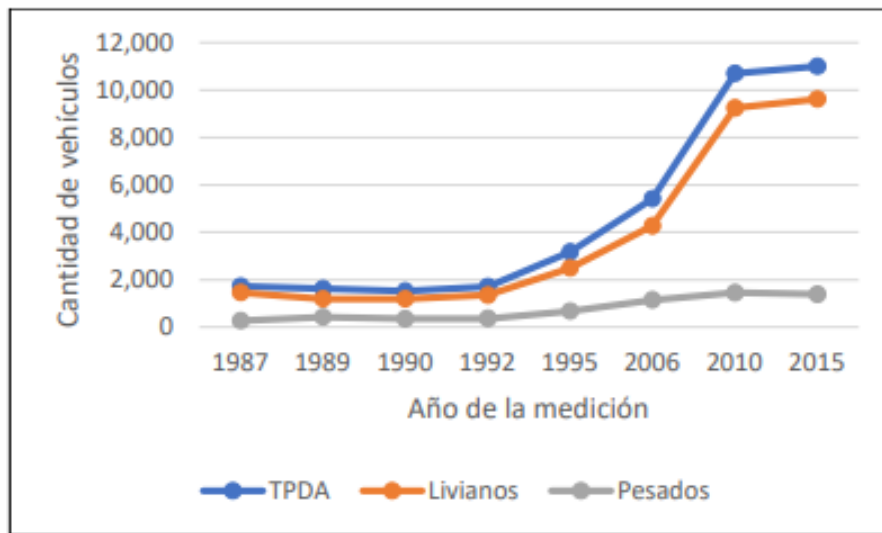


Ilustración 10 - Tendencia anual de flujo vehicular en la estación N°549 del MOPT, puente río Tempisque, Guardia.

Fuente: (CONAVI, 2020)

La ilustración 10 representa la se muestra un extracta de la medición del tráfico medio diario anual (ADTPA) de esta estación. Hay una fluctuación notable en el número de vehículos, que va de 1.720 unidades en 1987 a 11.005 unidades en 2015, lo que representa un aumento del 639,8 por ciento en el número de automóviles

Información histórica para los parámetros climáticos

La información meteorológica proviene de estaciones del IMN. (CONAVI, 2020)

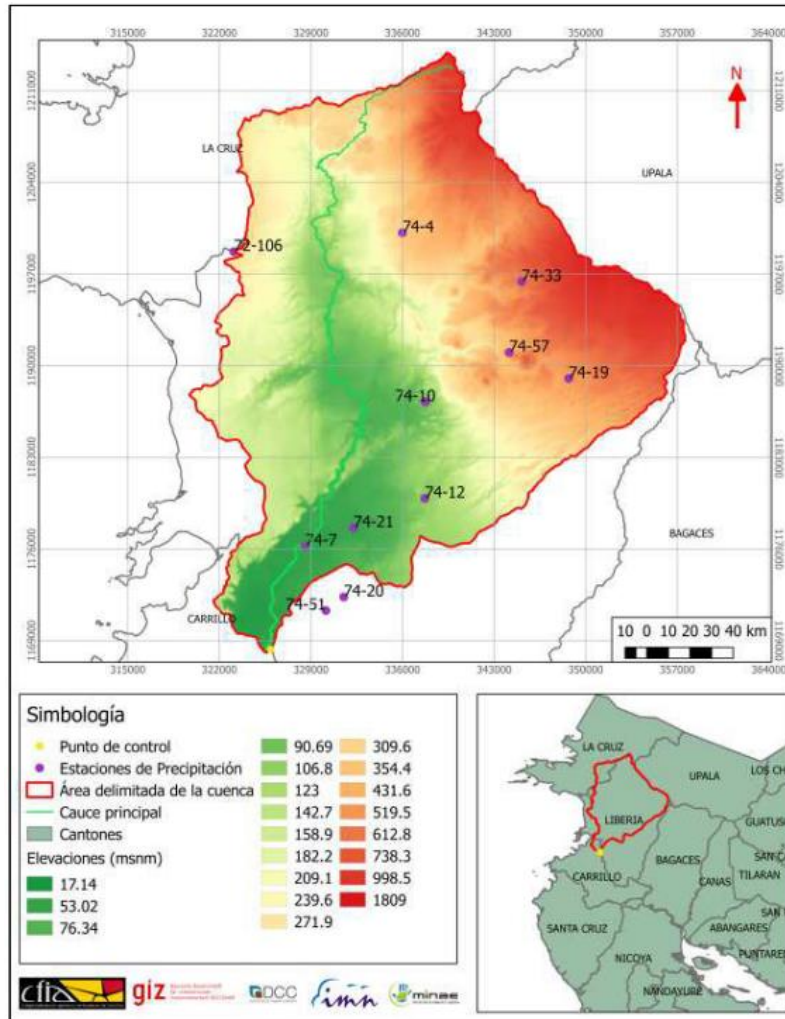


Ilustración 11 - Ubicación de las estaciones por elevación

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la Ilustración 11 se muestran los datos y ubicaciones de 11 estaciones pluviómetros, del período de registro algunas estaciones han dejado de operar y solo se han registrado entre 74 y 20 estaciones en todo el período de análisis, es decir, de 1988 a 2017.

Período del evento	Estaciones Meteorológicas									
	74-4	74-7	74-10	74-12	74-20	74-21	74-33	74-51	74,57	72-106
Jun-1-8-1981	214,8	440,5	286,4	268,0	303,1	346,9	224,5	-	-	304,3
May-22-30-1982	395,5	431,2	474,1	321,2	431,2	417,4	407,5	-	-	774,2
May-23-30 1986	-	-	-	376,4	463,6	488,7	-	-	-	380,6
Jun-3-7-1986	151,9	-	-	199,0	361,4	413,0	-	-	-	336,1
Oct-3-8-1995	-	-	-	-	311,4	358,8	-	-	-	186,4
Oct-24-31-1998	-	-	-	-	230,8	273,9	-	-	-	364,9
Set-13-17-1999	-	-	-	-	459,5	480,9	-	-	-	202,8
Set-26-30-1999	-	-	-	-	543,8	542,0	-	365,3	-	360,9
Set-28 -01 Oct 2000	-	-	-	-	300,1	211,8	-	299,8	-	265,1
Set-21-25-2005	-	-	-	-	356,8	-	-	340,2	-	425,1
Oct-11-18-2005	-	-	-	-	214,8	-	-	212,1	-	414,5
Oct-12-19-2007	-	-	-	-	358,2	-	-	312,3	579	673,5
Set-1-5-2008	-	-	-	-	335,2	-	-	320,0	341,2	708,0
Oct-12-16-2008	-	-	-	-	370,8	-	-	314,1	409	545,0
Oct-2-6-2017	-	-	-	-	485,0	-	-	-	-	-

Ilustración 12 - Registros de los eventos de precipitación por estación meteorológica.

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 12 Se exhibe una tabla que ilustra la distribución acumulativa de la precipitación en eventos de relevancia, particularmente en relación con la Estación 74-20, la cual se empleó en el transcurso de la investigación.

Según los registros de la estación meteorológica 74-20, el umbral de precipitación por inundaciones se ha alcanzado 13 veces en 37 años (1980 y 2017). La mayoría de estos incidentes tienen evidencia documentada de algún impacto en la infraestructura del puente. En la Figura No. 18 se muestra la distribución de la precipitación acumulada para eventos significativos, especialmente para las estaciones 74-20 utilizadas en el proceso estudiado. (CONAVI, 2020).

Paso 3: valoración de riesgo

La fase 3 permitió al grupo de trabajo realizar evaluaciones de riesgos para determinar las respuestas de la infraestructura a eventos climáticos extremos.

Utilizando información del Capítulo 3, se preparó para su análisis una lista de estos eventos y las tendencias climáticas asociadas. La interacción de los componentes de infraestructura y los

parámetros climáticos descritos en la Sección 2.3 se evaluó mediante un proceso de evaluación iterativo de tres pasos.

1. Análisis Sí/No: Para cada componente de infraestructura (es decir, cada fila de la matriz), evaluamos su interacción con el fenómeno climático estudiado (es decir, cada columna de la matriz). Si la respuesta fue negativa, se excluyó del análisis posterior, y si la respuesta fue positiva, la interacción se consideró en el siguiente período.
2. Cuando se identificaron interacciones, se analizaron según el grado en que ya se habían producido impactos en relación con el fenómeno climático que se estaba analizando, y se asignaron puntuaciones con base en la evidencia y los criterios disponibles de quienes conocen estos impactos. Este protocolo PIEVC determina la gravedad de la interacción. A cada fenómeno climático también se le dio una puntuación basada en su probabilidad actual de ocurrir. Multiplicar los dos puntajes da el valor de riesgo para el escenario climático actual.
3. Este proceso se repite luego para proyecciones climáticas futuras para evaluar el impacto de estas nuevas condiciones y la probabilidad de futuros eventos climáticos. Los dos puntajes se multiplican para determinar el valor del riesgo de cambio climático para el escenario futuro.

..(CONAVI, 2020)

UMBRAL DE RIESGO (R)	
≤ 7	Bajo – No se requiere ninguna acción
8 – 21	Medio – Conservar para análisis posterior. Podría requerirse alguna acción
22 – 35	Alto – Requiere alguna acción prioritaria
≥ 36	Extremo – Requiere alguna acción inmediata

Ilustración 13 - Umbrales de riesgo.

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 13 se presentan los resultados probables obtenidos de la matriz de riesgos que permitirán identificar y priorizar las medidas de adaptación a implementar según el alcance definido para los umbrales de riesgo.

Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Accesos <ul style="list-style-type: none"> ○ Rellenos de aproximación ○ Calzada de acceso ○ Drenajes de aproximación 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad estructural • Funcional
Extremo	<ul style="list-style-type: none"> • Superestructura <ul style="list-style-type: none"> ○ Vigas transversales y longitudinales ○ Cerchas principales ○ Sistema de arriostramiento ○ Losa de rodamiento ○ Apoyos • Accesorios <ul style="list-style-type: none"> ○ Pavimento ○ Drenajes ○ Baranda de acero ○ Juntas ○ Elementos de seguridad vial • Puente antiguo • Sección hidráulica bajo el puente 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad estructural • Funcional • Operacional

Ilustración 14 - Resumen de los riesgos identificados en el puente sobre el río Tempisque

Fuente: (CONAVI, 2020)

En la ilustración 14 se muestran los componentes principales de la estructura que podrían experimentar afectaciones se identifican junto con el tipo de impacto que podría manifestarse en términos de desempeño.

Paso 4: análisis de ingeniería

El Paso 4 es opcional y se utiliza si el grupo de trabajo tiene dudas sobre la capacidad de la infraestructura para cumplir con los requisitos climáticos y los resultados del análisis en el Paso 3 indican dudas sobre los riesgos específicos.

Este paso no se consideró necesario en el estudio actual. Aunque las estimaciones resultantes no fueron cuestionadas, los expertos en diseño determinaron la necesidad de determinar el nivel del agua del río Tempisque en relación con futuros eventos de precipitación y establecieron estos

datos como base para la toma de decisiones. Sobre posibles intervenciones en el puente, ya sea que se decida restaurar un puente existente o construir uno nuevo.(CONAVI, 2020)

Paso 5: conclusiones y recomendaciones

El protocolo PIEVC proporciona las siguientes definiciones de infraestructura:

"Instalaciones, redes y activos operados por gobiernos y/u organizaciones no gubernamentales en beneficio de la comunidad pública, incluida la salud, la seguridad, el bienestar cultural o económico de la población de un país o región".

En resumen, existe infraestructura para brindar servicios, esta es la razón por la que es necesario integrar medidas de adaptación que tengan en cuenta los impactos del cambio climático y no climáticos para reducir el riesgo de interrupciones del servicio cuando surgen riesgos durante la activación del umbral.

En el caso específico del Puente de Protección y otros componentes discutidos por el grupo de trabajo, la lista de componentes identificados para el análisis de riesgo muestra que algunos de ellos tienen una vida útil a largo plazo, de hecho por un período determinado de tiempo, mientras que otros componentes tienen una vida útil muy corta y requieren mayores gastos de operación y mantenimiento.(CONAVI, 2020)

Las recomendaciones proporcionadas a continuación no se presentan en ningún orden de preferencia en particular.

- a) Examina las políticas de mantenimiento y operaciones de infraestructura. Para hacer esto, es necesario identificar las limitaciones presupuestarias y de recursos que obstaculizan un proceso adecuado de gestión de activos y presentarlas a los tomadores de decisiones. Como referencia, estudios recientes apoyados por el Banco Interamericano de Desarrollo demuestran que los procesos adecuados de planificación, operación y mantenimiento combinados con un componente de gestión de riesgos reducen las pérdidas en cuatro dólares por cada dólar invertido. Entonces, lo que a primera vista puede verse como un gasto es en realidad una inversión frente a las amenazas que puede enfrentar la infraestructura.

b) Mejorar los procesos de recuperación de información para tareas de operación y mantenimiento. Por ejemplo, emergencias, inspecciones, trabajos de mantenimiento, etc. con el que tratas. Puedes organizarlo. Esta herramienta captura las notas más importantes sobre la situación, que pueden ser páginas electrónicas o archivos de texto, dependiendo de lo que el equipo de la agencia considere más útil. (CONAVI, 2020)

3.1.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

Siguiendo con el análisis de microentorno se estará hablando de investigaciones o manuales aplicados o desarrollados en Centroamérica o en Honduras, de manera que podamos tener una perspectiva más amplia de la vulnerabilidad de las estructuras ante los eventos climatológicos extremos a los que se ven expuestos.

3.1.2.1. MANUAL CENTROAMERICANO DE GESTIÓN DEL RIESGO EN PUENTES

La presente investigación se realizó en Centroamérica, titulado "Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes", teniendo como autor a Iván Morales y Yolanda Mayora, gracias a instituciones como la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y CEPREDENAC.

✓ **Generalidades**

Debido al desconocimiento de los riesgos, las inversiones aún se ubican en lugares peligrosos sin prácticas adecuadas de prevención y mitigación. Anticipar un desastre causado por fenómenos naturales y/o actividad humana es difícil, a veces impredecible, y hasta cierto punto la vulnerabilidad de carreteras y puentes afecta a la sociedad y su capacidad para hacerle frente. Si bien los fenómenos naturales no se pueden prevenir, sí es posible incidir en ciertos factores que hacen que la sociedad sea vulnerable a estos eventos.(Morales & Mayora, 2010).

Naturales	Antropogénicas	Socio-naturales
<ul style="list-style-type: none"> • Huracanes • Tormentas tropicales • Inundaciones, • Sequía, • Erosión • Sedimentación • Desbordamientos de ríos • Sismos • Tsunamis • Erupciones volcánicas • Deslizamientos, desprendimientos de rocas, y avalanchas y otros efectos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Factor humano • Explosiones • Guerras • Acciones terroristas • Contaminación ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de la dinámica de la naturaleza, cuando ocurre o agudización de sus efectos, cuando interviene la acción del hombre. • Las inundaciones, las sequías o los deslizamientos, causadas, en la mayoría de los casos, por la deforestación, el manejo inadecuado de los suelos, el manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas, la minería subterránea, la destrucción de manglares y bosques, la sobre explotación de los suelos y del agua, la contaminación atmosférica.

Ilustración 15 - Amenazas que impactan a la región centroamericana

Fuente: (Morales & Mayora, 2010).

La ilustración 15 se presentan las amenazas climatológicas que impactan a la región centroamericana, las carreteras y puentes carecen de medidas de seguridad vial, lo que contribuye al incremento de la vulnerabilidad y el riesgo de accidentes de tránsito. Como resultado, anualmente se registran cifras significativas en términos de costos asociados, como gastos médicos, medicamentos, seguros de vehículos, seguros de la mercancía transportada y otros aspectos relacionados.

Situación del problema del riesgo en puentes

La gestión de riesgos es parte de la responsabilidad de las autoridades, así como parte de la administración pública en un sentido amplio. Por lo tanto, lograr logros significativos en este campo está estrechamente relacionado con el conocimiento de las cuestiones que afectan el campo y su alcance. (Morales & Mayora, 2010)

(Morales & Mayora, 2010) Identificaron que el análisis de la asociación entre amenazas, vulnerabilidades y peligros debería realizarse a nivel global. Generar mayores incrementos son según (Morales & Mayora, 2010) Los escenarios de riesgo definitivamente indican un cambio significativo en el diseño. Sus efectos a veces no se notan hasta que factores naturales como lluvias, deslizamientos de tierra, terremotos, etc. Cabe señalar también que estos efectos no son graduales, sino que representan saltos cualitativos y cuantitativos que conducen a fenómenos irreversibles cuando se superan determinados niveles de carga o impacto.

Otra característica importante es considerar la sinergia de procesos, que por sí solos no provocan consecuencias graves, pero que, superpuestos uno sobre otro, pueden provocar problemas muy graves. Por ejemplo: contaminación urbana, degradación del suelo, p.e. Estos riesgos deben ser considerados en todos los procesos de planificación o gestión espacial encaminados a un desarrollo sostenible y seguro. (Morales & Mayora, 2010).

✓ **Objetivos**

Adoptando los métodos, procedimientos y metodologías propias de cada país:

- Conocimiento de conceptos de gestión de riesgos.
- Reducir la vulnerabilidad vial ante situaciones de emergencia.
- Integrar elementos de seguridad vial durante el diseño, construcción y mantenimiento.
- Operación y uso de puentes en carreteras locales.
- Uso de nuevas tecnologías en la gestión de puentes que permitan su simplificación y reducción;
- Limitar los daños causados por accidentes.

- Limitar y reducir el daño ambiental. (Morales & Mayora, 2010).

✓ **Metodología recomendada**

Procedimiento de evaluación in situ

- El procedimiento de evaluación del sitio lo elabora un evaluador designado por la agencia de evaluación previa presentación del borrador del proyecto de desarrollo.
- La evaluación in situ se realiza completando el histograma presentado en el formulario adjunto. Un histograma se compone de componentes y cada componente contiene un conjunto de variables. Dependiendo del tipo de proyecto que se esté evaluando, se consideran los componentes requeridos y las variables utilizadas. (Morales & Mayora, 2010)

COMPONENTE	VARIABLES
Bioclimático	Condiciones hidrotérmico
	Viento
	Precipitación
	Áreas protegidas
	Ambientes agresivos
Geología/geotécnico	Sismicidad
	Erosión – sedimentación y arrastre
	Deslizamientos y flujos de detritos
	Vulcanismo
	Topografía
	Condiciones del suelo
	Fallas
Hidrología	Hidrología superficial
	Hidrología subterránea
	Lagos, lagunas y embalses
Ecosistema	Técnicas agrícolas
	Condiciones hidrogeológicas
Medio construido	Importancia económica de la estructura
	Acceso al sitio de proyecto
Interacción (contaminación)	Líneas eléctricas de alta tensión
	Peligro de explosión e incendios
Institucional y social	Conflictos territoriales
	Seguridad vial
	Implicaciones sociales

Ilustración 16 - Procedimiento de evaluación de emplazamiento

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

La ilustración 16 representa el procedimiento de evaluación de emplazamiento de un puente abarcando desde las condiciones bioclimáticas, geología, hidrología, ecosistema hasta lo institucional y social.

- a) La evaluación de cada componente se realiza evaluando todas las variables que lo componen. Para ello se complementa con información sobre las características físicas naturales del área donde se ubica el proyecto, teniendo cada una un valor del 1 al 3 (E). Variables de estudio. El valor por asignar del 1 al 3 se puede seleccionar en la tabla de calificación adjunta. Se ha elaborado una tabla considerando las tres situaciones que se pueden dar en función de cada variable, y su significado es el siguiente.
 - Un valor de 1 indica la condición más peligrosa, peligrosa o ecológicamente incompatible con el tipo de proyecto evaluado.
 - Un valor de 2 indica riesgo moderado, peligroso o condiciones favorables para el medio ambiente, con limitaciones dependiendo del tipo de proyecto evaluado.
 - Valor 3 significa la ausencia de todo tipo de peligros y ningún daño al medio ambiente.
- b) Si la condición no se especifica en alguno de los intervalos descritos anteriormente, en este caso el evaluador podrá asociar la situación dada a la escala que considere más adecuada una vez identificada. En rojo se muestra la escala correspondiente a cada variable.
- c) La columna P corresponde a la importancia o importancia del problema, de modo que las condiciones más peligrosas o incompatibles con el medio ambiente tienen una importancia o peso (3), y las condiciones menos peligrosas o respetuosas con el medio ambiente tienen una importancia o peso menor (1), los términos intermedios tienen pesos o significados intermedios (2).
- d) La columna F muestra la frecuencia, es decir, cuántas veces se obtuvo la misma calificación o escala en el histograma. Por ejemplo, en un histograma: (Morales & Mayora, 2010).

VARIABLES	EVALUACIÓN
Sismicidad	1
Erosión	3
Deslizamiento	2
Vulcanismo	1
Topografía	2
Calidad de suelo	1
Fallas	2

Ilustración 17 - Histograma de evaluación

Fuente: (Morales & Mayora, 2010).

En la ilustración 17 se aprecia el histograma de evaluación, con valoraciones definidas. La cantidad de evaluaciones con:

- 3 puntos = 1, por lo que la frecuencia (F) es 1.
- 2 puntos = 2, entonces la frecuencia (F) es 2.
- 1 punto = 3, luego la frecuencia (F) es 3.

En la columna $ExPxF$, se multiplican los tres valores: la escala o evaluación por el peso o importancia por la frecuencia.

Mientras que en la columna PxF , se multiplican solo los valores del peso o importancia por la frecuencia.

Posteriormente, se suman los valores totales de ambas columnas ($ExPxF$ y PxF). Finalmente, se divide la suma total de la columna $ExPxF$ entre la suma total de la columna PxF , obteniendo así el valor del componente. La interpretación de los valores registrados por cada componente se explicará en el próximo tópico.

COMPONENTE BIOCLIMÁTICO							
Eva-lua-ción	Condiciones hidrotérmicas	Viento	Precipita-ción	Áreas protegidas	Ambientes agresivos		
					Aire	Agua	Suelo
1	En el área donde se emplazará el puente, se registran porcentajes de humedades relativas mayor a 85%, o el rango de variación entre temperaturas promedio máxima y mínima es igual o mayor a 30°C grados, que pudieran ocasionar condiciones de daño por contracción y dilatación a elementos de la estructura, como también problemas en la colocación y curado del concreto.	En el territorio objetivo de estudio se presentan durante el año vientos con velocidades superiores a 250 km/hr (HURACAN CATEGORIA 5)	En el territorio se presenta un régimen severo de precipitaciones anuales promedio mayor a 3500 mm/año . Se deben consultar los mapas de precipitación promedio anual para determinar el rango para el sitio en estudio.	El sitio se ubica dentro o muy próximo, a áreas protegidas ambientalmente como parques nacionales, refugios de vida silvestre, pantanos, humedales, reservas biológicas, reservas forestales, zonas marítimo terrestre, áreas de recarga acuífera, monumentos naturales, cuerpos y cursos de agua naturales superficiales permanentes, áreas con recursos arqueológicos o culturales zona de reserva natural o espacios protegidos para especies en peligro de extinción, zonas de nidificación u otras y se tiene la certeza técnica de que el proyecto pudiera causar daños ambientales o las características del medio perjudiquen el desarrollo del hábitat	El sitio se ubica dentro de un territorio muy afectado por la contaminación del aire debido a la presencia de numerosas fuentes, alta persistencia en el año de malos olores y polvo en suspensión, baja capacidad de dispersión de la atmósfera o a distancias menores a los 20 metros.	Los cuerpos de agua existentes en el sitio donde se emplazará la obra presentan contaminación por presencia de impurezas, color, olor, e incluso sustancias químicas. Existe presencia de una o varias de las siguientes: -Aguas altamente agresivas con pH menor o igual a 4.5, -concentraciones de dióxido de carbono CO2 mayor a 100mg/litro - Ion amonio NH4+ mayor a 60mg/litro -Ion magnesio Mg2 mayor a 3000mg/litro -Ion sulfato SO4 mayor a 3000mg/litro. Que pueden afectar a la composición de la estructura.	Existen en el sitio la presencia de elementos como pueden ser basuras, malezas, evidencias de erosión severa del suelo, aguas estancas debido suelos con poco grado de percolación del agua. Presenta más de tres elementos que deterioran la calidad del suelo. (agroquímicos, desechos sólidos, deforestación, erosión), o la concentración del ión de sulfato SO4 mayor a 12000 mg/kg.

Ilustración 18 - Componente bioclimático

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 18 se representan las matrices para la evaluación de emplazamientos de puentes con el componente bioclimático de las condiciones hidrotérmicas de viento y precipitación.

COMPONENTE GEOLOGÍA/GEOTÉCNICA							
Eva-lua-ción	Sismicidad	Erosión - sedimentación	Deslizamientos y flujos de detritos	Vulcanismo	Topografía	Condiciones del suelo	Fallas
1	El territorio donde se ubicará el puente es de alta peligrosidad sísmica ya sea de origen geológico o volcánico con aceleración esperada mayor de 0.30 g. (gravedad). O se puede evidenciar por inspección visual o documental, que en el territorio donde se ubica el proyecto se han producido importantes daños (asentamientos, hundimientos, agrietamientos, etc.) debido a la actividad sísmica en los últimos 50 años	Cuando durante la etapa de construcción u operación del proyecto se den grandes variaciones de caudal, pendiente del lecho, descarga de sedimentos y variación del tamaño medio del sedimento que afecte el equilibrio del transporte de sedimentos.	En el sitio donde se emplazará el proyecto existe potencial peligro por deslizamientos parciales o en masa debido a la constitución de suelos poco compactos, la presencia de taludes con relación 3 vertical a 1 horizontal, presencia de erosión acusada, terrenos inestables, presenta condiciones físico mecánicas siguientes: rocas de moderadas a fuertemente alteradas y los niveles freáticos entro someros y altos. Cualquiera de los factores anteriores deberá ponderarse si el territorio es considerado de alta peligrosidad sísmica o su régimen pluviométrico en el año es muy elevado	El sitio donde se emplazará el proyecto se encuentra muy próximo a volcanes activos o con actividad volcánica muy frecuente y / o alta severidad. Se tiene la certeza por la proximidad del proyecto que este puede sufrir daños debido a la emanación de gases, cenizas, piroclastos, lavas o las consecuencias de los movimientos o sacudidas del suelo. Si cada invierno se da fuertes lahares que descienden de las quebradas de los volcanes activos y generen amenaza de destrucción del puente, principalmente en sus aproches. Efectos negativos por encontrarse dentro del espacio de 5 kms. a la redonda de los conos activos, donde causan daño los sismos volcánicos.	Los rangos de pendientes de los taludes, que se observan en el sitio son superiores y varían de 60% en adelante, que tengan cobertura forestal por debajo del 20% de cubrimiento del área de interés.	Cuando se presenten en las siguientes condiciones: existan, suelos granulares saturados con alto potencial de licuefacción, o cuando existan suelos altamente compresibles según los resultados del estudio de suelos. Cuando existan cimentaciones superficiales en suelos con arenas sueltas muy finas mal graduadas y nivel freático poco profundo.	El sitio donde se ubicará el puente es atravesado por una falla tectónica activa o que se encuentra en la cercanía, que ha presentado movimientos en los últimos 50 años.

Ilustración 19 - Componente de Geología

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 19 se presentan los componentes de Geología para la evaluación de emplazamientos de puentes que abarcan sismicidad, vulcanismo, topografía, condiciones del suelo y fallas del sitio donde se ubicara el puente.

COMPONENTE HIDROLOGÍA			
Eva-lua-ción	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	Lagos, lagunas y embalses
1	<p>Existen fuentes de agua superficiales próximas al sitio, con pendientes inferiores al 1% y hacen latente el peligro de inundación.</p> <p>Se deberán de tomar en cuenta las recomendaciones del hidrólogo para estos casos.</p> <p>Cuando el puente este sobre ríos, arroyos, cauces de forma temporal o permanente presenten alto potencial de inundación, se deberá verificar el modelo de crecidas de 50, 100 y 500 años.</p>	<p>En el sitio o a distancias menores de 20 metros se ubican importantes flujos de agua subterráneas a profundidades menores de 10 m con terrenos que poseen una alta tasa de infiltración y/o se tiene la certeza técnica para considerar que la ubicación del proyecto, el relieve y la posición en el lugar afectará de forma irreversible las fuentes de agua subterráneas que abastecen a comunidades situadas en un radio de 300 metros aguas abajo. O en zonas declaradas como de alta vulnerabilidad al acuífero.</p> <p>Que se encuentre en zonas donde el nivel freático sea muy superficial, lo que puede generar condiciones ablandamiento de suelos o basamento geológico, especialmente si se encuentra sobre terrenos arcillosos, lutíticos o lateríticos.</p> <p>Es necesario asegurarse del comportamiento del agua subterránea, por medio de estudios de hidrogeología.</p>	<p>El sitio se ubica dentro de la cota de los derechos naturales de lagos, embalses y presas, creando riesgo inminente de ser afectado por grandes precipitaciones.</p>
2	<p>Existen fuentes de agua superficial con rangos de pendientes entre el 1 y el 2% que ante grandes lluvias pudiera tener dificultad de drenaje y excepcionalmente alcanzar el sitio sin causar daños.</p> <p>Se deberán de tomar en cuenta las recomendaciones del hidrólogo para estos casos.</p>	<p>En el sitio o a distancias menores de 20 metros se localizan fuentes de agua subterráneas a profundidades entre 10 y 40 metros con terrenos que alcanzan una baja tasa de infiltración y pudiendo la constitución del relieve causar daños eventuales a las aguas subterráneas y/o no existen fuentes de agua subterráneas que abastezcan a comunidades en un radio de 300 metros aguas abajo o en zonas medianamente vulnerable de los acuíferos.</p> <p>Que se encuentre en zonas donde el nivel freático sea moderadamente superficial, lo que puede generar condiciones alta humedad por periodos cortos durante los inviernos de suelos o basamento geológico, especialmente si se encuentra sobre terrenos arcillosos, lutíticos o lateríticos.</p>	<p>El sitio se ubica próximo a lagos, embalses y presas pero la diferencia de altitud es superior al menos en 1.50 metros</p>

Ilustración 20 - Componente de Hidrología

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 20 se presentan los componentes de Hidrología para la evaluación de emplazamientos de puentes que abarcan hidrología superficial y subterránea del sitio donde se ubicará el puente.

Ejemplo:

El siguiente ejemplo muestra la evaluación de componentes para cada construcción de puente en cada ubicación, utilizando la matriz y los procedimientos descritos anteriormente como referencia.

construcción de puentes, Dirección exacta del proyecto: **Cualquier distrito**

TIPO DE PROYECTO: PUENTE											
COMPONENTE BIOCLIMATICO											
E	Condi- ciones Hidrotér- micas	Viento	Preci- pita- ción	Áreas Protegi- das	Ambiente Agresivo			P	F	ExP xF	PxF
					Aire	Agua	Sue- lo				
1	x			x				3	2	6	6
2		x	x		x	x	x	2	5	20	10
3								1	0	0	0
VALOR TOTAL= ExPxP / PxP = 26 / 16 = 1.62										26	16
COMPONENTE GEOLOGÍA/GEOTÉCNICA											
E	Sismi- cidad	Ero- sión	Desliza- miento y flujos de Detritos	Vulca- nismo	Rangos de Topo- grafía Pen- dientes	Calidad del Suelo	Fallas	P	F	ExP xF	PxP
1	x					x		3	2	6	6
2			x	x			x	2	3	12	6
3		x			x			1	2	6	2
VALOR TOTAL= ExPxP / PxP = 24 / 14 = 1.71										24	14
COMPONENTE HIDROLOGÍA											
E	Hidro- logía superfi- cial	Hidro- logía subte- rránea	Lagos Lagunas y embal- ses					P	F	ExP xF	PxP
1								3	0	0	0
2	x							2	1	4	2
3		x	x					1	2	6	2
VALOR TOTAL= ExPxP / PxP = 10 / 4 = 2.50										10	4

Ilustración 21 - Ejemplo de evaluación de los componentes

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 21 se proporciona un ejemplo de evaluación de componentes, donde el valor total resulta de la multiplicación de los tres valores: la evaluación por el peso o importancia por la frecuencia. En la columna P x F, se multiplican únicamente los valores del peso o importancia por la frecuencia. Luego, se suman los valores totales de las columnas ExPxF y PxF. Finalmente, se divide la suma total de la columna ExPxF entre la suma total de la columna PxF para obtener el valor del componente. La interpretación de los valores registrados por cada componente se detalla en el próximo tópico.

COMPONENTE ECOSISTEMA									
E	Técnicas agrícolas	Condiciones Hidrogeológicas				P	F	Ex-PxF	PxF
1						3	0	0	0
2	x					2	1	4	2
3		x				1	1	3	1
VALOR TOTAL= ExPxF / PxF= 7 / 3 = 2.33								7	3

COMPONENTE MEDIO CONSTRUÍDO									
E	Importancia económica de la estructura	Acceso al sitio del proyecto				P	F	Ex PxF	PxF
1	x					3	1	3	3
2						2	0	0	0
3		x				1	1	3	1
VALOR TOTAL= ExPxF / PxF= 6 / 4 = 1.5								6	4

COMPONENTE INTERACCIÓN/CONTAMINACIÓN									
E	Líneas eléctricas de alta tensión	Peligro de explosiones e incendio				P	F	Ex-PxF	PxF
1						3	0	0	0
2	x	x				2	2	8	4
3						1	0	0	0
VALOR TOTAL= ExPxF / PxF= = 8 / 4 = 2.00								8	4

Ilustración 22 - Ejemplo de evaluación de puentes

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 22 se presenta un ejemplo que ilustra la evaluación de componentes de ecosistema, medio construido y componente de interacción, calculando el valor total mediante la multiplicación de los tres factores: la evaluación, el peso o importancia, y la frecuencia. En la columna P x F, se multiplican exclusivamente los valores del peso o importancia por la frecuencia. Después, se suman los valores totales de las columnas ExPxF y PxF. La fase final implica dividir la suma total de la columna ExPxF entre la suma total de la columna PxF para derivar el valor del componente. La interpretación específica de los valores asociados con cada componente se explicará detalladamente en el próximo tópico.

RESUMEN DE LA EVALUACION	
1.1.1.1 COMPONENTES	EVALUACION
Bioclimático	1.62
Geología/geotécnica	1.71
Hidrología	2.50
Ecosistema	2.33
Medio construido	1.50
Interacción (contaminación)	2.00
Institucional social	2.20
PROMEDIO	1.98

OBSERVACIONES:

Yo, _____, en calidad de evaluador del sitio doy fe que la evaluación anteriormente descrita, coincide con las condiciones actuales del sitio.

Nombre y apellido del funcionario que realiza la evaluación

Firma

Fecha

Nombre y apellido del funcionario que aprueba la evaluación

Firma

Fecha

Ilustración 23 - Resumen de la Evaluación

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 23 se presenta el resumen de la evaluación aplicada a cada uno de los componentes que influyen en un puente cualquiera, evidenciando como es el proceso y como luciría en un ejemplo real.

Significado de las Evaluaciones

La calificación final del sitio se obtiene como el promedio de los valores registrados por todos los componentes. El procedimiento es el siguiente: Suma los valores escritos por todos los componentes y divide por el número total de componentes. Este valor va del 1 al 3 y tiene los siguientes significados:

- Un valor entre 1 y 1,5 significa que el sitio del proyecto propuesto es altamente vulnerable, tiene un alto riesgo de desastres naturales y/o tiene una calidad ambiental severamente degradada, lo que podría conducir a pérdidas de capital de inversión o afectar la salud de las personas. Por lo tanto, se propone que esta ubicación no sea elegible para inversiones de desarrollo y, por lo tanto, se debe seleccionar una ubicación alternativa.
- Un valor entre 1,6 y 2,0 significa que el sitio donde se propone el proyecto es altamente vulnerable porque presenta algunos riesgos de desastre y/o tiene limitaciones ambientales. Por lo tanto, se debe buscar una mejor alternativa de ubicación y si no se ofrece otra alternativa, se debe realizar un estudio detallado sobre la elegibilidad del sitio para el desarrollo del proyecto.
- Un valor entre 2,1 y 2,5 significa que la zona es poco vulnerable, con un componente de riesgo de desastres muy bajo y/o poco deterioro de la calidad ambiental a pesar de las limitaciones del régimen separado. La agencia de calificación consideró elegible este sitio alternativo siempre que no alcanzara una puntuación de 1 en ninguna de las siguientes áreas:
 - Terremoto
 - Deslizamientos de tierra y flujos de escombros
 - Inundaciones (hidrología superficial)
 - Actividad volcánica
 - Lagos, lagunas, embalses
 - Peligro de explosión o incendio
 - Consecuencias sociales

- Un valor superior a 2,6 indica que el sitio no es vulnerable, no hay peligros y/o la calidad ambiental del sitio del proyecto es lo suficientemente buena como para que la agencia de evaluación considere el sitio para el desarrollo del proyecto.(Morales & Mayora, 2010)

Análisis de vulnerabilidad de proyectos

Procedimiento: La evaluación del ciclo de vida del proyecto se realiza mediante la creación de un histograma como se muestra en el formulario adjunto. Un histograma contiene componentes estructurales y sociales, y cada componente se divide en un conjunto de variables. (Morales & Mayora, 2010)

Asignación de valores según escala

La evaluación de cada componente de vulnerabilidad se realiza evaluando todas las variables que componen el proyecto utilizando información sobre las características de la zona donde se ubica el proyecto y complementando los valores obtenidos de la escala de variables (E). De uno a tres valores para cada variable de estudio. El valor para visualizar en la báscula se puede seleccionar en la tabla de valoración adjunta para cada caso. (Morales & Mayora, 2010).

Escala	Descripción de los Valores
1	Representa situaciones donde el proyecto, bajo condiciones particulares, pudiera presentar niveles de vulnerabilidad altos.
2	Representa situaciones donde el proyecto presenta niveles de vulnerabilidad moderada.
3	Representa situaciones donde el proyecto presenta bajos niveles de vulnerabilidad.

Ilustración 24 - Descripción de los valores

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 24 se muestra la descripción de los valores y como puede haber situaciones vinculadas a un proyecto que no se encuentren contempladas en los rangos previamente descritos. En ese escenario, la persona encargada de evaluar el proyecto tiene la flexibilidad de asociar la situación presente con la escala que considere más adecuada, una vez que se ha marcado en rojo en la escala correspondiente a cada variable.

Parámetros para la evaluación de vulnerabilidad de proyectos

COMPONENTE DE VULNERABILIDAD				
Materiales (piedra, arena, grava, tierra u otro material natural)				
VARIABLE	FACTOR DE PONDERACIÓN	EVALUACIÓN		
		1	2	3
DISPONIBILIDAD DE MATERIALES (AGREGADOS)	Menos del 29% de la materia prima del proyecto es abundante o suficiente en un radio de 10 km del sitio del proyecto. O más del 70% de las materias primas del proyecto son escasas en un radio de 100 kms. o más de distancia del proyecto.	■		
	Entre el 30% y el 59% de las materias primas son abundantes o suficientes en un radio de hasta 10 kms. del sitio del proyecto. O más del 60% de las materias primas del proyecto son escasas hasta 10 km, pero abundantes o suficiente son un radio de 100 kms. del sitio del proyecto.		■	
	Más del 60% de las materias primas requeridas para el proyecto son abundantes o suficiente son un radio de hasta 10 kms. con relación al sitio del proyecto.			■
RENOVABILIDAD DE LAS FUENTES	Más del 80% de las materias primas que se utilizan en el proyecto no son renovables. O no se protegen las fuentes de extracción pudiendo agotarse O se producen sobre consumo de recursos.	■		
	Entre el 30% y el 49% de las materias primas utilizadas en el proyecto son renovables O existen planes de usos alternativos de las materias primas. Se protegen las fuentes.		■	
	Más del 50% de las materias primas utilizadas en el proyecto son renovables. O se protegen adecuadamente las fuentes de extracción de los recursos.			■
AGRESIVIDAD DEL PROCESO	Los principales materiales de construcción del proyecto son agresivos al medio debido aunque en su fabricación se utilizan tóxicos, emisiones de agua contaminadas, polvo, ruidos, o dañan la salud humana. Se pueden considerar algunos materiales utilizados en el proyecto como muy tóxicos (asbesto, plomo, mercurio u otras sustancias similares).	■		
	Los principales materiales de construcción que se utilizan en el proyecto son ligeramente agresivos, debido a emisiones de polvo o algún daño ambiental leve.		■	
	Muy poco agresivos o no agresivos los principales materiales que se utilizan en el proyecto.			■
CALIDAD Y DURABILIDAD EL MATERIAL	Los materiales principales utilizados en el proyecto tienen muy baja calidad, lo que afecta la durabilidad de la vida útil del proyecto a menos de 50 años.	■		
	Los materiales principales utilizados en el proyecto pueden tener baja calidad, pero al menos tienen una vida útil de 50 años.		■	
	Los materiales principales utilizados en el proyecto tienen buena calidad y se prevé una durabilidad mayor de 50 años.			■

Ilustración 25 - Componentes de Vulnerabilidad

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 25 se muestran los componentes de vulnerabilidad definido por un factor de ponderación que va en un rango de 1-3 dependiendo de que tan vulnerable es.

Según (Morales & Mayora, 2010) Luego de realizar el análisis de ubicación y el análisis de vulnerabilidad del proyecto, los resultados finales se resumen en la siguiente herramienta "Histograma de balance de riesgos", que contiene dos resultados de la evaluación: ubicación y vulnerabilidad.

Histograma Balance de Riesgo

Los resultados finales se preparan utilizando el promedio de los valores obtenidos para representar las condiciones de aceptación del diseño y aplicando los criterios de cumplimiento especificados en el análisis de vulnerabilidad. proyecto. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos del sitio y la evaluación de vulnerabilidad de los proyectos analizados. (Morales & Mayora, 2010)

No.	EVALUACIONES	ANÁLISIS				RESULTADOS			
		1.0-1.5	1.6-2.0	2.1-2.5	2.6-3.0	R	N	A	V
1	EVALUACION DE EMPLAZAMIENTO		1.98						
2	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD				2.61				
BALANCE DE RIESGO/ PROMEDIO		2.295							
VA-LORES	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN							
Entre 1 y 1.5	Significa que el proyecto se encuentra en estado alto de riesgo, pudiendo afectar la calidad de vida de las personas.	Se define como no elegible el proyecto en las condiciones en que se presenta.							
Entre 1.6 y 2.0	Significa que el proyecto se encuentra en estado de riesgo crítico, pudiendo dar lugar a afectaciones a la calidad de vida de los usuarios.	Se sugiere la búsqueda de una mejor alternativa tecnológica, de diseño o en la selección de materiales de construcción para la realización del proyecto.							
Entre 2.1 y 2.5	Significa que el proyecto presenta un estado de riesgo moderado.	Se considera esta alternativa del proyecto elegible siempre y cuando no se obtengan calificaciones de 1 (escala) en algunos de los siguientes aspectos: adaptación al medio, funcionalidad y renovabilidad de las fuentes (materiales de construcción)							
Superiores a 2.6	Significa que el proyecto presenta bajos niveles de riesgo.	Se considera este proyecto totalmente elegible e idóneo para su desarrollo							
OBSERVACIONES:									
Yo, _____ en mi calidad de Evaluador del Proyecto, doy fe que la evaluación anteriormente descrita coincide con la información presentada por la propuesta.									
Nombres y apellidos del funcionario que realiza la evaluación		Firma				Firma			
Nombres y apellidos del funcionario que aprueba la evaluación		Firma				Firma			

Ilustración 26 - Histograma Balance de riesgo

Fuente: (Morales & Mayora, 2010)

En la ilustración 26 se evidencia el análisis de emplazamientos como el análisis de vulnerabilidad de los puentes arrojando el balance de riesgos o el promedio con ese número se identifica el rango de los valores y se elegie a la valoración que pertenece.

3.1.3. ANÁLISIS INTERNO

En Cortes durante el huracán ETA e IOTA numerosos puentes, estructuras de cajas puente y vados resultaron insuficientes para gestionar tanto la cantidad, como la velocidad del agua, junto con los sólidos y sedimentos transportados por la corriente durante los huracanes. El colapso primordial de las estructuras se atribuyó a la subestimación de los flujos hidráulicos debajo de los puentes.(BID & Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).

En Honduras ya se ha implementado un proyecto de desarrollo de conocimientos y capacidades centrado en cuatro puentes de la infraestructura vial del país. Este proyecto consistió en aplicar el método PIEVC a cuatro puentes viales importantes de Honduras. El primer puente analizado fue el puente sobre el río Perla entre El Porvenir, en el Departamento de Atlántida, y el municipio de San Francisco. El puente está ubicado en la zona norte de la Sierra Nombre de Dios, a unos 8 km de la costa caribeña. La cuenca tiene una superficie aproximada de 124 km². La altura del río es de 1400 m sobre el nivel del mar y la longitud total del río es de unos 27 km.

El segundo puente analizado fue el puente que cruza el río Higuito, uno de los afluentes del río Ulua que nace en la sierra de Celaque. La cuenca se ubica al sur del Departamento de Copán, al este de Ocotepeque y al oeste de Lempira y cubre un área de aproximadamente 1,754.7 km². El punto más alto está a unos 2.161 m sobre el nivel del mar, la longitud total de la cuenca es de 117 km y la distancia aguas arriba del puente es de unos 81 km.

El tercer puente analizado fue el puente sobre el río Ulúa cerca del pueblo de Pimienta, sobre el Valle de Sula en el Departamento de Cortés. Se estima que el embalse que desemboca en el río Ulúa es el más grande del país, con una superficie aproximada de 10.030 km². Los picos más altos de la cuenca se elevan desde los picos de las montañas Celaque, que se elevan a más de 2700 m sobre el nivel del mar, y se elevan hasta una altura inicial de 1850 m sobre el nivel del mar.

El cuarto puente analizado fue el puente sobre el río Iztoca, afluente del río Choluteca, ubicado en la región autónoma de Choluteca al sur de Honduras. La zona de captación es de 113 km² y la elevación más alta está a poco más de 1.000 m sobre el nivel del mar (el nacimiento del río está a 1.050 m sobre el nivel del mar). La longitud de esta vía fluvial es de 25,8 km y este

proyecto se llevó a cabo desde enero de 2012 hasta marzo de 2013 con financiación de Environment Canada. El paso a desnivel que hay bajo el puente Chamelecón fue destruido por la enorme cantidad de agua que paso durante los huracanes al igual que las múltiples viviendas de las personas que vivían bajo el puente.

Según la evaluación de los efectos e impactos de la tormenta tropical Eta y el huracán Iota realizada por (BID & Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021) el resumen de daños en los puentes asciende a los 800 millones de lempiras más otros 49 millones por costos adicionales, algunos de los puentes que colapsaron fueron; Puente sobre el río Amapala, Cortés, Puente sobre el río Higuito, Talgua, Lempira, Puente sobre el río piedras en Atlántida, las losas de aproximación de los puentes se destacaron como uno de los elementos de falla más frecuentes durante la tormenta tropical Eta y el huracán Iota.

Según (Bank & Caribbean, 2021) se registró un total de 71 puentes con daños y 59 puentes completamente destruidos en Honduras, tras los huracanes.

3.2. TEORÍA DE SUSTENTO

A continuación, en este apartado se presentan los respectivos métodos, normas y protocolos aplicados para la investigación. Con el fin de explicar el procedimiento, que se usó para realizar el análisis de vulnerabilidad en el Puente del Chamelecón mediante la aplicación del protocolo PIEVC.

3.2.1. PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO (PIEVC)

El Protocolo para la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Infraestructuras al Cambio Climático, conocido como PIEVC, implica realizar un análisis exhaustivo de datos climáticos históricos y predecir su naturaleza y severidad y la probabilidad de futuros cambios y eventos relacionados con el clima. De igual forma, evalúa la adaptabilidad de una infraestructura particular en función de su diseño, operación y mantenimiento. Implica evaluar la gravedad de los impactos climáticos sobre diversos elementos de la infraestructura, como su desgaste, daño o destrucción, con el objetivo de identificar los componentes dañados más amenazados y comprender la amenaza que suponen los efectos del cambio climático. Esta información se puede utilizar como base para tomar decisiones de ingeniería informadas sobre qué adaptar y cómo lograr la adaptación, lo que puede implicar ajustes de diseño, cambios en los procedimientos operativos o cambios en las tareas de mantenimiento.

El Módulo de Evaluación de Vulnerabilidad detalla el proceso de realizar una evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura en términos de ingeniería frente al impacto del cambio climático. Este proceso consta de cinco etapas, que corresponden a los Pasos 1 a 5 del Protocolo. Al concluir cada etapa, se orienta al profesional a tomar decisiones sobre si debe avanzar a la siguiente etapa o si es necesario revisar pasos anteriores en el procedimiento con el propósito de mejorar la cantidad o la calidad de los datos recolectados.

la infraestructura frente a los impactos del cambio climático. Este proceso incluye la evaluación del riesgo y, de manera opcional, un análisis de ingeniería. Los resultados obtenidos ofrecen un marco conceptual crucial para la toma de decisiones acertadas en la adaptación al cambio climático. Estos resultados guían acciones futuras relacionadas con la operación,

mantenimiento, planificación, desarrollo y mejora o rehabilitación de la infraestructura.(Engineers Canada & CICH, 2013).

El procedimiento delineado en el Protocolo se fundamenta en una serie de principios directrices que garantizan una metodología coherente en la evaluación de la vulnerabilidad de la ingeniería de la infraestructura. Estos principios incluyen:

- El Protocolo se concibe como un ejercicio de Ingeniería destinado a evaluar la vulnerabilidad de la ingeniería mediante el análisis de los componentes del sistema. Su objetivo es identificar estrategias de adaptación basadas en este análisis.
- La evaluación de la vulnerabilidad de ingeniería ante eventos climáticos es un proceso multidisciplinario que requiere una colaboración interdisciplinaria efectiva. Se enfatiza la importancia del juicio profesional y se destaca la necesidad de incorporar argumentos y sugerencias de todas las disciplinas relevantes en la evaluación.
- El proceso está diseñado para obtener resultados con énfasis en la identificación de enfoques pragmáticos. Se busca responder a las preguntas sobre la vulnerabilidad de la infraestructura dentro de un marco de tiempo establecido y considerando las limitaciones presupuestarias.
- Se establece como indispensable documentar todo el proceso de evaluación. Esta documentación facilita la actualización de la evaluación con nueva información en revisiones futuras.
- El Protocolo reconoce el juicio o criterio profesional como la interpretación y síntesis de datos, hechos y observaciones. Este juicio es crucial para emitir un criterio sobre cómo podría responder la infraestructura ante condiciones específicas.

Primer Paso – Definición del Proyecto

En este paso, el profesional definirá los parámetros globales del proyecto y las condiciones de contorno para la evaluación de la vulnerabilidad de ingeniería. Este paso definirá:

- Qué infraestructura se está evaluando
- Su localización

- Consideraciones climáticas y geográficas
- Usos de la infraestructura.

Este es el primer paso para limitar el enfoque para permitir la adquisición eficiente de datos y la evaluación a la vulnerabilidad.

El diagrama de flujo del proceso para el Paso 1 del Protocolo se presenta en la Figura 1.

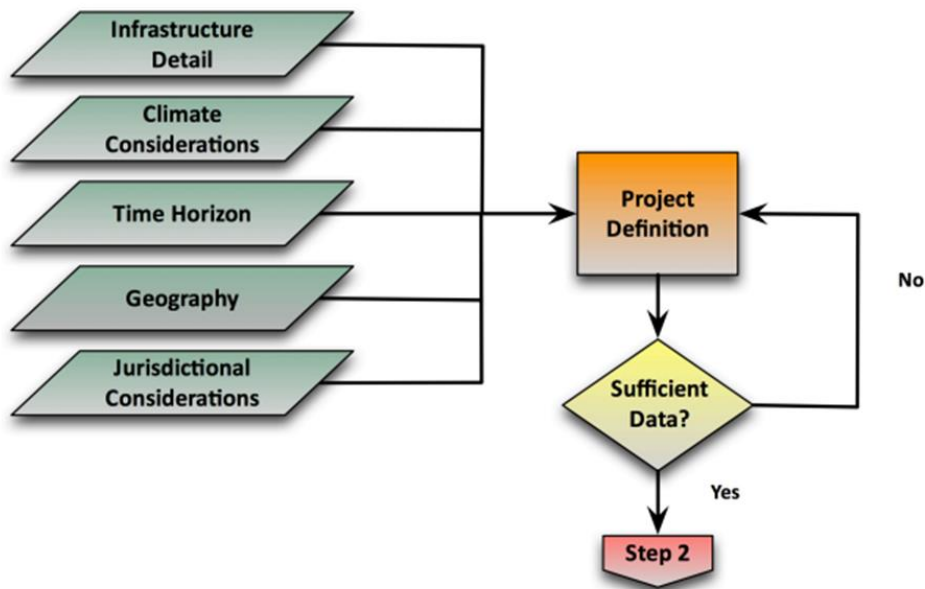


Ilustración 27 - Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto

Fuente: (PIEVC Engineering Protocol, 2020)

→ Preparar la hoja de trabajo del Paso 1

- Utilice la Hoja de trabajo 1 proporcionada; o
- Preparar documentación específica del profesional.
 - La documentación específica del profesional DEBE detallar cada tarea descrita en este paso del Protocolo.

→ Identificar la infraestructura

- Elija la infraestructura que se evaluará para detectar la vulnerabilidad al cambio climático.
- Proporcionar una descripción general de la infraestructura.
- Antecedentes adicionales de referencia y fuentes de información detalladas.

→ Identificar los parámetros climáticos

- Indique los parámetros climáticos que serán considerados en la evaluación.
 - Con base en el criterio profesional, identificar qué tendencias y condiciones climáticas pueden contribuir a la vulnerabilidad de la infraestructura.
 - +Basado en profesionales juicio, identificar cuáles tendencias climáticas y/o los eventos climáticos pueden combinar para crear infraestructura vulnerabilidad.
- Identificar el horizonte temporal
- Para la evaluación de vulnerabilidad de ingeniería, defina el período durante el cual infraestructura debe operar y para qué tendencias climáticas se proyectará.
- Identificar la geografía
- Resumir las características específicas del sitio, locales y/o geográficas relevantes para la evaluación.
 - Provee referencias.
- Identificar consideraciones jurisdiccionales
- Enumerar las jurisdicciones, leyes, reglamentos, directrices y procesos administrativos que son aplicable a la infraestructura.
 - Provee referencias.
- Visita al sitio
- Realizar una visita al sitio.
 - Con base en la información recopilada hasta la fecha, realizar entrevistas con los propietarios de las instalaciones y personal operativo para probar en campo y validar los hallazgos iniciales de la definición del proyecto.
 - Examinar la infraestructura y las características geográficas locales que puedan aplicarse a la evaluación de vulnerabilidad.
 - Tenga en cuenta las observaciones clave y las áreas de seguimiento en los pasos posteriores de la evaluación.
- Evaluar la suficiencia de los datos
- Cuando se propongan supuestos para la evaluación, identifíquelos como tales y proporcionar una justificación para su uso.
 - Documento donde actualmente no hay suficiente información disponible para proceder con un elemento de la evaluación.
 - Cuando no haya suficiente información disponible actualmente, identificar un proceso para desarrollar o completar esos datos.

- Cuando no se puedan desarrollar datos, identifique la brecha de datos como un hallazgo en el Paso 5 del Protocolo – Recomendaciones.

Segundo Paso - Recopilación y suficiencia de datos

En este paso, el profesional proporcionará una definición más detallada sobre la infraestructura y las tendencias climáticas particulares que se están considerando en la evaluación. El practicante realizará un ejercicio de adquisición de datos e identificar dónde, con base en el juicio profesional, los datos son insuficientes. La insuficiencia de datos puede deberse a:

- Mala calidad
- Altos niveles de incertidumbre
- Falta total de datos

Este paso enfoca aún más la evaluación y comienza a establecer actividades para cubrir la mala calidad o datos perdidos.

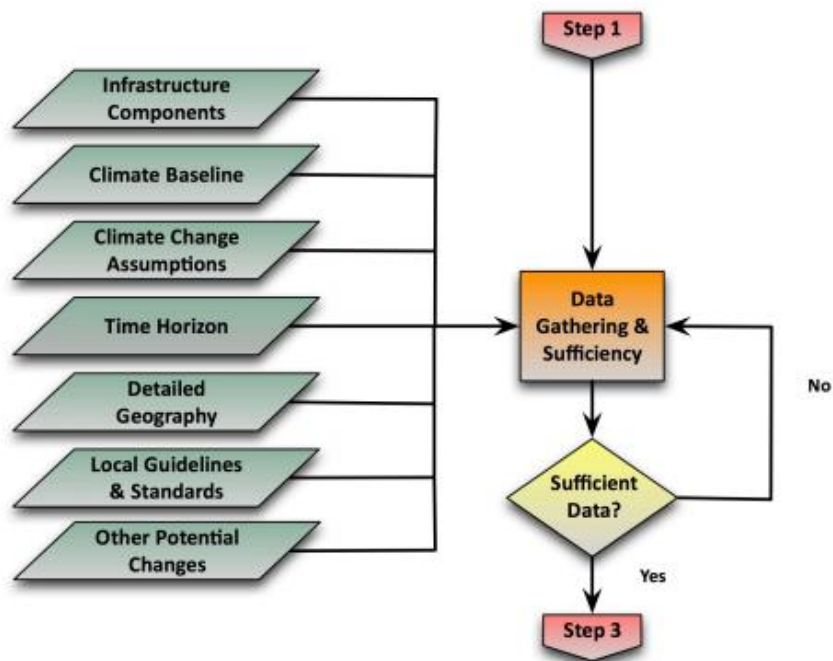


Ilustración 28- Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto

Fuente: (PIEVC Engineering Protocol, 2020)

Tercer Paso – Evaluación de riesgos

En esta sección, el profesional identificará la respuesta de la infraestructura a los eventos y tendencias climáticos. El Protocolo dirige al practicante a desarrollar:

- Una lista de fenómenos meteorológicos y tendencias climáticas relevantes
- Una lista de componentes de infraestructura relevantes.

Usando una hoja de cálculo, el profesional debe examinar las interacciones entre infraestructura y eventos climáticos que, potencialmente, podrían generar vulnerabilidad. entre los componentes de la infraestructura y los eventos climáticos se denominan interacciones.

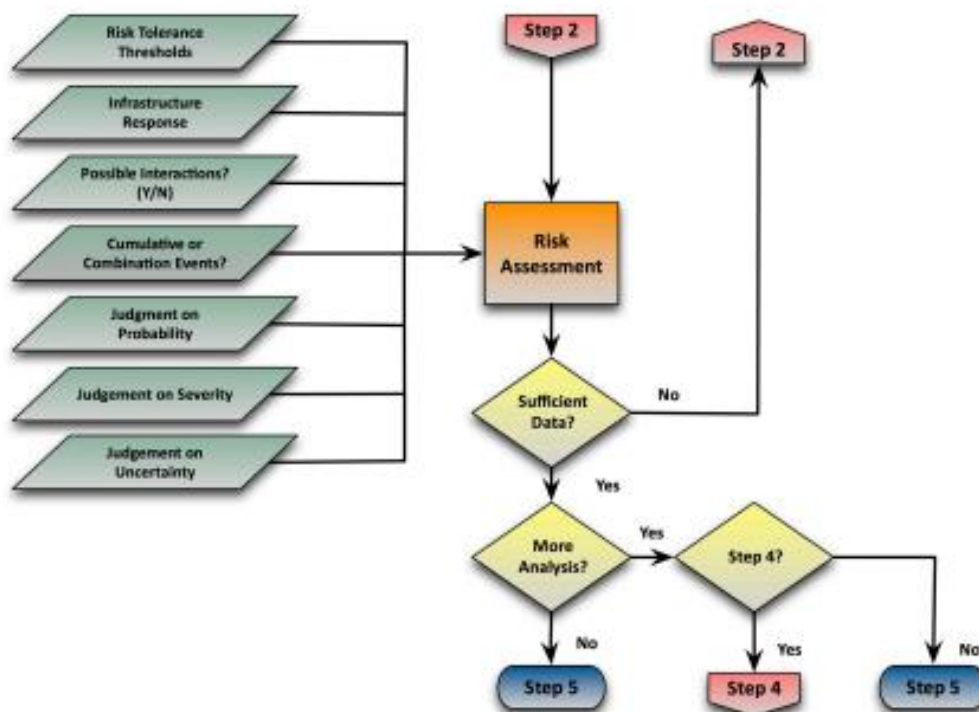


Ilustración 29 - Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto

Fuente: (PIEVC Engineering Protocol, 2020)

Cuarto Paso – Recomendaciones y Conclusiones

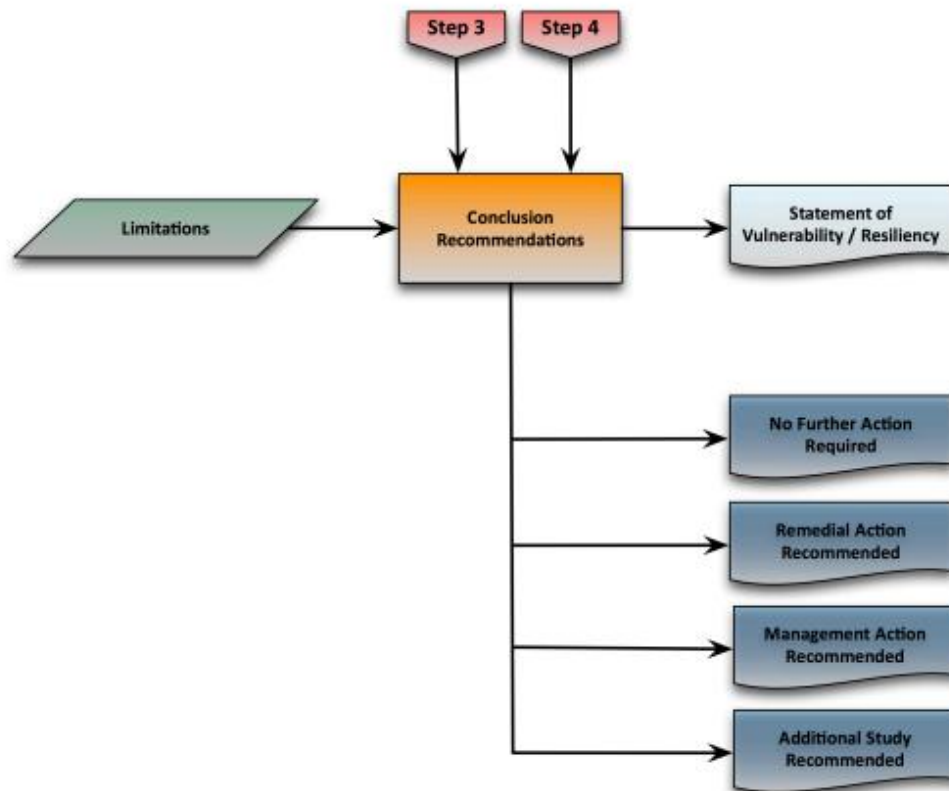


Ilustración 30- Diagrama de flujo para la definición de parámetros del proyecto

Fuente: (PIEVC Engineering Protocol, 2016)

3.2.1.1. ALCANCE

Independientemente de la fuente de origen, el propósito fundamental de llevar a cabo una evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático es dar una respuesta formal y respaldada a esa interrogante. Esta respuesta se basa en un análisis científico sólido, en la práctica de la ingeniería y en el juicio profesional bien fundamentado. El Protocolo ofrece una guía detallada para abordar dicha cuestión, y conlleva beneficios adicionales. Por ejemplo, al aplicar el Protocolo, se suelen identificar acciones que pueden implementarse de manera sencilla y con un impacto económico mínimo o sin interrupciones significativas en las operaciones comerciales. De esta forma, el Protocolo agrega un valor adicional al complementar los métodos convencionales de evaluación de la importancia de ciertos aspectos.

3.2.1.2. VENTAJAS

Exposición de los procedimientos y estructura para la planificación de evaluaciones de vulnerabilidad en proyectos de infraestructura pública. Incluye la introducción de los fundamentos de gestión de riesgos relevantes para este tipo de labor, así como la presentación de los conceptos fundamentales del análisis en el contexto de este trabajo. Además, se detalla el proceso de ocho pasos que abarca tanto la etapa de evaluación de vulnerabilidad como la fase de triple resultado del proyecto.

3.2.1.3. LIMITACIONES

Los módulos de Evaluación de Vulnerabilidad y Triple Resultado son documentos de procedimiento que por lo general no detallan la justificación de las tareas mencionadas, ya que esta información se encuentra en los Principios y Directrices. En su lugar, estos módulos ofrecen al usuario una lista secuencial de acciones que deben llevar a cabo para llevar a cabo una evaluación completa. Las hojas de trabajo, por su parte, sirven como un espacio donde el profesional puede registrar que ha completado cada paso del Protocolo y anotar sus descubrimientos.

3.2.2. INFORME HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO ORIENTADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DE LAS CRECIDAS DE RÍO CHAMELECÓN PRÓXIMAS A LA COTA 38 M S.N.M.

Este informe constituye la primera sección de un documento hidrológico-hidráulico cuyo propósito principal es evaluar la peligrosidad asociada a las crecidas del Río Chamelecón, específicamente en las proximidades de la cota 38 metros sobre el nivel del mar, considerando distintos periodos de retorno.

✓ **Generalidades**

La ubicación del proyecto se sitúa al este de la ciudad de San Pedro Sula, en las cercanías de la colonia Planos de la Fortaleza, Aldea El Corbano, Municipio de San Pedro Sula, con coordenadas UTM WGS84 386450 m Este y 1704400 m Norte. Este emplazamiento se encuentra dentro de la propiedad de CONHSA-PAYSA, en el Plantel El Corbano.

✓ **Objetivos**

Los objetivos del informe hidrológico-hidráulico son:

- Evaluar la variación de las profundidades y velocidades de las crecidas del Río Chamelecón en las proximidades del sitio del proyecto para distintas probabilidades de ocurrencia.
- Diseñar una estructura de mitigación que restrinja el ingreso de las áreas de dominio fluvial a las instalaciones del proyecto, abordando las consideraciones hidráulicas.
- Analizar la dinámica de transporte de sedimentos en la sección del Río Chamelecón sujeta a estudio.

✓ **Metodología**

En el marco de este estudio, los registros hidrométricos de la corriente en cuestión son fundamentales, aunque la continuidad en la realización de estas mediciones de forma independiente se ve desafiada por las prioridades y limitaciones existentes en las instituciones encargadas de estas tareas. Aunque se cuenta con datos hidrométricos para el Río Chamelecón provenientes de estaciones como El Tablón y Puente Chamelecón, la disponibilidad limitada de estos registros impulsa la investigación a considerar la estimación indirecta de caudales de avenida. Esta estimación se realizará mediante un análisis histórico de eventos a nivel de

Centro América, utilizando un estimador conocido como Envolverte de Creager (Naciones Unidas, 1972). Además, se empleará modelización hidrológica con software especializado para abordar este propósito.(Ábrego Suárez & CONHSA PAYSa, 2022).

→ **Estudios realizados**

El documento pretende presentar múltiples características del Río Chamelecón, algo que el documento destaca muy bien es la red de drenaje superficial del río.

- **Red de drenaje superficial**

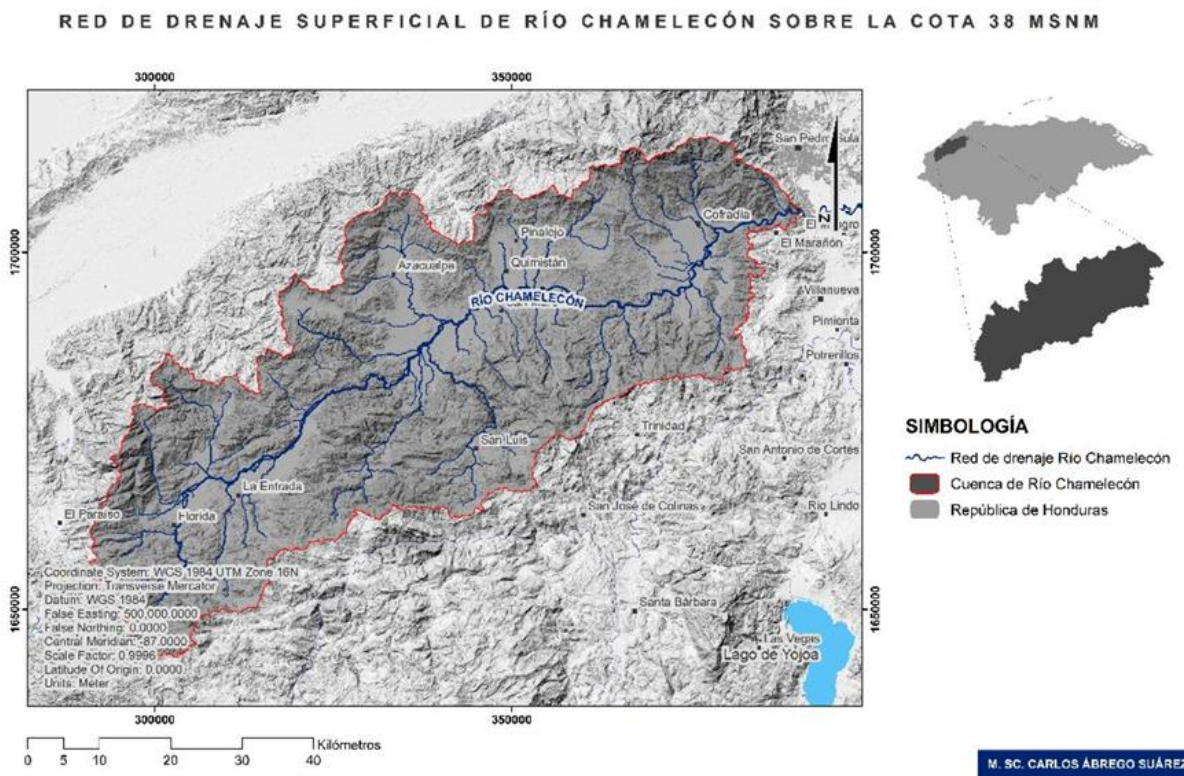


Ilustración 31 - Red de drenaje superficial de la cuenca de Río Chamelecón.

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSa, 2022).

La ilustración 31 hace referencia a la corriente principal del Río Chamelecón, ubicada sobre la cota de 38 m s.n.m., abarca aproximadamente 175 kilómetros con una pendiente promedio de 0.007 *m/m*. En cuanto a los tributarios, estos presentan pendientes que se asemejan más a las características de torrentes, siendo común observar corrientes con pendientes superiores a 0.100 *m/m* en los primeros tramos de su recorrido. Ejemplos de estos tributarios incluyen los ríos Blanco, Camalote, Nanchapa, Cacaupala, Naco y Manchagua, entre otros.

- **Serie de suelos**

La estimación de los caudales de avenida, respaldada por registros climatológicos, depende del entendimiento de las propiedades de absorción de la lámina de lluvia mediante la infiltración, considerando la textura del suelo. Además, se debe tener en cuenta la influencia de la vegetación, que actúa como una barrera al retrasar el desplazamiento de las gotas de lluvia. Esto proporciona al suelo el tiempo necesario para retener temporalmente el agua y liberarla posteriormente en forma de flujo base. (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

- **Clasificación hidrológica de los suelos**

Comprender las capacidades específicas de cada tipo de suelo para permitir la infiltración es fundamental en la estimación de la fracción de lluvia efectiva que finalmente se escurre. Este conocimiento se complementa con la interceptación de las gotas de lluvia por parte de la vegetación, lo que resulta en un retraso significativo antes de que estas gotas entren en contacto con la superficie del suelo. (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS EN LA CUENCA DE RÍO CHAMELECÓN

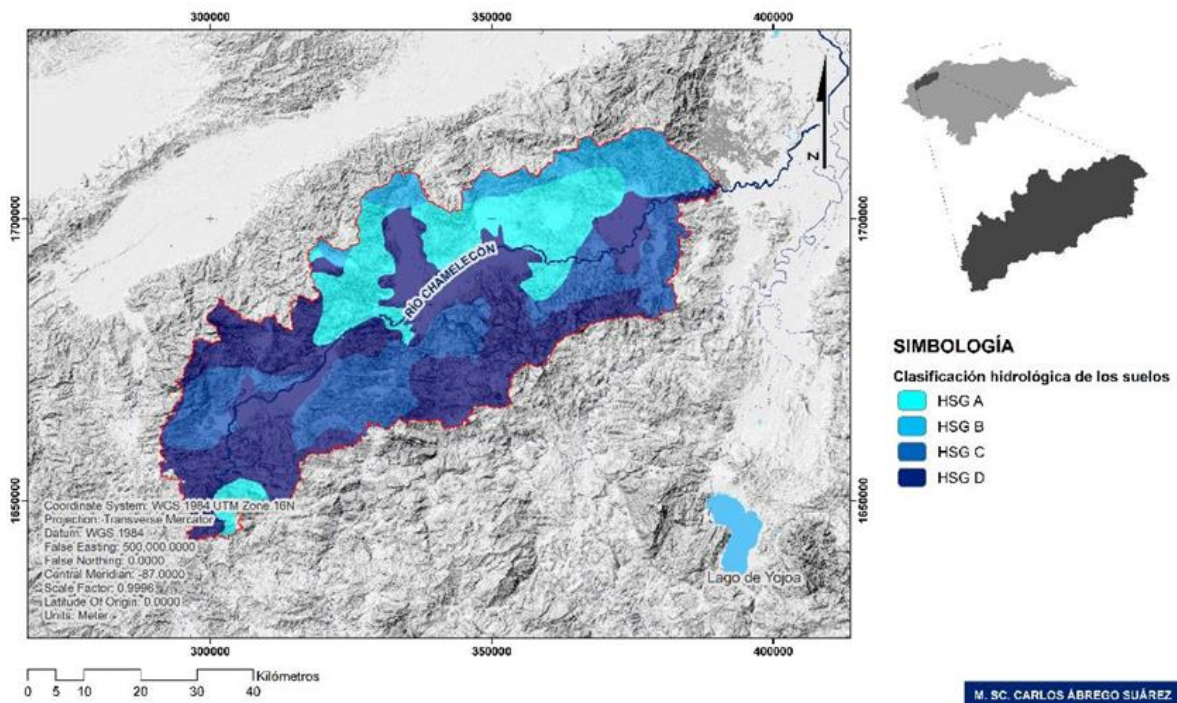


Ilustración 32 - Distribución espacial de la Clasificación Hidrológica de los Suelos (HSG) en la cuenca de Río Chamelecón

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

En la ilustración 32 vemos como se detalla la distribución espacial de esta clasificación para los suelos de la unidad hidrológica en estudio.

- **Eventos fluviales extremos recientes**

A lo largo de los últimos 50 años, el Río Chamelecón ha experimentado diversas crecidas que han ocasionado significativos daños en el Valle de Sula. Entre los eventos de especial interés se encuentran el Huracán Fifi en septiembre de 1974, la crecida generada por un frente frío en noviembre de 1990, el Huracán Gert en septiembre de 1993, el Huracán Mitch en octubre de 1998, la Depresión Tropical #15 en octubre de 2007, así como la Tormenta Tropical Eta y el Huracán Iota en noviembre de 2020, siendo estos últimos eventos registrados el 4 y 16 de noviembre de ese año, respectivamente. (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

- ✓ **Conclusiones relevantes**

Con respecto a los resultados obtenidos en la estimación de las crecidas del Río Chamelecón:

- Las propiedades morfométricas de la cuenca del Río Chamelecón juegan un papel crucial en la configuración del hidrograma de respuesta, lo que naturalmente conduce a una distribución gradual de la mayor parte de sus volúmenes a lo largo de varios días. Este fenómeno minimiza el desarrollo de avenidas con características típicas de zonas similares, pero con una red superficial de tipo dendrítico.
- Las crecidas atípicas del Río Chamelecón exhiben un tiempo base de al menos 48 horas, una respuesta directa a la morfometría de la cuenca y a las propiedades de infiltración del suelo, lo que permite mantener el flujo base de manera prolongada. Varios mecanismos utilizados para la estimación de caudales de diseño han identificado la crecida recurrente asociada a un período de retorno de 5 años, con una estimación cercana a los 1000 m³/s.

En relación con los resultados de la simulación hidráulica en el cauce fluvial del Río Chamelecón:

- La simulación en condiciones naturales confirma que el Río Chamelecón se desplaza hacia su margen izquierda para aliviar sus flujos, provocando la inundación total de la

vega cuando el cauce menor no puede contener los volúmenes que superan los 1000 a 1500 m³/s.

- Las velocidades en este tramo podrían considerarse moderadas, ya que el segmento analizado tiene una pendiente baja, lo que explica la presencia de la vega en la margen izquierda. El plantel se encuentra en una cota baja en su sector noroeste, por lo que es necesario nivelar el terreno a una cota de 53 m s.n.m.
- Un terraplén solo podría proteger una parte del plantel; sin embargo, el sector noroeste no podría protegerse sin cortar el acceso a la planta de agregados.
- La crecida de diseño muestra una duración de al menos 48 horas, siendo el tiempo mínimo en el cual las avenidas más críticas entrarían en contacto con la planicie de inundación, estimado en alrededor de 9 horas. (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

3.2.3. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DE COPECO

La Secretaría de Estado en los Despachos de Gestión de Riesgos y Contingencias Nacionales de Honduras, conocida como COPECO, es una entidad establecida para coordinar las acciones de organizaciones públicas y privadas en relación con los desastres. Esta entidad opera dentro del marco del Sistema de Administración de Riesgo Nacional de la República de Honduras. La función principal de COPECO es abordar la prevención, mitigación y atención de desastres naturales en Honduras. Por esta razón cuentan con información valiosa para la aplicación de este protocolo.

En la tabla 1, se detalla toda la información hidrológica de la tormenta OT 2018, esta información es necesaria para determinar la estación de donde se extrajo la información de los milímetros de precipitación que cayó por día.

Tabla 1 - Información hidrológica de la tormenta OT 2018

OT 2018										
Name	Operador	Lat	Long	Basin	Daily rain (mm)					
					3-oct	4-oct	5-oct	6-oct	7-oct	
Jacaleapa	CENAOS	14.01667	-86.66667	Choluteca	9.7	15.8	17.9	82.1	35.7	161.2
Santa Lucia	CENAOS	14.11555	-87.11687	Choluteca	20.1	22.4	46.3	87	29.5	205.3

Oropoli	DGRH	13.82524	-86.81810	Choluteca	10.4	10.3	23.5	47	0	91.2
Liure	DGRH	13.53355	-87.09003	Choluteca	0	37.4	114	190.1	7.7	349.2
Azacualpa	DGRH	13.94601	-87.11421	Choluteca	12.3	14.5	59.5	59.5	32.4	178.2
Guinope	DGRH	13.88402	-86.94487	Choluteca	19.3	3.8	58.5	58.3	16.9	156.8
Las Arenas	DGRH	13.34921	-87.38800	Choluteca	31.6	60.9	147.9	238.5	10.8	489.7
Linaca	DGRH	13.99502	-87.10177	Choluteca	5.3	5	76.7	7.5	1.3	95.8
Maraita	CENAOS	13.88613	-87.03761	Choluteca	8.5	9.5	75.1	120.5	26.7	240.3
Marcovia	DGRH	13.28837	-87.31049	Choluteca	30.2	50.3	67.4	60.3	10.3	218.5
Nueva Armenia	DGRH	13.75366	-87.16367	Choluteca	19.5	20.1	60.5	145.3	9.1	254.5
Potrerrillos	DGRH	14.00372	-86.76664	Choluteca	10.5	3.8	65.2	59.1	0.5	139.1
Texiguat	DGRH	13.64527	-87.01844	Choluteca	31.5	13.2	96.5	207.4	4.6	353.2
San Lucas	DGRH	13.73881	-86.95429	Choluteca	17.2	44.3	199.3	18.4	94.6	373.8
21 de octubre	CENAOS	14.10525	-87.14229	Choluteca	0	21.6	32.3	87.4	29.6	170.9
Toncontin	AHAC	14.05943	-87.21623	Choluteca	4.6	33.4	40.4	74.5	1.9	154.8
El Chimbo-auto	CENAOS	14.13055	-87.12596	Choluteca	1.1	28.6	28.6	65.6	26.4	150.3
San Matías-auto	CENAOS	14.14463	-87.38143	Choluteca	4.9	13.8	18	81.2	30.4	148.3
Santa Lucía-auto	CENAOS	14.11577	-87.11708	Choluteca	4.1	19.5	21.5	58.0	13.2	116.3
Tegucigalpa-auto	CENAOS	14.09540	-87.20341	Choluteca	0.5	31.1	26.4	72.4	28.3	158.7
El Cedrito	DGRH	13.10700	-87.06519	Coco	38.2	64.9	68.8	66.8	20.8	259.5
San Marcos de Colon	DGRH	13.43750	-86.80139	Coco	76.9	75.3	135.8	46.7	76.3	411
Goascoran	DGRH	13.61000	-87.75423	Goascoran	4.2	23.1	84.5	96.6	4.2	212.6
Caridad-auto	CENAOS	13.83092	-87.69265	Goascoran	0	1	18.4	53	41.8	114.2
Amapala	CENAOS	13.29468	-87.65322	Nacaome	9.7	63.6	102.8	163.8	20.5	360.4
Sabana Grande	CENAOS	13.80056	-87.25555	Nacaome	13	26.3	52.6	123.9	54	269.8
Reitoca	DGRH	13.82700	-87.46551	Nacaome	0	170.9	30.8	10.1	60.9	272.7
Coray-auto	CENAOS	13.66073	-87.53309	Nacaome	13.4	31.2	45.6	129.4	21.6	241.2
Lepaterique-auto	CENAOS	14.06460	-87.47315	Nacaome	5.7	3.0	10.7	52.1	44.2	115.7
Langue-auto	CENAOS	13.62107	-87.65289	Nacaome	7.6	5.4	34.8	91.4	16.4	155.6
Choluteca	AHAC	13.31800	-87.15364	Sampile	22.1	53.7	48.7	201.6	78.7	404.8
Namasigue	DGRH	13.20013	-87.13958	Sampile	40.2	44.6	81.2	51.3	15	232.3
El Carrizo	CENAOS	13.230753	-87.267511	Sampile	10.5	75.4	96.5	211.9	84.7	479
El Corpus-auto	CENAOS	13.288773	-87.047828	Sampile	66.8	47	48.2	150.2	92.6	404.8
Ocotepeque	CENAOS	14.43	-89.19	Lempa	0	0	6	0.7	8	14.7
Aeropuerto La Ceiba	AHAC	15.75	-86.84		0	16.8	0	0	5.9	22.7
Tela	AHAC	15.78	-87.47		15.8	41.2	62.6	30.2		149.8
El Carrizo	COPECO	13.23	-87.27		1.3	0.3	29.8	1.2	61.5	94.1

Aeropuerto Choluteca	AHAC	13.32	-87.15		22.1	53.7	48.7	201.6	78.7	404.8
Balfate	COPECO	15.78	-86.38		24.9	35.5	67.5	4.4	0	132.3
Aeródromo Trujillo	AHAC	15.93	-85.94		0	43.8	6.2	31.4	0	81.4
Palmerola	AHAC	14.38	-87.62							
Flores	COPECO	14.23	-87.55		5.1	3.1	5	45.4	10.8	69.4
Santa Rosa de Copan	AHAC	14.78	-88.77		11.2	4.5	8.8	5.2	2.2	31.9
La Mesa	AHAC	15.45	-87.93		0	8.1	20.7	26.6	5	60.4
Omoa	COPECO	15.78	-88.04		21.1	31.7	63.4	121.1	18.1	255.4
Jacaleapa	COPECO	14.02	-86.67		9.7	15.8	17.9	82.1	35.7	161.2
Aguacaliente	COPECO	14.68	-87.29		0	2.5	1.2	68.5	21.8	94
Sabana Grande	COPECO	13.80	-87.26		13	26.3	52.6	123.9	54	269.8
21 De octubre	COPECO	14.11	-87.14		TRZ	21.6	32.3	87.4	29.6	170.9
Toncontin	AHAC	14.06	-87.22		4.6	33.4	40.4	74.5	1.9	154.8
Puerto Lempira	AHAC	15.26	-83.78		7	19.9	23.6	4.3	0.5	55.3
La Esperanza	COPECO	14.29	-88.17		0.6	0	6.3	14.3	10	31.2
Roatan	AHAC	16.32	-86.53		24.2	29.8	27	29	2	112
Gracias	AHAC	14.57	-88.59							
Ocotepeque	COPECO	14.43	-89.19		0	0	6	0.7	8	14.7
La Labor	COPECO	14.49	-89.00		0	0	0	0	0	
Lepaguare	COPECO	14.62	-86.45		13.2	0.6	14.6	27.4	2	57.8
Catacamas	AHAC	14.84	-85.87		1.4	5.1	33.7	12.2	0.7	53.1
Las Galeras	COPECO	14.94	-88.24		2.7	3.5	12.2	12	7.8	38.2
Yoro	COPECO	15.12	-87.13		15.6	1.2	13.2	20.8	1	51.8
Olanchito	COPECO	15.47	-86.55		6.1	2.9	13.4	0.5	0.9	23.8

Fuente: (C. COPECO, 2023)

En la tabla 2, se proporciona de manera detallada toda la información hidrológica correspondiente al huracán ETA en el 2020. Esta información resulta fundamental en el protocolo para identificar la estación meteorológica de la cual se extrajeron los datos relacionados con los milímetros de precipitación que se registraron diariamente.

Tabla 2 - Información hidrológica del huracán ETA en el 2020

ETA 2020											
Name	Operador	Lat	Long	Daily rain (mm)							
				31- oct	1- nov	2- nov	3- nov	4- nov	5- nov		6- nov
Jacaleapa	CENAOS	14.01667	-86.66667								0
Santa Lucia	CENAOS	14.11555	-87.11687								0
Oropoli	DGRH	13.82524	-86.81810								0
Liure	DGRH	13.53355	-87.09003								0
Azacualpa	DGRH	13.94601	-87.11421								0
Guinope	DGRH	13.88402	-86.94487								0
Las Arenas	DGRH	13.34921	-87.38800								0
Linaca	DGRH	13.99502	-87.10177								0
Maraita	CENAOS	13.88613	-87.03761								0
Marcovia	DGRH	13.28837	-87.31049								0
Nueva Armenia	DGRH	13.75366	-87.16367								0
Potrillo	DGRH	14.00372	-86.76664								0
Texiguat	DGRH	13.64527	-87.01844								0
San Lucas	DGRH	13.73881	-86.95429								0
21 de octubre	CENAOS	14.10525	-87.14229								0
Toncontin	AHAC	14.05943	-87.21623								0
El Chimbo-auto	CENAOS	14.13055	-87.12596								0
San Matías-auto	CENAOS	14.14463	-87.38143								0
Santa Lucia-auto	CENAOS	14.11577	-87.11708								0
Tegucigalpa-auto	CENAOS	14.09540	-87.20341								0
El Cedrito	DGRH	13.10700	-87.06519								0
San Marcos de Colon	DGRH	13.43750	-86.80139								0
Goascoran	DGRH	13.61000	-87.75423								0
Caridad-auto	CENAOS	13.83092	-87.69265								0

Amapala	CENAOS	13.29468	-87.65322								0
Sabana Grande	CENAOS	13.80056	-87.25555								0
Reitoca	DGRH	13.82700	-87.46551								0
Coray-auto	CENAOS	13.66073	-87.53309								0
Lepaterique-auto	CENAOS	14.06460	-87.47315								0
Languauto	CENAOS	13.62107	-87.65289								0
Aeropuerto La Ceiba	AHAC	15.75	-86.84	3.4	40.1	217.3	141	306.1	4.5	33	707.9
Tela	AHAC	15.78	-87.47	19.8	32.3	239.9	97.1	354.8	75.5	3.7	743.9
El Carrizo	COPECO	13.23	-87.27	0.1	0	0	1.4	11.8	13.6	45	13.3
Aeropuerto Choluteca	AHAC	13.32	-87.15	0.8	0	6	1.7	12.3	26.7	48.6	20.8
Balfate	COPECO	15.78	-86.38	0	88.3	131	186.1	174.5	38.7	7.5	579.9
Aeródromo Trujillo	AHAC	15.93	-85.94	7.7	110.6	56.3	148.1	139.1	0.2	38.1	461.8
Palmerola	AHAC	14.38	-87.62								
Flores	COPECO	14.23	-87.55	27.1	4.6	3.2	4.5	50.1	35.7	5.1	89.5
Santa Rosa de Copan	AHAC	14.78	-88.77	6	7.8	11.1	17.4	43.6	125.2	7.1	85.9
La Mesa	AHAC	15.45	-87.93	2.1	31.3	67	87.2	82.7			270.3
Omoa	COPECO	15.78	-88.04	25.7	11.9	88.3	49.6	251.5	124.8	13.6	427
Jacalepa	COPECO	14.02	-86.67	2.8	0	0	2.7	64.4	38.5	10.2	69.9
Aguacaliente	COPECO	14.68	-87.29	9	0.5	7.7	22	58.4	22.2	2.4	97.6
Sabana Grande	COPECO	13.80	-87.26	0	0	0	0	46.2	82.1	113.5	46.2
21 De octubre	COPECO	14.11	-87.14	2.9	TRZ	0.5	4.4	104.9	16.2	2.7	112.7
Toncontin	AHAC	14.06	-87.22	0	0	1.3	10.9	78.2	0.6	4	95
Puerto Lempira	AHAC	15.26	-83.78	0	41.6	134.4	15.1	6.8	10.5	0	197.9
La Esperanza	COPECO	14.29	-88.17	1.3	0.2	4.9	17.3	30.6	12.4	9.6	54.3
Roatan	AHAC	16.32	-86.53	0	50.6	54	32.6	83.9	12.2	3.4	221.1
Gracias	AHAC	14.57	-88.59	0	1.7	6.6	17.8	42	81	20	68.1
Ocotepeque	COPECO	14.43	-89.19	1.9	0	0.3	1.6	8.8	86.2	1.3	12.6
La Labor	COPECO	14.49	-89.00	3	0.7	1	0.9	14.2	81.8	6.5	19.8

Lepaguar e	COPECO	14.62	-86.45	8.9	0	2.4	62.2	71.1	66	10.8	144.6
Catacamas	AHAC	14.84	-85.87	0	0	8.5	85.4	32.3	2.2	0.6	126.2
Las Galeras	COPECO	14.94	-88.24	0	8.7	20.2	26.9	117.5	217	8.6	173.3
Yoro	COPECO	15.12	-87.13	0	6.7	112.3	172.7	93.3	0.4	18	385
Olanchito	COPECO	15.47	-86.55	4.1	22.9	104.7	146.8	140.8	2.8	3.2	419.3

Fuente: (C. COPECO, 2023)

En la tabla 3, se presenta de forma detallada toda la información hidrológica relacionada con el huracán IOTA en el año 2020. Esta información es esencial en el protocolo para identificar la estación meteorológica de la cual se extrajeron los datos relativos a los milímetros de precipitación registrados diariamente.

Tabla 3 - Información hidrológica del huracán IOTA en el 2020

IOTA 2020							
Name	Operador	Lat	Long	Daily rain (mm)			
				16-nov	17-nov	18-nov	
Jacaleapa	CENAOS	14.01667	-86.66667				0
Santa Lucia	CENAOS	14.11555	-87.11687				0
Oropoli	DGRH	13.82524	-86.81810				0
Liure	DGRH	13.53355	-87.09003				0
Azacualpa	DGRH	13.94601	-87.11421				0
Guinope	DGRH	13.88402	-86.94487				0
Las Arenas	DGRH	13.34921	-87.38800				0
Linaca	DGRH	13.99502	-87.10177				0
Maraita	CENAOS	13.88613	-87.03761				0
Marcovia	DGRH	13.28837	-87.31049				0
Nueva Armenia	DGRH	13.75366	-87.16367				0
Potrerrillos	DGRH	14.00372	-86.76664				0

Texiguat	DGRH	13.64527	-87.01844				0
San Lucas	DGRH	13.73881	-86.95429				0
21 de octubre	CENAOS	14.10525	-87.14229				0
Toncontin	AHAC	14.05943	-87.21623				0
El Chimbo- auto	CENAOS	14.13055	-87.12596				0
San Matías- auto	CENAOS	14.14463	-87.38143				0
Santa Lucia- auto	CENAOS	14.11577	-87.11708				0
Tegucigalpa- auto	CENAOS	14.09540	-87.20341				0
El Cedrito	DGRH	13.10700	-87.06519				0
San Marcos de Colon	DGRH	13.43750	-86.80139				0
Goascoran	DGRH	13.61000	-87.75423				0
Caridad-auto	CENAOS	13.83092	-87.69265				0
Amapala	CENAOS	13.29468	-87.65322				0
Sabana Grande	CENAOS	13.80056	-87.25555				0
Reitoca	DGRH	13.82700	-87.46551				0
Aeropuerto La Ceiba	AHAC	15.75	-86.84	86.1	219	9.6	314.7
Tela	AHAC	15.78	-87.47	4.8	133	37	174.8
El Carrizo	COPECO	13.23	-87.27	0	9.5	29.3	38.8
Aeropuerto Choluteca	AHAC	13.32	-87.15	0	13	37.4	50.4
Balfate	COPECO	15.78	-86.38	54	172.7	17.8	244.5
Aeródromo Trujillo	AHAC	15.93	-85.94	28	136.4	13.4	177.8
Palmerola	AHAC	14.38	-87.62				

Flores	COPECO	14.23	-87.55	0	25.5	50.7	76.2
Santa Rosa de Copan	AHAC	14.78	-88.77	6.8	51.9	103	161.7
La Mesa	AHAC	15.45	-87.93				
Omoa	COPECO	15.78	-88.04	11.3	119	65.9	196.2
Jacaleapa	COPECO	14.02	-86.67	0.1	60.6	7.7	68.4
Aguacaliente	COPECO	14.68	-87.29	0	30	37.5	67.5
Sabana Grande	COPECO	13.80	-87.26	0	32.1	33.7	65.8
21 De octubre	COPECO	14.11	-87.14		82.7	17.5	100.2
Toncontin	AHAC	14.06	-87.22	0	46.4	9.6	56
Puerto Lempira	AHAC	15.26	-83.78	55.2	83.2	2.1	140.5
La Esperanza	COPECO	14.29	-88.17	1.8	78.4	22.3	102.5
Roatan	AHAC	16.32	-86.53	28.4	66	18.2	112.6
Gracias	AHAC	14.57	-88.59	1	49	65.1	115.1
Ocotepeque	COPECO	14.43	-89.19	0	3.8	46.8	50.6
La Labor	COPECO	14.49	-89.00	4.5	12.1	46.3	62.9
Lepaguare	COPECO	14.62	-86.45	3.8	66	18.3	88.1
Catacamas	AHAC	14.84	-85.87	25.5	52.2	20.3	98
Las Galeras	COPECO	14.94	-88.24	0.2	127.9	133.3	261.4
Yoro	COPECO	15.12	-87.13	14.8	135.8	7.4	158
Olanchito	COPECO	15.47	-86.55	35.3	168.5	17.8	221.6

Fuente: (C. COPECO, 2023)

En la tabla 4, se exhibe de manera minuciosa toda la información hidrológica asociada a JULIA 2023. Este conjunto de datos resulta fundamental en la aplicación del protocolo PIEVC, ya que en la tabla se especifica la estación meteorológica de la cual se obtuvieron los datos correspondientes a la cantidad de milímetros de precipitación registrados a diario.

Tabla 4 - Información hidrológica JULIA 2023

Julia									
Name	Operador	Lat	Long	Daily rain (mm)					
				6-oct	7-oct	8-oct	9-oct	10-oct	
Ocatepeque	CENAOS	14.43	-89.19	0	0	0	0.6	64.7	0
Aeropuerto La Ceiba	AHAC	15.75	-86.84	0	3.6	26	87.1	3.8	120.5
Tela	AHAC	15.78	-87.47	28.7	82.5	35.8	142.7	1.3	147
El Carrizo	COPECO	13.23	-87.27	0	3.8	8.5	1	63.2	12.3
Aeropuerto Choluteca	AHAC	13.32	-87.15	0	0	0.2	1.9	58.4	0.2
Balfate	COPECO	15.78	-86.38	7.5	19.4	64.1	268	0	91
Aeródromo Trujillo	AHAC	15.93	-85.94	0	45.5	55.1	93.2	3.1	100.6
Palmerola	AHAC	14.38	-87.62	0	0	5.5	15.1	11.3	
Flores	COPECO	14.23	-87.55	0	2.2	0.4	4.1	18.7	2.6
Santa Rosa de Copan	AHAC	14.78	-88.77	0	3.3	15.9	19.5	20.6	19.2
La Mesa	AHAC	15.45	-87.93	2.2	1.6	59.4	36.4	5.4	
Omoa	COPECO	15.78	-88.04	27.2	103.1	81.4	127.8	30.3	211.7
Jacaleapa	COPECO	14.02	-86.67	0	0	5.6	11.8	27.9	5.6
Aguacaliente	COPECO	14.68	-87.29	1.2	0	0	2.3	2.8	1.2
Sabana Grande	COPECO	13.80	-87.26	0	1.7	0	9.5	92	1.7
21 De octubre	COPECO	14.11	-87.14	0	1.1	1.1	11.5	18.4	2.2
Toncontin	AHAC	14.06	-87.22	1	0	1.1	13.1	11.9	2.1

Puerto Lempira	AHAC	15.26	-83.78	28.8	68.3	12	30	9	109.1
La Esperanza	COPECO	14.29	-88.17	0	0.2	0.8	37.1	36.4	1
Roatan	AHAC	16.32	-86.53	39	30.4	6.6	39	49.6	76
Gracias	AHAC	14.57	-88.59	0	0	8	13.8	53.1	8
Ocotepeque	COPECO	14.43	-89.19	0	0	0	0.6	64.7	0
La Labor	COPECO	14.49	-89.00	0	0	3.2	17	98.5	3.2
Lepaguare	COPECO	14.62	-86.45	4.8	8.6	2.8	23.2	19	16.2
Catacamas	AHAC	14.84	-85.87	0.2	1.7	1	23.1	14.9	2.9
Las Galeras	COPECO	14.94	-88.24	0	2	30.3	52.8	8.9	32.3
Yoro	COPECO	15.12	-87.13	1.6	3.4	12.4	13.9	1.4	17.4
Olanchito	COPECO	15.47	-86.55	0	5.4	39.3	58	0.8	44.7

Fuente: (C. COPECO, 2023)

En la tabla 5, se presenta de forma detallada toda la información hidrológica relacionada con TTPILAR 2023. Este conjunto de datos es crucial en la implementación del protocolo PIEVC, ya que en el cuadro se especifica la estación meteorológica de la cual se extrajeron los datos relativos a la cantidad de milímetros de precipitación registrados diariamente.

Tabla 5 - Información hidrológica TTPILAR 2023

Pilar									
Name	Operador	Lat	Long	Daily rain (mm)					
				2- nov	3- nov	4- nov	5- nov	6- nov	
Aeropuerto La Ceiba	AHAC	15.75	-86.84	21.9	110.4	13.8	31.9	9.2	187.2
Tela	AHAC	15.78	-87.47	74	283.7	71	7.9	14.7	451.3
El Carrizo	COPECO	13.23	-87.27	0.7	15.3	0	6.5	18.7	41.2
Aeropuerto Choluteca	AHAC	13.32	-87.15	504.2	15.7	0.5	0.3	11.5	532.2
Balfate	COPECO	15.78	-86.38	27.5	127	10.9	5.6	27	198

Aeródromo Trujillo	AHAC	15.93	-85.94	129	57.8	11.5	22.9	30.9	252.1
Palmerola	AHAC	14.38	-87.62	0.6	6.4	18.2	19	8.9	53.1
Flores	COPECO	14.23	-87.55	8.9	3.3	0.1	15.6	19.5	47.4
Santa Rosa de Copan	AHAC	14.78	-88.77	0	0	0	0	2.2	2.2
La Mesa	AHAC	15.45	-87.93	51.8	95.1	15	17	2	180.9
Omoa	COPECO	15.78	-88.04	265.8	208.5	88.8	60.8	69.5	693.4
Jacaleapa	COPECO	14.02	-86.67	0	0	10.7	17.6	13.5	41.8
Aguacaliente	COPECO	14.68	-87.29	5.4	5.8	1.7	10.9	7.3	31.1
Sabana Grande	COPECO	13.80	-87.26	4.7	0	0	0	22.3	27
21 De octubre	COPECO	14.11	-87.14	5.1	3.4	8.9	23.4	4.3	45.1
Toncontin	AHAC	14.06	-87.22	0.3	0.5	13.8	21	6.9	42.5
Puerto Lempira	AHAC	15.26	-83.78	1.3	0.2	0	0	0	1.5
La Esperanza	COPECO	14.29	-88.17	21.4	2.3	2.2	14.2	1.6	41.7
Roatan	AHAC	16.32	-86.53	40.1	109.4	40.2	41	38.1	268.8
Gracias	AHAC	14.57	-88.59	10.2	10.2	6	6	27.8	60.2
Ocotepeque	COPECO	14.43	-89.19	0	0.2	0.3	3.3	13.5	17.3
La Labor	COPECO	14.49	-89.00	0.8	7.6	0.8	6	25	40.2
Lepaguare	COPECO	14.62	-86.45	0.8	33	4.4	25.2	49.4	112.8
Catacamas	AHAC	14.84	-85.87	0.9	14.1	0.8	3	12.2	31
Las Galeras	COPECO	14.94	-88.24	26.4	9.3	11.3	17.4	28.8	93.2
Yoro	COPECO	15.12	-87.13	11.8	36	4.6	2.8	8.6	63.8
Olanchito	COPECO	15.47	-86.55	9.5	53.9	5.7	9.9	20.9	99.9

Fuente: (C. COPECO, 2023)

3.3. CONCEPTUALIZACIÓN

A continuación, se presentan algunos términos que se utilizarán a lo largo de este estudio y sus respectivos significados para brindarle al lector una mejor comprensión de los términos utilizados en la información de este proyecto.

Protocolo PIEVC

"Según (Engineers Canada & CICH, 2013) es una metodología para identificar, evaluar y priorizar información, interacciones y respuestas de los componentes de infraestructura en estudio a los impactos del cambio climático a través de un proceso sistemático de evaluación de riesgos de cinco pasos y análisis técnico selectivo.

Desastre

Según (Ortiz et al., 2014) Esto no sólo causa graves perturbaciones en el funcionamiento de la comunidad o sociedad, provocando la muerte de muchas personas, sino que también provoca pérdidas materiales, económicas y ambientales y hace que la comunidad o sociedad afectada no pueda resolver la situación por sí sola. Se define como causante. recursos propios. recursos propios.

Cambio Climático

(Ortiz et al., 2014) Define el cambio climático como "un cambio en las condiciones climáticas que puede determinarse mediante pruebas estadísticas o de otro modo y que es persistente como resultado de cambios en el valor medio y/o la variabilidad de una característica durante un largo período de tiempo, generalmente décadas o más". El cambio climático puede ser causado por cambios en procesos naturales internos o fuerzas externas, o por cambios antropogénicos en curso en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

Vulnerabilidad

"(Ortiz et al., 2014) Define vulnerabilidad como las características y condiciones de una comunidad, sistema o activo que lo hacen vulnerable a los efectos nocivos de una amenaza. Diferentes factores físicos, sociales, económicos y ambientales dan lugar a diferentes aspectos de la vulnerabilidad. Los ejemplos también incluyen diseño y construcción de edificios

deficientes, protección inadecuada de activos, falta de información y concientización pública, falta de concientización y capacitación formal sobre riesgos y falta de atención a una gestión ambiental consciente o prudente. Añadió que la vulnerabilidad varía ampliamente dentro de las comunidades y a lo largo del tiempo. Esta definición define la vulnerabilidad como una característica de una entidad de interés (comunidad, sistema o activo), independientemente de su exposición. Sin embargo, en un sentido general, la palabra se utiliza a menudo de manera más amplia para abarcar el grado en que ese elemento se ve afectado."

El niño Oscilación del Sur (ENOS)

"Debido a las complejas interacciones entre el Océano Pacífico tropical y la atmósfera de la Tierra, los océanos y los patrones climáticos en muchas partes del mundo cambian periódicamente, a menudo durante meses, con graves consecuencias como la destrucción de hábitats marinos, precipitaciones e inundaciones, sequías y cambios en patrones de tormenta".(Ortiz et al., 2014).

Gases de efecto invernadero

"Componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja de la superficie terrestre, de la propia atmósfera y de las nubes. Sustancias naturales y artificiales que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitida por la Tierra. superficie, atmósfera y nubes. Es un gas que forma la atmósfera de origen antrópico. Esta propiedad provoca el efecto invernadero." (Ortiz et al., 2014)

Resiliencia

"Según (Ortiz et al., 2014) La resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad amenazada para responder, absorber, adaptarse y recuperarse de manera oportuna y eficaz, incluido el mantenimiento y la restauración de la estructura y función básicas.

Análisis de Riesgo

"Según (Morales & Mayora, 2010) En su forma más simple, este análisis considera las fuentes y las interacciones de los peligros y las vulnerabilidades de los elementos afectados para

determinar los posibles resultados, impactos y consecuencias sociales, económicos y ambientales asociados con uno o más eventos peligrosos. En relación con regiones y grupos o unidades socioeconómicas específicas. Si uno o más de estos parámetros cambian, el riesgo en sí, es decir, los costos y consecuencias totales esperados en el área preparada, cambiará.

Emplazamientos

“De acuerdo con (USAT, 2016) La ubicación permite analizar la presencia previa de un edificio, tanto natural (plantas, árboles) como artificial (edificios adyacentes, perfil del entorno urbano), para determinar si un edificio pertenece a este lugar. Ignora la dirección del sol y del viento”.

3.4. MARCO LEGAL

En este apartado se enlistan bajo que leyes se contempló dirigir la investigación en el ámbito legal. Específicamente las leyes para la prevención de desastres naturales ante los impactos del cambio climático, sobre todo para la índole de tormentas tropicales.

LEY DE CAMBIO CLIMÁTICO

TITULO I

PRINCIPIOS GENERALES

CAPITULO I

OBJETIVO, PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS

ARTÍCULO 1. - El Objetivo de la presente Ley es establecer los principios y regulaciones necesarios para planificar, prevenir y responder de manera adecuada, coordinada y sostenida a los impactos que genera el cambio climático en el país.(Congreso Nacional, 2013)

ARTÍCULO 3.- La gestión, creación y establecimiento de medidas de prevención, adaptación y mitigación dirigidas a contrarrestar las amenazas y potenciales peligros que paulatinamente están afectando a nuestros recursos naturales por el fenómeno conocido como cambio climático, es responsabilidad de la Secretaría de Estado en los Despacho de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) y demás instancias creadas por esta Ley y otras vigentes. (Congreso Nacional, 2013).

CAPÍTULO II

INICIATIVAS DE LA ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMATICO, SU PLAN DE ACCIÓN Y SU VINCULACIÓN AL PLAN DE NACIÓN

ARTÍCULO 26.- Con base en el Plan de Acción Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático, las instituciones públicas que corresponda deben contar con planes estratégicos institucionales, los que se deben revisar y actualizar periódicamente. La Secretaría de Estado en los Despachos Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), la Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa (SEPLAN), la Secretaría de Estado en el Despacho de Finanzas (SEFIN) y las autoridades municipales, deben apoyar la elaboración de estos planes. Con prioridad se deben desarrollar planes estratégicos y operativos, al menos, en las siguientes instituciones, según la temática especificada: (Congreso Nacional, 2013)

5) Infraestructura. La Secretaría de Estado en los Despachos de Obras Públicas, Transporte y Vivienda (SOPTRAVI), otras instituciones Públicas que corresponda y las Municipalidades, deben adoptar estándares de diseño y construcción de obra física que tomen en cuenta la variabilidad y el cambio climático de acuerdo con las características de las diferentes regiones del país. (Congreso Nacional, 2013)

ARTICULO 27.- El sector productivo, empresarial y económico del país, en la prestación de servicios y producciones de bienes, debe considerar la variabilidad y el cambio climático, así como las condiciones propias de las diferentes regiones, incluidos los conocimientos tradicionales y ancestrales apropiados de sus habitantes, aprovechando las tecnologías apropiadas, limpias y amigables con el ambiente y con las condiciones ecológicas y biofísicas del país. Así también, debe adoptar nuevas prácticas productivas alineadas al enfoque de cambio climático (Congreso Nacional, 2013)

ARTÍCULO 28.- Las instituciones del Gobierno Central, las Municipalidades, las Autoridades de Cuencas, Consejos de Desarrollo Municipales y los usuarios de los recursos hídricos, deben fortalecer e introducir medidas para asegurar una mejor reproducción del ciclo hidrológico, controlando la deforestación, la degradación de ecosistemas forestales y suelos y el cambio de uso de la tierra, especialmente en zonas de recarga hídrica y franjas ribereñas. (Congreso Nacional, 2013)

ARTÍCULO 29.- La Secretaría de Estado en los Despachos Agricultura y Ganadería (SAG) y la Secretaría de Estado en los Despachos Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), deben establecer políticas y programas para evitar la degradación, mejorar la conservación del suelo y establecer las recomendaciones para el uso productivo del mismo. (Congreso Nacional, 2013)

CAPITULO III

SENSIBILIZACIÓN Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA

ARTÍCULO 36.- El Comité Interinstitucional de Cambio Climático (CICCC) y su Junta Directiva están en la obligación, en lo que les corresponda, de promover y facilitar, en el plano nacional, regional y local, acciones estratégicas de divulgación, concienciación pública, sensibilización y educación respecto al cambio climático, que conlleve a la participación consciente, social y proactiva de la población en sus distintos roles, ante el peligro inminente de la integridad física, capacidad de producción, salud, patrimonio y desarrollo; para garantizar el cumplimiento de compromisos de promoción de educación ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC); sin perjuicio de lo estipulado en otras leyes especiales en materia de educación. (Congreso Nacional, 2013)

LEY DE CONTINGENCIAS NACIONALES

TITULO I

DECRETO NÚMERO 9-90-E

CONSIDERANDO: Que es deber del Gobierno, tomar aquellas medidas que están encaminadas a asegurar el bienestar del pueblo, la conservación de los recursos naturales y la economía de la nación.

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo, se expone la metodología de investigación del proyecto. Se adoptará un enfoque mixto que proporcione una comprensión más profunda y contextualizada del tema. Se abordarán aspectos como la definición de variables dependientes e independientes, la descripción de instrumentos, equipos y software empleados para la recolección de datos, así como la metodología para el estudio de datos. También se detallará el cronograma de trabajo, delineando las diversas actividades necesarias para la conclusión exitosa de la investigación.

4.1. ENFOQUE

En la actualidad, ha surgido una táctica de investigación que posibilita la integración de enfoques metodológicos previamente considerados contradictorios, como la metodología cualitativa y la cuantitativa. Este enfoque, conocido como "multimétodos", "métodos mixtos" o "triangulación metodológica", busca unificar la metodología cualitativa y cuantitativa, superando así las posturas antagónicas que ambas han mantenido en el pasado. Independientemente de la denominación utilizada, la esencia de esta estrategia radica en la combinación sinérgica de métodos cualitativos y cuantitativos. Este cambio de perspectiva ha ganado aceptación al reconocer que la convergencia de estos enfoques enriquece la investigación, proporcionando una comprensión más completa y matizada de los fenómenos analizados.(Pereira Pérez, 2011)

Durante un extenso periodo, se sostenía la creencia de que los enfoques cuantitativo y cualitativo eran diametralmente opuestos, y por consiguiente, no podían ser empleados en conjunto; no obstante, según lo expone (Ocampo, 2019), "la integración de ambas estrategias ha emergido como una perspectiva que se examina y aplica de diversas maneras".

En función de lo antes mencionado, el enfoque del proyecto "Vulnerabilidad del Puente Chamelecón Posterior a los fenómenos climatológicos de ETA e IOTA" es mixto. Dado que emplea los dos enfoques de investigación, por lo que, se recolectará información cuantitativa existente y se brindará una solución cualitativa al estado actual del puente.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

La tabla 6 presenta las variables de operacionalización donde se proporciona el contexto y la introducción necesarios para comprender las dimensiones y elementos clave que se explorarán en el estudio. Este preludeo establece la base conceptual y contextual para las variables que serán objeto de análisis. Se presentan las variables, su conexión con la problemática general de la investigación y la importancia de entender su dinámica. Además, se presentan las preguntas de investigación.

Tabla 6 - Tabla de variables de operacionalización

Evaluación de vulnerabilidad del puente Chamelecón posterior a los fenómenos climatológicos de ETA e IOTA					
TÍTULO	Objetivo General	Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variables independientes	Variables dependientes
¿Cómo ha evolucionado la infraestructura del puente Chamelecón, ante la vulnerabilidad climática de Honduras, según el protocolo del PIEVC y cuáles son las estrategias para fortalecer su resiliencia en el contexto actual, considerando los impactos de	Evaluar la vulnerabilidad del puente Chamelecón – Cortés, mediante el protocolo PIEVC, para dar una base de datos confiables a las autoridades para mejorar la resiliencia y del puente a los efectos adversos de los	¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia para eventos como Huracanes y Tormentas Tropicales asociada a la vulnerabilidad del Puente Chamelecón? ¿Cuál fue el comportamiento del caudal según la precipitación acumulada en 6 días del Río Chamelecón con los fenómenos Eta e Iota con respecto al Puente Chamelecón? ¿Cuál es la cantidad de caudal necesario para provocar crecidas que entren en contacto con la superestructura? ¿Cuál de los 23 parámetros dentro de las 3 categorías (Hidrológica, Estructural y Geológica) presentan un riesgo moderado o severo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC?	Obtener la probabilidad de ocurrencia para eventos como Huracanes y Tormentas Tropicales asociada a la vulnerabilidad del Puente Chamelecón Brindar cual fue el comportamiento del caudal según la precipitación acumulada en 6 días del Río Chamelecón con los fenómenos Eta e Iota con respecto al Puente Chamelecón. Modelar mediante el uso de HEC-RAS el caudal necesario para provocar crecidas que entren en contacto con la superestructura Identificar cuáles de los 23 parámetros dentro de las 3 categorías (Hidrológica, Estructural y Geológica) presentan un riesgo moderado o severo según la escala del umbral de tolerancia PIEVC	Análisis del estudio hidrológico del histórico de eventos climatológicos extremos. Valoración de la gravedad de los daños en la estructura	Evaluación de vulnerabilidad del puente Chamelecón

los huracanes
ETA e IOTA en
2020?

huracanes
ETA e IOTA.

¿Cuál es la puntuación y categoría de riesgo
según la escala del umbral de tolerancia
PIEVC en la que se posiciona el Puente
Chamelecón ante la evaluación de eventos
climatológicos como Huracanes y Tormentas
Tropicales?

Puntuar y categorizar la vulnerabilidad
según la escala del umbral de tolerancia
PIEVC en la que se posiciona el Puente
Chamelecón ante el análisis de eventos
climatológicos como Huracanes y
Tormentas Tropicales

Matrices de
Riesgo

Fuente: (Propia, 2023)

4.2.1. DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

A partir de la información proporcionada en la tabla anterior, se ha elaborado un esquema que representa las variables de investigación. Este diagrama destaca las dimensiones y unidades de medida asociadas tanto a las variables independientes como a las variables dependientes.

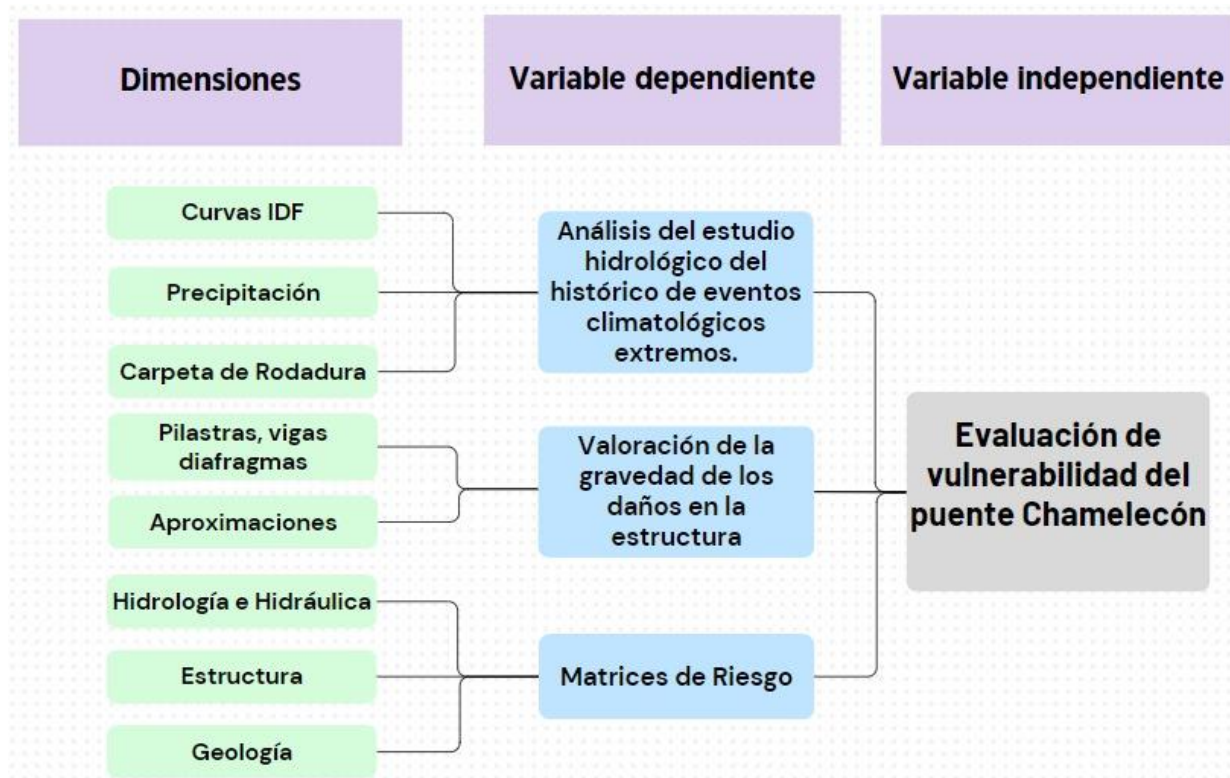


Ilustración 33 - Diagrama de Operacionalización de variables

Fuente: (Propia, 2023)

4.2.2. TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN

La tabla 7 presenta la tabla de operacionalización dando una introducción que contextualiza y justifica la necesidad de definir y medir las variables de investigación de manera específica y operativa. Se establece el marco teórico y conceptual que respalda las decisiones tomadas en el diseño de la tabla de operacionalización. Se incluye la descripción de las variables, su relevancia en el contexto de la investigación, y la relación entre estas variables y los objetivos o preguntas de investigación. Además, se explica la importancia de convertir conceptos abstractos en medidas concretas, destacando cómo la operacionalización contribuirá a la validez y fiabilidad del estudio. Se presenta en la tabla de operacionalización el fundamento teórico y metodológico que sustenta la transformación de conceptos en variables mensurables en el contexto de la investigación.

Tabla 7 - Tabla de operacionalización de variables

Variables Independientes	Definición		Dimensiones	Indicadores	Items	Unidades	Escala
	Conceptual	Operacional					
Análisis hidrológico del histórico de eventos climatológicos extremos.	Es un proceso que involucra el estudio, comportamientos y distribuciones del agua en una determinada área geográfica o cuenca hidrográfica.	El análisis hidrológico del histórico de eventos climatológicos extremos es una etapa clave.	Curvas IDF	Gráficos	Intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.		Intervalo
			Precipitación	Intensidad	¿Puedo determinar magnitud de las precipitaciones futuras?	mm/h	
Valoración de la gravedad de los daños en la estructura	Los daños estructurales se refieren a los deterioros, deformaciones o fallos que afectan la integridad y estabilidad de una estructura.	La valoración de la gravedad de los daños en la estructura es una etapa crucial. Esta evaluación busca determinar la magnitud de los impactos sufridos por una infraestructura.	Carpeta de rodadura	Fracturas y baches	Valoración de su condición		
			Pilastras, vigas, diafragmas	Daños estructurales	Valoración de su condición		
			Aproximaciones	Daños en juntas de aproximación	Valoración de su condición		

Matrices de Riesgo	Son representaciones tabulares o visuales que organizan datos de manera estructurada en filas y columnas. En diversos contextos, las matrices se utilizan para clasificar, comparar y analizar información de manera sistemática.	Las matrices de riesgo son herramientas fundamentales para cuantificar y visualizar el nivel de riesgo asociado a la vulnerabilidad de una infraestructura específica frente a eventos climáticos extremos.	Hidrología e Hidráulica	Cuenca hidrográfica	Condición de la cuenca, planicies de inundación.		
			Estructura	Superestructura	Inspección de losas de rodadura, aproximaciones		
			Geología	Ubicación de fallas geológicas	Ubicación de fallas, geotecnia y licuefacción de los suelos.		

Fuente: (Propia, 2023)

4.2.3. HIPÓTESIS

A continuación, surge la necesidad de formular hipótesis que orienten la investigación hacia respuestas claras y fundamentadas. Estas hipótesis buscan explorar las relaciones entre diversos factores climatológicos, eventos extremos y la integridad estructural del puente, en paralelo a las hipótesis de investigación, las hipótesis nulas donde se establecerán afirmaciones contrarias que serán puestas a prueba durante el análisis de datos. Estas proposiciones se plantean considerando la posibilidad de no encontrar relaciones significativas entre las variables clave y la vulnerabilidad estructural del puente.

1. Hipótesis (HI1): Se estima que el criterio de severidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Tormentas Tropicales está entre los valores de 4-7.
2. Hipótesis (HI2): Se estima que el criterio de severidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Huracanes está entre 12-36.





Hipótesis Nulas:





1. Hipótesis (HO1): Se estima que el criterio de severidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Tormentas Tropicales no está entre los valores de 4-7.
2. Hipótesis (HO2): Se estima que el criterio de severidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Huracanes no está entre 12-36.

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación, mediante la tabla 8, se presentan los programas e instrumentos empleados para llevar a cabo La evaluación de vulnerabilidad del puente Chamelecón posterior a los fenómenos climatológicos del ETA e IOTA, asimismo las técnicas utilizadas a lo largo del proyecto.

Tabla 8 - Tabla de Softwares

Software	Imagen	Descripción	Uso
Microsoft PowerPoint		Es una aplicación de software destinada a la creación de presentaciones, que posibilita la elaboración de diapositivas incorporando texto, imágenes, vídeos, gráficos.(Ardilu, 2023)	Se empleó para elaborar la presentación del tema, la cual servirá como respaldo durante la defensa de la investigación.
Microsoft Word		Esta es una herramienta que empleas para "procesar", dar formato, manipular, almacenar, imprimir y compartir un documento que tiene como base el texto.(Rodríguez, 2021)	También se utilizó para la redacción del informe siguiendo las pautas establecidas por la normativa APA.
Microsoft Excel		Excel es una aplicación que agiliza la tarea de tabular y estructurar datos, ofreciendo una solución eficaz para la inserción, interpretación y almacenamiento de información. En entornos empresariales, donde el tiempo constituye un recurso invaluable, Excel se presenta como el aliado principal. (Victor C., 2023)	Se utilizó para la confección de tablas, matrices de riesgo, elaboración de gráficos, entre otras funciones.
Zoom		Es una destacada aplicación de software para realizar videoconferencias, facilitando la interacción virtual con colegas cuando no es factible encontrarse en persona. También ha tenido un considerable éxito en contextos sociales y eventos. (Picaro, 2022)	Se empleó durante las reuniones con los ingenieros asesores temáticos y en sesiones grupales.

Google Meet		Es un servicio de videoconferencia proporcionado por Google que emerge como una excelente solución para que tanto personas individuales como empresas lleven a cabo reuniones mediante llamadas de audio y video.(Leiva, 2023)	Reuniones grupales
Microsoft Project		Microsoft Project posibilita la planificación y asignación de tareas, la gestión de recursos, la creación de informes, entre otras funciones. Con una amplia variedad de servicios, se estableció rápidamente como líder en el ámbito del software de gestión de proyectos desde su introducción inicial. (Carsano, 2023)	Se empleó para desarrollar un plan de trabajo que abarcó desde el inicio hasta la conclusión de la investigación.
Zotero		Zotero es un gestor de código abierto diseñado para que los estudiantes puedan incorporar citas y bibliografías directamente en sus documentos a partir de diversas bases de datos.(Olivos, 2023)	Se utilizó como gestor bibliográfico en el documento.
Outlook		Microsoft Outlook es un programa informático gestor de correo electrónico desarrollado por Microsoft	Se empleó para la comunicación con el comité PIEVC, asesores y facilitación de información para la investigación.

Fuente: (Propia, 2023)

4.3.2. TÉCNICAS

Asesorías: Se clasifican en metodológicas y temáticas. Las asesorías metodológicas son conducidas por la ingeniera Ada Rodríguez, quien proporciona una secuencia de trabajo para el informe, así como revisiones relacionadas. Además, se reciben asesorías temáticas impartidas por los ingenieros de CONHSA PAYSА con el propósito de obtener recomendaciones, generar ideas y explorar opciones más viables para la elaboración de este proyecto de investigación. Se recibieron múltiples sesiones para poder aplicar el protocolo del

PIEVC al puente Chamelecón, sesiones que se basaban en aplicar las múltiples matrices de riesgo con las que el protocolo cuenta.

Revisiones Bibliográficas: Fueron necesarias para obtener la información de los datos de referencia en la aplicación del protocolo del PIEVC, datos técnicos que refieren a datos de referencia, tablas y gráficos.

4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

En este momento, se establecerá la población como la muestra que constituirá la investigación de la Evaluación de la Vulnerabilidad del Puente Chamelecón.

4.4.1. POBLACIÓN

La población de estudio es no probabilística, lo que lleva a la conclusión de que tanto la población completa como la muestra comparten el mismo propósito en la investigación.

4.4.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA

La investigación abarca lo que es la aplicación del protocolo a un puente en San Pedro Sula – Cortes, se busca que sea un puente del que haya suficiente información, por lo que se decidió escoger el puente que viene de Villanueva a San Pedro Sula, dado que es un puente considerablemente más reciente que el puente que va de San Pedro Sula hacia Villanueva, este primero al ser un puente representativo por haber estado expuesto a múltiples eventos climatológicos como fueron los huracanes ETA e IOTA en el 2020, es provechoso aplicar el protocolo para ingeniería PIEVC.



Ilustración 34 - Vista desde el margen derecho del puente Chamelecón

La ilustración 34 representa la vista desde el margen derecho del puente Chamelecón, visualizando el nivel del río tras haber ocurrido una pequeña tormenta.

4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se establece el enfoque del proyecto como mixto, detallado en la sección 4.1 del capítulo de la metodología. En esta sección, se destacan diversas características, tales como la recopilación de información cualitativa como cuantitativa, la identificación de variables independientes y la presentación de gráficos que evidencian el enfoque de la investigación.

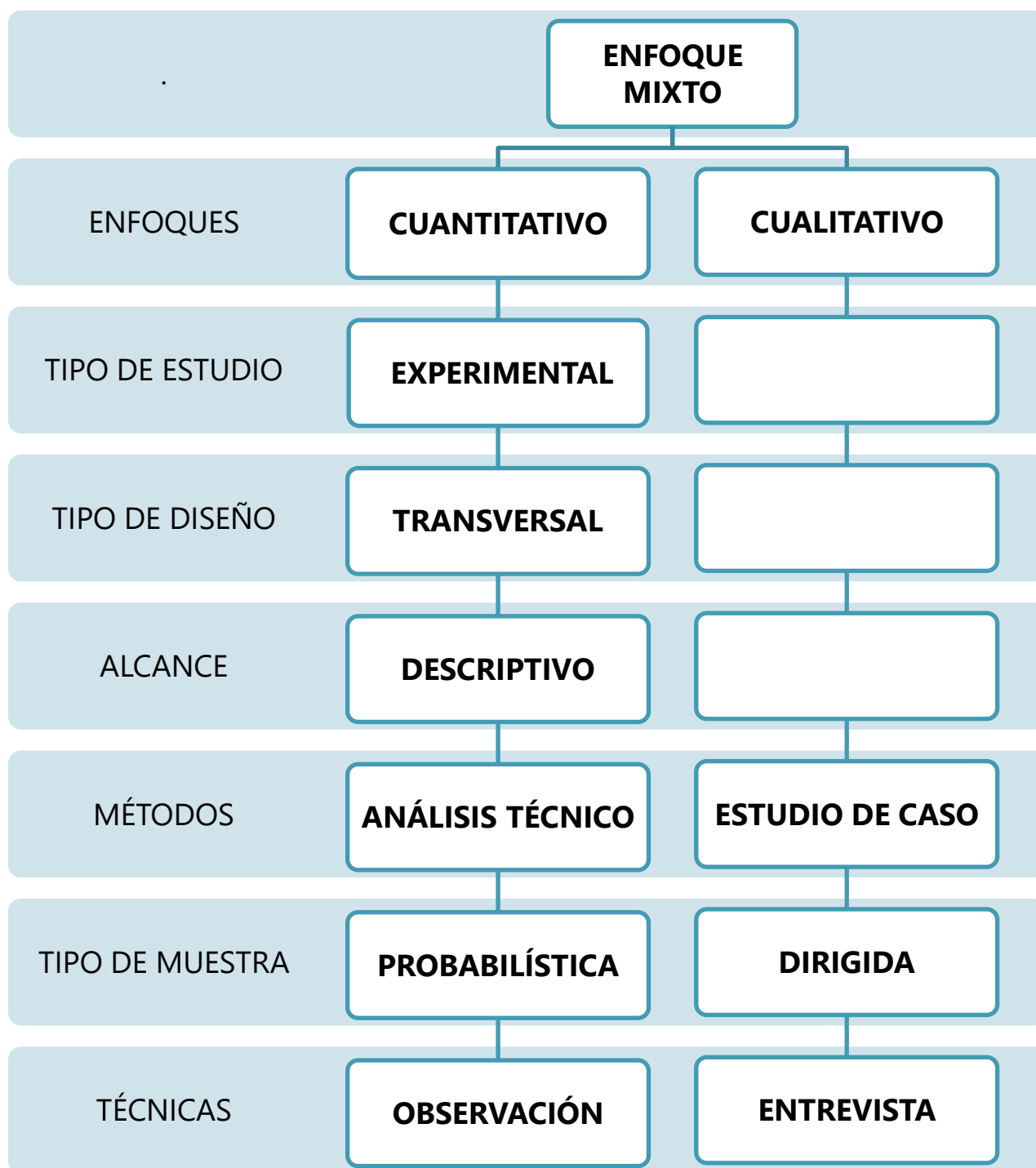


Ilustración 35 - Diagrama de metodología de estudio

Fuente: (Propia, 2023)

En la ilustración 35 se presenta la metodología de estudio en la que se fundamenta el proyecto de investigación. Se proporciona una breve explicación de cada uno de los componentes, que incluyen el enfoque, el tipo de estudio, el diseño, así como los métodos, técnicas y alcances.

En el contexto del enfoque mixto, se propone incorporar una sección que aborde el método, la recopilación y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos. Respecto a los resultados obtenidos en estudios con diseño mixto, se sugiere seguir el esquema de triangulación, buscando coherencia entre los resultados de ambas aproximaciones y detectando posibles contradicciones o paradojas, según lo indican los autores. (Ocampo, 2019)

El alcance de la investigación se estableció de manera exploratoria, ya que este enfoque nos posibilita examinar problemas que no están completamente definidos sin generar conclusiones definitivas.

Las técnicas fueron seleccionadas considerando la recopilación de datos para obtener información más precisa de expertos, basándonos en asesorías que explican el protocolo PIEVC.

4.6. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

A continuación, se especificará la metodología de validación, la cual se llevará a cabo mediante pruebas no paramétricas.

Según (Santana et al., 2021) las metodologías pueden ser caracterizadas al diferenciar entre un enfoque modelador, una estrategia de trabajo y un sistema de control. No obstante, para una comprensión completa de una metodología, se considera necesario entender su filosofía subyacente o su "forma de pensar", que se emplea para observar las organizaciones y los sistemas de información.

En este momento se establecen los alcances y limitaciones que orientarán la construcción de la investigación, validando las pruebas que contribuirán a la definición de los resultados.

Alcance:

- Identificar los eventos climáticos históricos que han ocasionado impactos en el servicio o la estructura del puente, basándonos en la información disponible.

- Delimitar un escenario futuro de clima que posibilite evaluar la influencia del cambio climático en las condiciones de servicio y en el desempeño estructural del puente objeto de estudio.
- Establecer una escala de afectación con rangos de valor, facilitando el proceso de toma de decisiones y permitiendo priorizar la posible intervención en elementos de la infraestructura propensos a ser afectados.
- Reconocer los componentes estructurales afectados y aquellos susceptibles de ser afectados en el futuro por eventos hidrometeorológicos.
- Desarrollar competencias técnicas en el personal involucrado en el proceso, garantizando su preparación para implementar el procedimiento en las instituciones y que forme parte de los criterios técnicos en la toma de decisiones.

Limitaciones:

- Limitaciones en la disponibilidad de parte de COPECO y CENAOS de datos históricos y actuales sobre eventos climáticos y condiciones del puente.
- La complejidad de la ubicación del puente y su infraestructura puede dificultar la identificación precisa de componentes afectados y la valoración de la vulnerabilidad.
- La incertidumbre asociada con los modelos climáticos y las proyecciones a futuro puede afectar la precisión de la evaluación.
- Limitaciones en las capacidades técnicas del personal involucrado en la aplicación del protocolo.
- Factores políticos del actual gobierno y sociales que podrían afectar la implementación de medidas de adaptación que se propongan.

El protocolo utilizado para la obtención de resultados, para la validación del proyecto es:

PIEVC "Protocolo de Ingeniería para Evaluar la Vulnerabilidad de las Comunidades" (en inglés, "Protocol for the Engineering of Climate Vulnerability Assessments"). Este protocolo se utiliza para evaluar la vulnerabilidad de infraestructuras a los efectos del cambio climático.

4.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la siguiente ilustración se presenta el cronograma de actividades que abarca el desarrollo del proyecto de investigación desde la semana 1 hasta la semana 10. En este período, se observa el progreso del proyecto hasta su finalización, incluyendo el análisis y las conclusiones.

La representación visual destaca las actividades a lo largo del tiempo invertido durante la investigación, junto con los entregables que se presentarán a principios del periodo académico Q1 de 2024.

Semana 1:

El miércoles 11 de octubre comenzó el periodo académico Q5-2023 y posteriormente se comenzaron las reuniones con la asesora metodológica para desarrollar el capítulo 1.

Semana 2:

El miércoles 18 de octubre se tuvo la primera reunión con el asesor temático Ingeniero Mario Cárdenas estructuralista, quien sugirió aplicar el protocolo PIEVC a puentes de San Pedro Sula, se presentó la posibilidad de poder contactar a los ingenieros que estuvieron involucrados en la aplicación del protocolo en el 2013.

Semana 3:

El lunes 23 de octubre se presentó la propuesta del tema de investigación y el martes 24 se tuvo la primera presentación oral, el jueves 26 se tuvo la primera reunión con el asesor temático el ingeniero Otto Flores especialista en hidrología, se sugirió pedir la información meteorológica a COPECO y el viernes 27 se tuvo el primer avance de informe.

Semana 4:

El lunes 30 de octubre se tuvo una reunión con la asesora metodológica, el miércoles 1 de noviembre se tuvo la segunda presentación de proyecto, el jueves 2 se tuvo una reunión vía ZOOM con nuestros asesores temáticos, quienes estuvieron involucrados directamente en la aplicación del protocolo PIEVC en el 2013 con los canadienses, se explicaron temas como, en que consiste el protocolo y como se puede aplicar a un puente, donde surgió la idea que se

le aplicara al puente Chamelecón porque es un puente que tiene un poco más de información respecto a los anteriores.

Semana 5:

El miércoles 8 de noviembre se realizó una visita a COPECO para poder recibir la información meteorológica necesaria para aplicar el protocolo del PIEVC, el jueves 9 se presentó el segundo avance del documento.

Semana 6:

El martes 14 de noviembre se entregó la solicitud a COPECO dirigida al subcomisionado para la aprobación de recibir la información necesaria, el jueves 16 se tuvo una revisión técnica de la información recopilada para el desarrollo de la investigación. El viernes 17 se tuvo la primera visita al puente Chamelecón, para hacer el análisis visual del estado actual del puente.

Semana 7:

El jueves 23 de noviembre se presentó el tercer avance de presentación de proyecto, el viernes 24 se realizó una reunión en ZOOM con la asesora temática ingeniera Ana Borjas quien mostró como utilizar la matriz de riesgo que se le aplicará a la estructura del puente.

Semana 8:

El martes 28 de noviembre se logró agilizar la entrega de la solicitud con la ingeniera Yolany Villeda quien trabaja en COPECO, al ser una solicitud con fines educativos el trámite es aún más engorroso y difícil de conseguir. El jueves 30 se recibió la información meteorológica de parte de COPECO/CENAOS, permitiéndonos avanza en el análisis del estudio hidrológico.

Semana 9:

El lunes 4 de diciembre se tuvo la reunión con el asesor temático Otto Flores donde se hablo acerca de desarrollar un modelo en HEC RAS del caudal que estuvo sometido el puente Chamelecón durante los huracanes, este mismo día se presento el avance del artículo. El jueves 7 se presentó el cuarto avance de presentación y el viernes 8 se tuvo una reunión con el asesor temático experto en hidrología Otto Flores donde se explicó cómo realizar el modelo de elevación digital aplicando el caudal registrado durante ETA e IOTA.

Semana 10:

El lunes 11 de diciembre se desarrolló de un modelo en HEC RAS del caudal que estuvo sometido el puente Chamelecón durante los huracanes ETA e IOTA y se presentaron las actividades y entregas finales del proyecto ósea la totalidad de las actividades realizadas en un Project.

Proyecto de Fase 1	48 días?	mié 11/10/23	vie 15/12/23	
Inicio de Proyecto	1 día	mié 11/10/23	mié 11/10/23	
Semana 1	3 días	mié 11/10/23	vie 13/10/23	
Primera reunión de la clase de proyecto 1	1 día	jue 12/10/23	jue 12/10/23	2
Semana 2	5 días	lun 16/10/23	vie 20/10/23	
Reunión con Asesor Temático Mario Cardenas	1 día	mié 18/10/23	mié 18/10/23	4
Semana 3	5 días	lun 23/10/23	vie 27/10/23	
Presentación de propuesta de investigación	1 día	lun 23/10/23	lun 23/10/23	6
Primer avance de proyecto (Presentación)	1 día	mar 24/10/23	mar 24/10/23	8
Reunión con Asesor Temático Otto Flores	1 día	jue 26/10/23	jue 26/10/23	9
Primer Avance de proyecto (Informe)	1 día	vie 27/10/23	vie 27/10/23	10

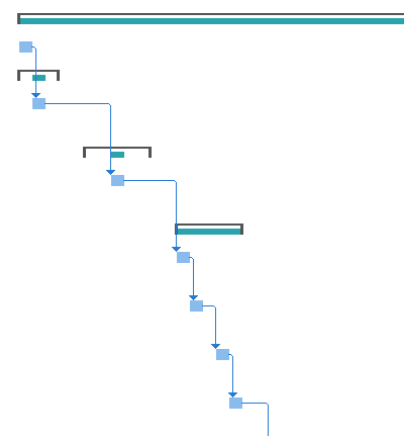


Ilustración 36 - Cronograma de trabajo semana 1 – 3

Fuente: (Propia, 2023)

Semana 4	5 días	lun 30/10/23	vie 3/11/23	
Reunión con asesora Metodológica	1 día	lun 30/10/23	lun 30/10/23	11
Segundo avance de proyecto (Presentación)	1 día	mié 1/11/23	mié 1/11/23	13
Reunión via ZOOM con asesores tematicos, ingeniera Ana Borjas y Jorge Paz	1 día	jue 2/11/23	jue 2/11/23	14
Semana 5	5 días	lun 6/11/23	vie 10/11/23	
Visita a COPECO, para recibir la información hidrológica	1 día	mié 8/11/23	mié 8/11/23	15
Segundo Avance de proyecto (Informe)	1 día	jue 9/11/23	jue 9/11/23	17
Semana 6	5 días	lun 13/11/23	vie 17/11/23	
Entrega de solicitud a COPECO, para recibir información	1 día	mar 14/11/23	mar 14/11/23	18
Revisión técnica	1 día	jue 16/11/23	jue 16/11/23	20

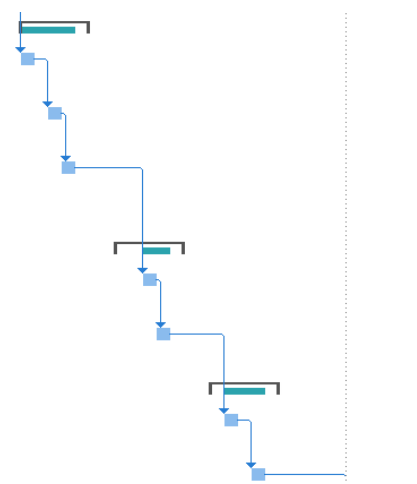


Ilustración 37 - Cronograma de trabajo semana 4 - 6

Fuente: (Propia, 2023)

◀ Semana 7	5 días	lun 20/11/23	vie 24/11/23	
Tercer avance de proyecto (Presentación)	1 día	jue 23/11/23	jue 23/11/23	22
Reunión via ZOOM con asesores tematicos, ingeniera Ana Borjas y Jorge Paz	1 día	vie 24/11/23	vie 24/11/23	24
◀ Semana 8	5 días	lun 27/11/23	vie 1/12/23	
Agilizacion de solicitud de informacion con ingeniera Yolany Villeda de COPECO	1 día	mar 28/11/23	mar 28/11/23	25
Recibimiento de la información de COPECO/CENAOS	1 día	mié 29/11/23	mié 29/11/23	27
Tercer Avance de proyecto (Informe)	1 día	vie 1/12/23	vie 1/12/23	28

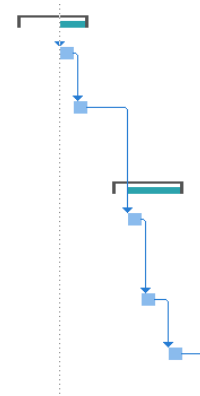


Ilustración 38 - Cronograma de trabajo semana 7 – 8

Fuente: (Propia, 2023)

◀ Semana 9	5 días	lun 4/12/23	vie 8/12/23	
Reunión con asesor temático Otto Flores	1 día	lun 4/12/23	lun 4/12/23	29
Presentación de avance de artículo	1 día	lun 4/12/23	lun 4/12/23	29
Cuarto avance de proyecto (Presentación)	1 día	jue 7/12/23	jue 7/12/23	32
Reunión con asesor temático Otto Flores	1 día	vie 8/12/23	vie 8/12/23	33
◀ Semana 10	5 días	lun 11/12/23	vie 15/12/23	
Desarrollo de un modelo en HEC RAS del caudal que estuvo sometido el puente Chamelecón durante los huracanes ETA e IOTA	1 día	lun 11/12/23	lun 11/12/23	34
Reunión con asesor temático Otto Flores	1 día	mar 12/12/23	mar 12/12/23	36
Reunión con asesor temático Otto Flores, solo modelado de puente en HEC RAS	1 día	mié 13/12/23	mié 13/12/23	37

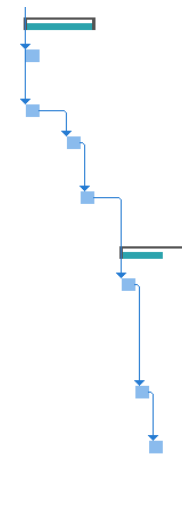


Ilustración 39 - Cronograma de trabajo semana 9 – 10

Fuente: (Propia, 2023)

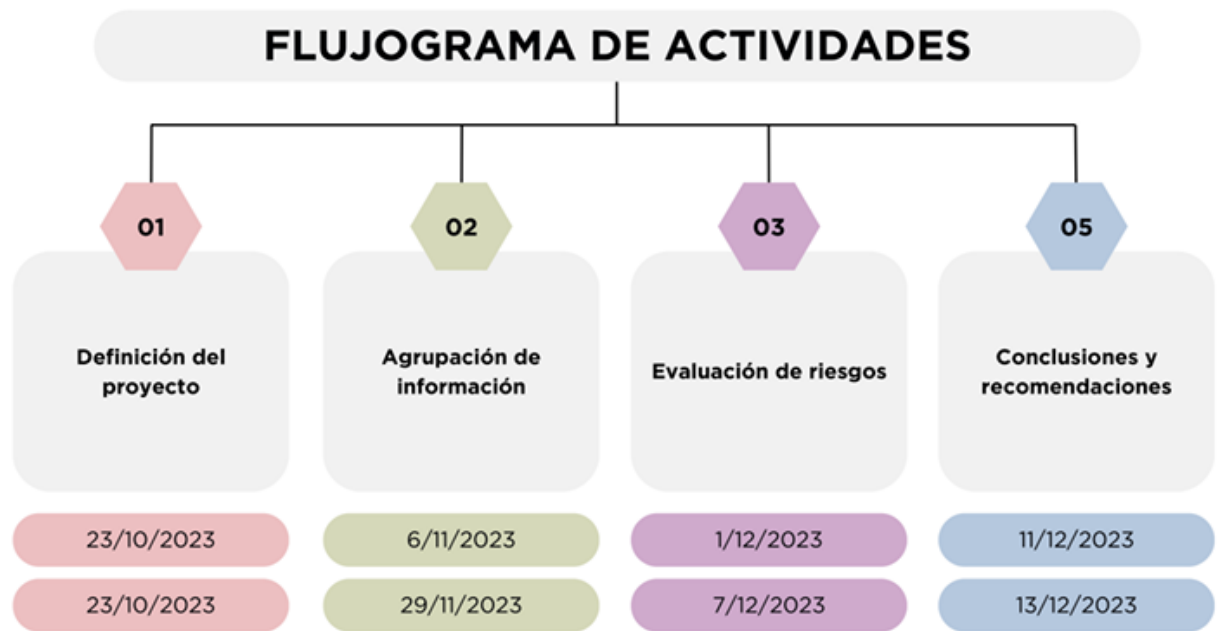


Ilustración 40 – Flujograma de actividades

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración presenta el flujograma de actividades de los diferentes pasos de la aplicación del protocolo PIEVC, evidenciando que el paso mas conflictivo para desarrollar esta investigación fue propiamente el paso 2 el cual es agrupación de información solicitada a COPECO.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El en siguiente capítulo, se presentan los análisis realizados para desarrollar la investigación Evaluación de la vulnerabilidad del puente Chamelecón posterior a los eventos climatológicos de ETA e IOTA.

5.1. APLICACIÓN DEL PROTOCOLO PIEVC

A continuación, la aplicación del protocolo del PIEVC al puente sobre el río Chamelecón, para el desarrollo de este protocolo involucra muchos aspectos que se deben tomar en cuenta, uno de los más importantes son los aspectos climáticos de la zona donde está ubicada la estructura.

Este enfoque iterativo es una característica distintiva del Protocolo, asegurando que la información esté adecuadamente definida y sea suficiente para respaldar el análisis. La revisión constante a lo largo de cada paso brinda flexibilidad para replantear el proceso en caso de que la información inicial sea insuficiente o no esté definida de manera adecuada, asegurando la robustez y eficacia del protocolo en su conjunto.

5.2. PASO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El puente Chamelecón fue construido aproximadamente entre los años 1999-2001 siendo parte de la reconstrucción de la Ruta CA-5, con fondos del milenio, en Honduras es una carretera que desempeña un papel crucial en la red de infraestructura del país, conectando la ciudad de San Pedro Sula con Villanueva. La CA-5, también conocida como Carretera del Norte, conecta la ciudad de Tegucigalpa, la capital de Honduras, con la región norte del país. En particular, enlaza Tegucigalpa con la ciudad de San Pedro Sula. Además, esta carretera facilita la conexión entre San Pedro Sula y el Puerto de Cortés, que es el principal puerto de Honduras en la costa del Atlántico.

En el primer paso, de la aplicación del protocolo se indagará en:

Datos y dimensiones

- Longitud: 167 metros
- Ancho total: 9.30 m

- Ancho de la calzada: 7 m (distancia entre bordillos)
- Superestructura: Concreto reforzado, vigas de concreto prefabricadas, simplemente apoyadas.
- Coordenadas: 15°25'42.30" N 88°01'23.92" O
- Superficie de rodadura: Concreto Asfáltico
- Subestructura: Concreto reforzado; pilas de concreto reforzado con una sola viga cabezal
- Cimentación: Superficial
- Pretilos: Estructura de concreto
- Otros:

5.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL MARCO DE TIEMPO

Se supone una vida útil de la estructura del puente de 50 años, se asume que el puente fue construido en 1999 y tomando en cuenta su fecha de construcción, resulta que han pasado aproximadamente 25 años desde entonces, por lo que a la estructura le restan 25 años, pero es necesario ir haciendo las reparaciones por más mínimas que sean. También, con el paso del huracán ETA e IOTA fue sometido a un gran esfuerzo, siendo un puente de edad avanzada, es por lo que se debe analizar su vulnerabilidad, aunque su estado actual sea aceptable.

5.2.2. GEOGRAFÍA DEL PUENTE CHAMELECON

El puente sobre el río Chamelecón está ubicado en San Pedro Sula – Cortes, La Cuenca de Chamelecón cruza el Departamento de Santa Bárbara y el Departamento de Cortés, encontrando el Valle de Sula su punto más bajo. Este río tiene una longitud de 175 km y un área de 3250 km². La cobertura de la cuenca es mayormente de bosque latifoliado húmedo y deciduo. En el camino se encuentran los ríos Humuya, Jicatuyo y Sulces, que desembocan en el Mar Caribe. En Río Chamelecón, los datos del nivel del agua están disponibles en las dos estaciones: El Tablón y Puente Chamelecón. Las condiciones climáticas de esta región corresponden al clima de Sabana Tropical, caracterizado por dos estaciones distintas; una estación seca que abarca de enero a abril, siendo marzo y abril los meses de menor

precipitación.

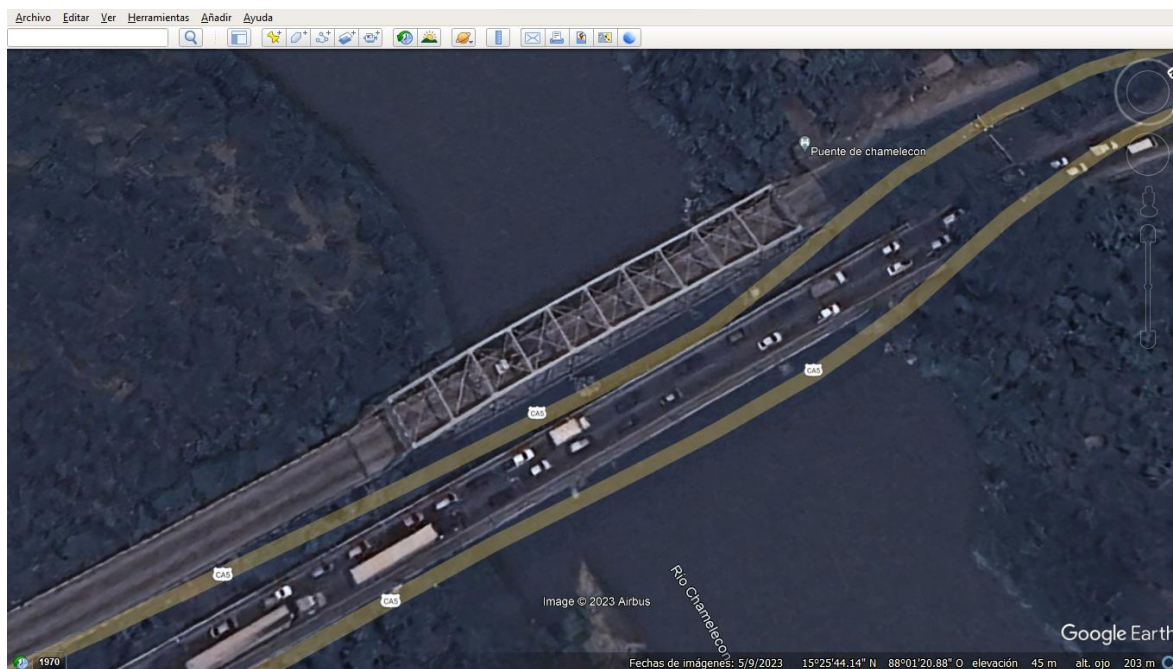


Ilustración 41 - Ubicación del puente Chamelecón

Fuente: Google Earth

La ilustración 40 hace referencia a la ubicación del Puente Chamelecón ubicado en la CA-5 de Honduras.

5.2.3. IDENTIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

El puente objeto de estudio se encuentra ubicado en la Ruta CA-5, conocida como la Carretera del Norte, conectando la ciudad de Tegucigalpa, con la región norte de Honduras, en particular con la ciudad de San Pedro Sula y el Puerto de Cortés en el Atlántico. Este puente, situado en las proximidades de la ciudad de Villanueva, en el centro del Valle de Sula, es reconocido por cruzar el río Chamelecón. Su construcción data del año 1999 -2001, y hasta la fecha, no ha experimentado incidentes significativos, a pesar de haber resistido las crecidas del río Chamelecón, que en una ocasión casi alcanzaron la parte inferior de las vigas de la superestructura.

Es necesario recalcar que en ese tramo hay dos puentes paralelos, uno más antiguo que el otro, el puente más antiguo es el Baly, del cual se desconoce la fecha de construcción debido a su antigüedad y por la dificultad para encontrar información relevante para la investigación,

se decidió analizar el puente de estructura de concreto, se esperaría que al ser más nuevo presentaría menos fallas que el puente paralelo, pero al hacer la visita al sitio del emplazamiento del puente descubrimos que el puente más antiguo no presenta fallos ni daños estructurales mayores, dado que su estructura está mayormente construida con acero de buena calidad, en cambio la estructura del puente de concreto presenta más daños.

5.2.4. VISITA AL SITIO

El viernes 17 de noviembre del 2023, se llevó a cabo una visita a la ubicación del puente Chamelecón, con el propósito de recabar información pertinente sobre la infraestructura y obtener distintos puntos de vista. Las Fotografías N°40 a N°41 ilustran momentos capturados durante dicha visita. En el proceso de recopilación de datos de verificación para puente sobre el río Chamelecón CA-5.



Ilustración 42 - Vista lateral de puentes desde el lado derecho

Fuente: (Propia, 2023)

En la ilustración 41 se refleja el puente sobre el río Chamelecón que conecta la Ciudad de Villanueva con San Pedro Sula, ubicado en la CA-5



Ilustración 43 - Vista desde la parte inferior del puente

Fuente: (Propia, 2023)

En la ilustración 42 se evidencia la parte inferior el puente sobre el río Chamelecón que conecta la Ciudad de Villanueva con San Pedro Sula, ubicado en la CA-5

Tabla 9 - Tabulación de anotaciones vistas en campo

Datos de inventario de puente Chamelecón							Datos del cauce
Generales	Dimensiones	Elementos principales					
		Accesos	Accesorios	Superestructura	Subestructura	Otros	
<ul style="list-style-type: none"> - Zona urbana - Zona con tránsito de equipo y maquinaria para tajos bajo el puente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ancho del Cauce: 68.60 metros. - Longitud del puente: 90.5 metros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rellenos de aproximación bastante estables según diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Losa de rodadura en malas condiciones presenta un espesor bastante pequeño, presenta baches, peladuras, ahuellamiento y agrietamiento. - Baranda del lado derecho en mal estado presenta fractura. - Juntas de expansión en mal estado por alto tráfico pesado, expuestas y fracturadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La losa de soporte presenta fracturas, apreciables desde la parte inferior del puente. - Las cerchas principales exhiben signos de oxidación, desprendimiento de pintura y daños por impacto. - Las vigas transversales demandan mantenimiento, muestran corrosión y necesitan ser repintadas. - El DAP END, presenta una fractura significativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyos húmedos con problemas de corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a la gran corriente de agua en temporadas de lluvia produce socavación en el paso a desnivel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Márgenes con vegetación, posiblemente contribuyendo a reducir la velocidad del flujo. - Se nota acumulación de sedimentos en la margen izquierda del río, aguas arriba, y en la margen derecha, aguas abajo. - Presencia de residuos debido a múltiples viviendas de una comunidad de escasos recursos. - Pendiente suave en el área del cauce bajo el puente.

Fuente: (propia, 2023)

5.3. PASO 2: RECOLECCIÓN Y SUFICIENCIA DE LOS DATOS

Una vez que se delineó el alcance del proyecto, se procedió a la recopilación y análisis de la información necesaria, actividades comprendidas en lo que se denomina Paso 2. Durante esta fase, se realizó una definición más detallada de la infraestructura y de las tendencias climáticas específicas que se tuvieron en cuenta en la evaluación de riesgos. Aquellas personas o instituciones que previamente indicaron poseer cierta información relevante la proporcionaron al grupo para su revisión y análisis. Posteriormente, se tomaron decisiones basadas en el juicio profesional del equipo.

5.3.1. COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA

La inspección del lugar desempeñó un papel crucial en la definición detallada de los elementos de la infraestructura objeto de análisis, ya que permitió ampliar y especificar el conocimiento que se tenía de manera general. Esta visita de campo se complementó con una reunión posterior del equipo, realizada de manera inmediata a la visita, durante la cual se evaluaron tanto los elementos mencionados en el Paso 1 como aquellos que integran la infraestructura en cuestión. En el caso del puente, al examinar la suficiencia de los datos, se constató una escasa documentación relacionada con la operación y el mantenimiento del puente.

5.3.1.1. COMPONENTES HIDROLOGÍA E HIDRAULICA

- Estado de la cuenca

El análisis no presenta una revisión a profundidad del estado actual de la cuenca, por lo que es necesario saber que los criterios de severidad en este método son asignados a criterio del profesional que lo está analizando.

- Tipo de río

Este es un río joven de acuerdo con su cauce y las dimensiones transversales del mismo.

- Planicies de inundación

El Río Chamelecón es capaz de contener de 1000 a 1500 m³/s de agua sin desbordarse, luego de eso las vegas cercanas al río son planicies de inundación, las inundaciones más recientes fueron las que dejaron los huracanes ETA e IOTA, donde muchas de las personas que viven en la parte inferior y lateral del puente perdieron sus cosas y sus viviendas también.

- Sedimentación

El río Chamelecón a la altura del Corbano que es concesión de CONHSA PAYSA, por lo que hay varios estudios de sedimentación, dado que al ser un río caudaloso en temporadas de lluvia, arrastra mucha sedimentación.

5.3.1.2. COMPONENTES DE LA SUPERESTRUCTURA

- Losa asfáltica de rodadura

El puente Chamelecón exhibe signos evidentes de deterioro en su losa de rodadura, manifestándose a lo largo de toda la superficie con baches y peladuras. Además, las uniones muestran fracturas significativas que requieren atención. Es imperativo abordar de manera oportuna y efectiva estos problemas mediante reparaciones adecuadas. La intervención es esencial para prevenir la expansión de las grietas y la aparición de más baches, ya que el estado actual de la infraestructura compromete su funcionalidad y seguridad. La reparación no solo contribuirá a preservar la integridad estructural del puente, sino que también garantizará condiciones de tránsito más seguras y duraderas para los usuarios.

- Vigas

Las vigas exhiben condiciones aceptables que no imponen restricciones a su rendimiento frente a las cargas previstas o posibles fuerzas laterales, siempre y cuando no excedan la capacidad de carga para la cual fueron originalmente diseñadas, a pesar de ser un puente bastante viejo sus componentes principales se encuentran en buenas condiciones, no obstante, se debe de dar revisiones periódicas considerando la edad del mismo y las cargas que esas vigas soportan a diario.

- Dap end

El puente Chamelecón presenta evidentes signos de deterioro en el detalle del DAP END, lo cual demanda una atención meticulosa. Con el transcurso del tiempo y las crecidas, se ha acumulado materia orgánica en esta área, propiciando el crecimiento de una planta. Aunque la planta se ha descompuesto al tiempo de este análisis ha dejado residuos orgánicos, el detalle del DAP END se encuentra fracturado, lo que representa un serio riesgo para las vigas y la integridad de la losa de rodadura.

Además, las uniones del puente muestran fracturas significativas que requieren atención inmediata. Es crucial abordar estos problemas de manera oportuna y efectiva mediante reparaciones adecuadas. La importancia de esta intervención se ilustra con ejemplos como el puente de la Democracia en el Progreso, Yoro, donde ocurrió un grave incidente debido a fallos de diseño en este mismo detalle típico.



Ilustración 44 – Estado de DAP END en puente sobre el río Chamelecón

Fuente: (Propia, 2024)

La ilustración 43 proporciona el estado actual del DAP END del puente sobre el río Chamelecón, en este detalle típico se albergó una buena cantidad de materia orgánica durante las crecidas de los huracanes ETA e IOTA lo que conllevó al crecimiento de una planta, representando un grave riesgo para la estructura del puente, para el tiempo en que se aplica este Protocolo a este puente, la planta se ha descompuesto, no obstante no significa que el problema ha desaparecido, de hecho hay restos de materia orgánica en el detalle, lo que significara un problema considerable a futuro, añadiendo que la estructura del DAP END ya está comprometida, presenta fracturas preocupantes, lo que ha dado cabida a que el agua y también el moho avancen lentamente al interior de la estructura.



Ilustración 45 – Materia orgánica y fractura en DAP END de puente sobre el río Chamelecón

Fuente: (Propia, 2024)

La ilustración 44 presenta a severidad de esto, el hecho de que haya una planta y materia orgánica acumulada en el detalle del DAP END del puente Chamelecón representa varios riesgos significativos para la estructura y la seguridad pública. La presencia de materia orgánica y restos de la planta descompuesta podría desencadenar una serie de riesgos, incluidos:

1. Debilitamiento estructural: La acumulación de materia orgánica puede corroer y debilitar los componentes estructurales del puente, como las vigas y la losa de rodadura. Esto aumenta el riesgo de colapso parcial o total de la estructura.

2. Obstrucción de drenaje: Los residuos orgánicos pueden obstruir los sistemas de drenaje del puente, lo que podría provocar inundaciones durante las crecidas o lluvias intensas, aumentando el riesgo de erosión del suelo y daños adicionales a la estructura.

3. Crecimiento de moho y hongos: La presencia de materia orgánica puede fomentar el crecimiento de moho y hongos, lo que no solo puede debilitar los materiales estructurales, sino también representar un riesgo para la salud pública debido a la liberación de esporas al aire.

4. Incremento de la corrosión: La acumulación de materia orgánica puede retener la humedad, lo que acelera el proceso de corrosión de los elementos metálicos del puente, como los refuerzos de acero, comprometiendo aún más su integridad.

La presencia de materia orgánica y la descomposición de la planta en el detalle del DAP END del puente Chamelecón representan una amenaza seria para la seguridad estructural y la funcionalidad del puente, así como para la seguridad pública en general. Es fundamental abordar este problema de manera urgente mediante acciones de limpieza, reparación y mantenimiento adecuadas para prevenir posibles consecuencias graves.

- Diafragmas

En este puente se observó en buenas condiciones, sin fracturas desgaste o deflexiones aparentes, a pesar de la gran fuerza de empuje que se han visto sometidos.

- Apoyos

Al estar hechos de Neopreno, para evitar los daños producidos por las vibraciones que transmiten los vehículos al pasar tienen a estar un poco desgastados, pero los de este puente solo presentan suciedad, fuera de eso se encuentran en condiciones aceptables.

- Pretiles

La función principal de este elemento es la de proteger a los conductores y peatones, en este puente se encuentran dañados, con fracturas visibles probablemente por impactos bruscos, producto de accidentes en esas áreas a lo largo de los años, estos elementos también deben ser contemplados en este análisis de vulnerabilidad, dada su importancia.

- Aproximaciones

Esta estructura no está directamente dentro del puente, pero es fundamental estudiarla debido a que la mayoría de las veces estas estructuras presentan fallas por un mal diseño, por las contracciones que existen entre el puente y la losa de aproximación, en este puente ambas losas de aproximación presentan fallas notorias, presentan fracturas, desprendimiento del material asfáltico y también desplazamiento de este.

5.3.1.3. COMPONENTES DE LA SUBESTRUCTURA

- Pilas o pilastras

Las pilas o pilastras son de suma importancia para este análisis dado que son los elementos que están sometidos a más esfuerzos laterales, aparte de estar parcialmente sumergidas en agua siempre, la apariencia de estas es buenas, están en buenas condiciones, no se apreció evidencia de socavación alrededor de las pilas, se espera que estas pilas se compartan bien en la actualidad como en las proyecciones.

- Estribos

Este elemento es de tipo estructural abierto, de concreto reforzado, actualmente no muestra signos de deterioro, está en buenas condiciones, debido a que el diseño de estas es bastante robusto y alejado del cauce del río.

- Aletas

Estas están construidas monólicamente construidas a los estribos, no presentan fallas ni deterioro, las condiciones son aceptables, aplican las mismas circunstancias que en los estribos.

- Cimentación

Desafortunadamente no se tuvo acceso a la información de diseño del puente por la edad de este, es probable que sea una cimentación superficial debido a la forma de sus pilas, bajo la falta de información es imposible decir a ciencia cierta si eso es totalmente correcto.

5.3.1.4. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

- Morfología

La estructura y las características del suelo en la zona del río y sus alrededores se evaluaron como un factor relevante para su interacción con los eventos climáticos, centrándose especialmente en aspectos morfológicos como la porosidad, textura y composición del suelo, que son perceptibles visualmente.

- Unidades Geológicas

Las unidades geológicas son conjuntos de materiales que dan origen a la formación de estratos con características específicas en una región determinada y bajo condiciones particulares. Estas unidades geológicas se encuentran en los lechos de los ríos, y su composición ejerce cierta influencia en el comportamiento del flujo y en los posibles efectos que pueda tener en la cimentación del puente. Durante la evaluación, basándose en su juicio, determinó que la incidencia de estas unidades era insignificante, por lo que no se les asignó un nivel de severidad.

- Clasificación del suelo

Según el documento elaborado por CONHSA PAYSA, se determinó que el suelo en la cuenca del río Chamelecón pertenece a un suelo Tomala Tipo B, Estos suelos se caracterizan porque son moderadamente profundos, por otro lado, son moderadamente bien drenados, y también son moderadamente erosionados, con texturas medianas y finas.

- Propiedades del suelo

Los suelos Tomalá son terrenos bien drenados, de profundidad relativamente limitada, originados sobre esquisto y gneis, con inclusiones de mármol y cuarcita. Estos suelos son comunes a lo largo de la costa norte de Honduras, especialmente en la región caracterizada

por altos niveles de precipitación. La mayoría de la zona se sitúa a una altitud de 1,200 metros sobre el nivel del mar, aunque en ciertas áreas, como al noreste de San Pedro Sula y al sur de La Ceiba, se encuentran montañas que superan los 1,500 metros de altitud. Las laderas suelen ser empinadas, con pendientes frecuentes que superan el 60%, pero en algunos lugares, el relieve es más colinoso, con pendientes de alrededor del 30% o 40%. Los suelos Tomalá comparten límites con los Jacaleapa, Toyos y Naranjito.(Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

- Capacidad del suelo

La capacidad del suelo ha sido poco afectada, es algo que no se pierde con el tiempo, solamente si hubiera demasiada precipitación, lo que produciría una saturación excesiva haciendo que pierda sus propiedades, pero ese no es el caso en el valle de Sula.

- Licuefacción

La licuefacción del suelo es un fenómeno en el cual un suelo inicialmente sólido pierde temporalmente su resistencia y se comporta como un líquido, generalmente como resultado de la presión del agua en los espacios entre las partículas del suelo. Esto puede ocurrir durante eventos sísmicos, cuando las ondas sísmicas generan un aumento en la presión del agua en los poros del suelo, pero este elemento no se tomará en cuenta para el análisis.

5.3.2. EVENTOS CLIMÁTICOS

Los eventos climáticos se refieren a situaciones o fenómenos meteorológicos que ocurren en la atmósfera y que tienen un impacto significativo en las condiciones del tiempo en una región específica. Estos eventos pueden abarcar una amplia variedad de condiciones meteorológicas, como lluvias intensas, tormentas tropicales, huracanes, vientos, crecidas instantáneas, entre otros. La frecuencia e intensidad de estos eventos pueden variar según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas de la región. Los eventos climáticos pueden tener consecuencias importantes en diversos aspectos, como la infraestructura, la agricultura, la salud pública y el medio ambiente.

5.3.2.1. TORMENTA TROPICAL

Una tormenta tropical se refiere a un sistema bien organizado de nubes y tormentas eléctricas que se forma sobre aguas tropicales o subtropicales. Este sistema presenta una circulación cerrada de bajo nivel y su giro es en dirección opuesta a las agujas del reloj en el hemisferio norte. Definida como un tipo de ciclón tropical, una tormenta tropical se caracteriza por vientos máximos sostenidos que oscilan entre 39 y 73 millas por hora (63 a 118 kilómetros por hora).(PIEVC, 2020).

Según el Servicio Meteorológico Nacional han ocurrido 39 tormentas tropicales que afectaron directamente a Honduras, entre los años 1954 – 2023.

5.3.2.2. HURACÁNES

Según (CNE, 2020) son un evento meteorológico de la atmósfera baja que se asemeja a un gran embudo giratorio. Puede tener un diámetro de aproximadamente 1000 km y alcanzar alturas de hasta 10 km. Genera vientos con velocidades que superan los 200 km/h y ráfagas que llegan a los 400 km/h, acompañados de fuertes lluvias. Hasta el momento, el territorio costarricense no ha experimentado el impacto directo de un huracán, y los daños registrados en el país son principalmente consecuencia de efectos indirectos de este fenómeno hidrometeorológico.

Según el Servicio Meteorológico Nacional han ocurrido 40 huracanes que afectaron directamente a Honduras, entre los años 1954 – 2023.

5.3.3. CUENCA TRIBUTARIA

La cuenca se origina en el lado oriental de la Cordillera del Merendón, específicamente en Santa Rosa de Copán. A medida que avanza, recorre los departamentos de Copán, Santa Bárbara y Cortés, siguiendo un curso paralelo al río Santiago a lo largo de la ladera de la montaña de Omoa. Ambos ríos están separados por una cadena de colinas al sur. Finalmente, la cuenca desemboca en el punto más bajo del Valle de Sula, específicamente en la Laguna de Alvarado, conectándose con el Mar Caribe.

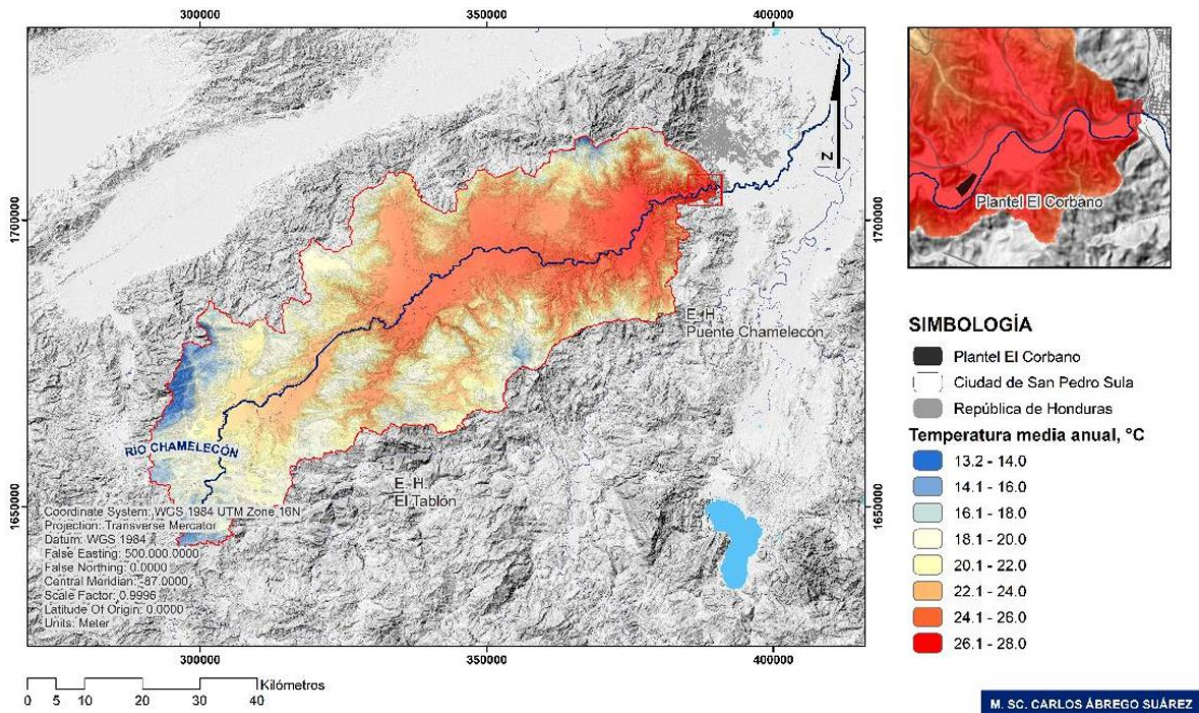


Ilustración 46 - Distribución de la temperatura media anual en la cuenca de Río Chamelecón

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022)

La ilustración 45 proporciona una representación espacial detallada de la temperatura media anual, la cual ha sido estimada mediante un proceso de doble interpolación.

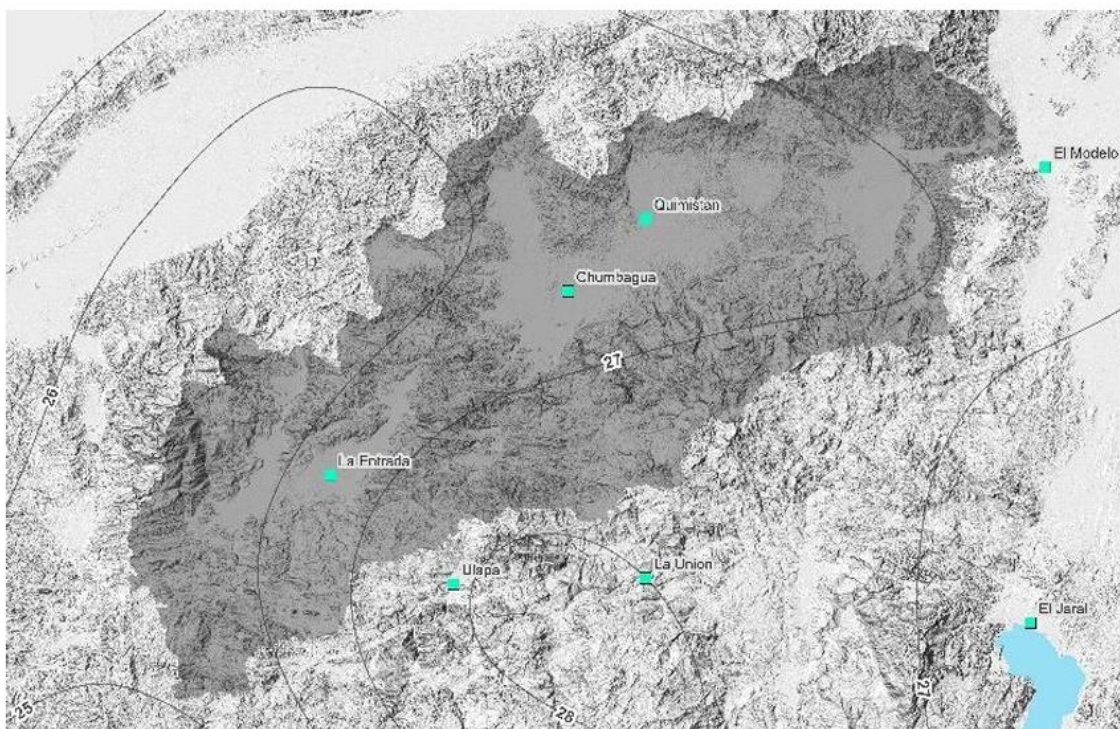


Ilustración 47 - Variación de la elevación y la temperatura media anual en las estaciones pluviométricas

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022)

La ilustración 46 hace referencia a la variación de la elevación y la temperatura media anual en las diferentes estaciones pluviométricas que están en la cuenca del río Chamelecón.

5.3.3.1. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

En la tabla 10 se presentan los parámetros morfológicos para la cuenca del río Chamelecón, esta tiene datos relevantes para esta investigación, datos como ser, el área el perímetro, la longitud de cauce entre otras.

Tabla 10 - Parámetros morfológicos para la cuenca del del río Chamelecón

Parámetros	Dimensión
Área de drenaje (km ²)	3250
Perímetro (km)	408
Longitud el cauce principal (km)	175
índice de compacidad	2.02
Factor de forma	0.21

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022).

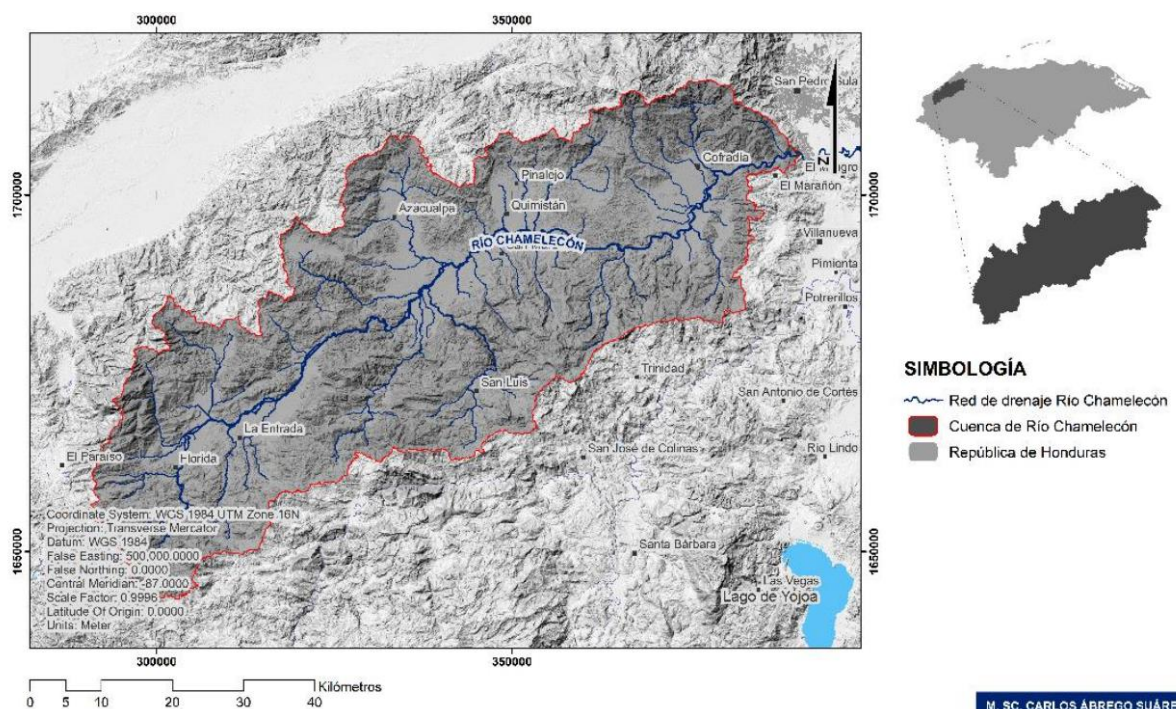


Ilustración 48 - Red de drenaje superficial de la cuenca de Río Chamelecón

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022)

En la ilustración 47 se presenta la corriente principal de Río Chamelecón, ubicada a una altitud de 38 m sobre el nivel del mar, abarca aproximadamente 175 kilómetros y presenta una pendiente promedio de 0.007 m/m. En cuanto a los afluentes, estos muestran pendientes más acordes con las características de torrentes, evidenciando corrientes con pendientes superiores a 0.100 m/m en los primeros tramos de su recorrido. Ejemplos de estos tributarios incluyen los ríos Blanco, Camalote, Nanchapa, Cacaupala, Naco y Manchaguala, entre otros.

5.3.3.2. TIPOS DE SUELOS DE LA CUENCA

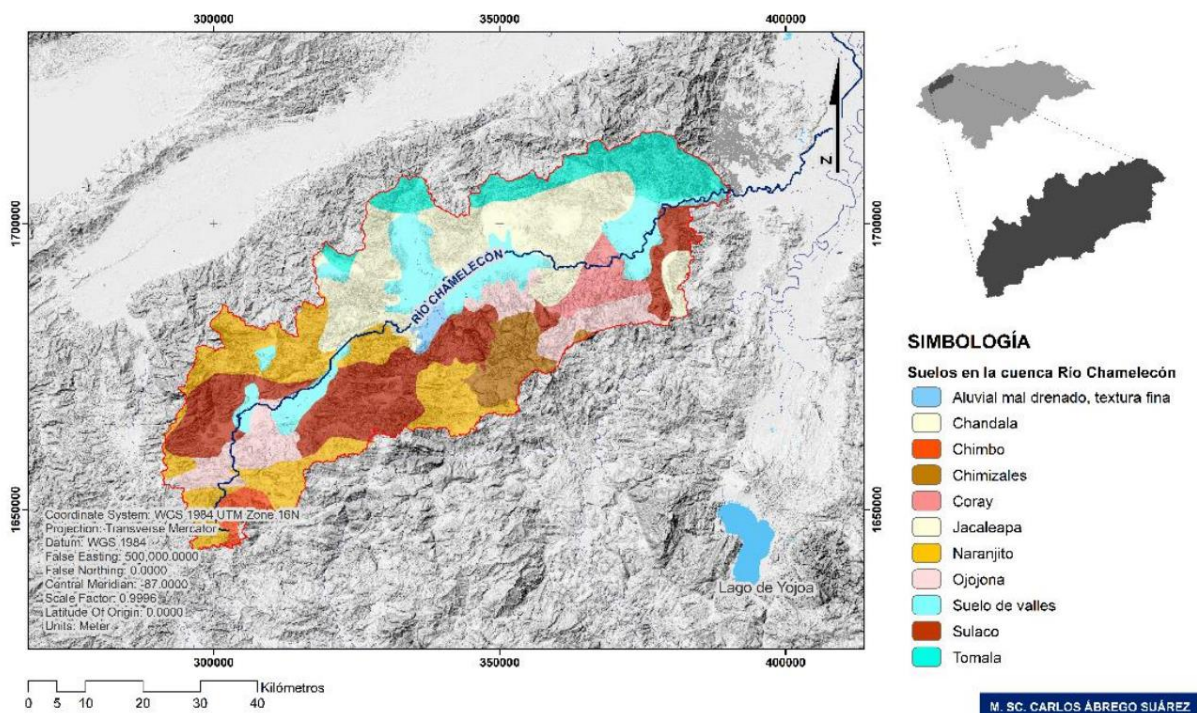


Ilustración 49 - Distribución espacial de las series de los suelos en la cuenca de Río Chamelecón.

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

En la ilustración 48 se representa los tipos de suelos que hay en la cuenca del río Chamelecón, mayormente está conformada por suelos de tipo Tomala cercano a San Pedro Sula y Sulaco en el área de Copán.

Reconociendo y clasificando diversos tipos de suelos presentes en la región, se han identificado varias categorías en la totalidad de la subcuenca. Estas incluyen Suelos Jacaleapa (19%), Suelos Sulaco (19%), Suelos Naranjito (18%), Suelos de valles (13%), Suelos Tomalá (10%) y Suelos Ojojona (9%). Además, se encuentran en proporciones más pequeñas otros suelos, como Chimizales, Coray, Chimbo y Chandala. Para obtener detalles específicos sobre

su distribución espacial, se proporciona una ilustración detallada. (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSA, 2022)

5.3.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS

La información climática es esencial para llevar a cabo el análisis, y en este sentido, resulta crucial determinar los parámetros climáticos que serán considerados en la investigación.

La situación geográfica de Honduras determina un clima predominantemente tropical. No obstante, la topografía del país y su interacción con los vientos que inciden en la región, así como la presencia de fenómenos tropicales como ondas y ciclones, contribuyen a la formación de microclimas que abarcan desde el tropical seco hasta el tropical húmedo.

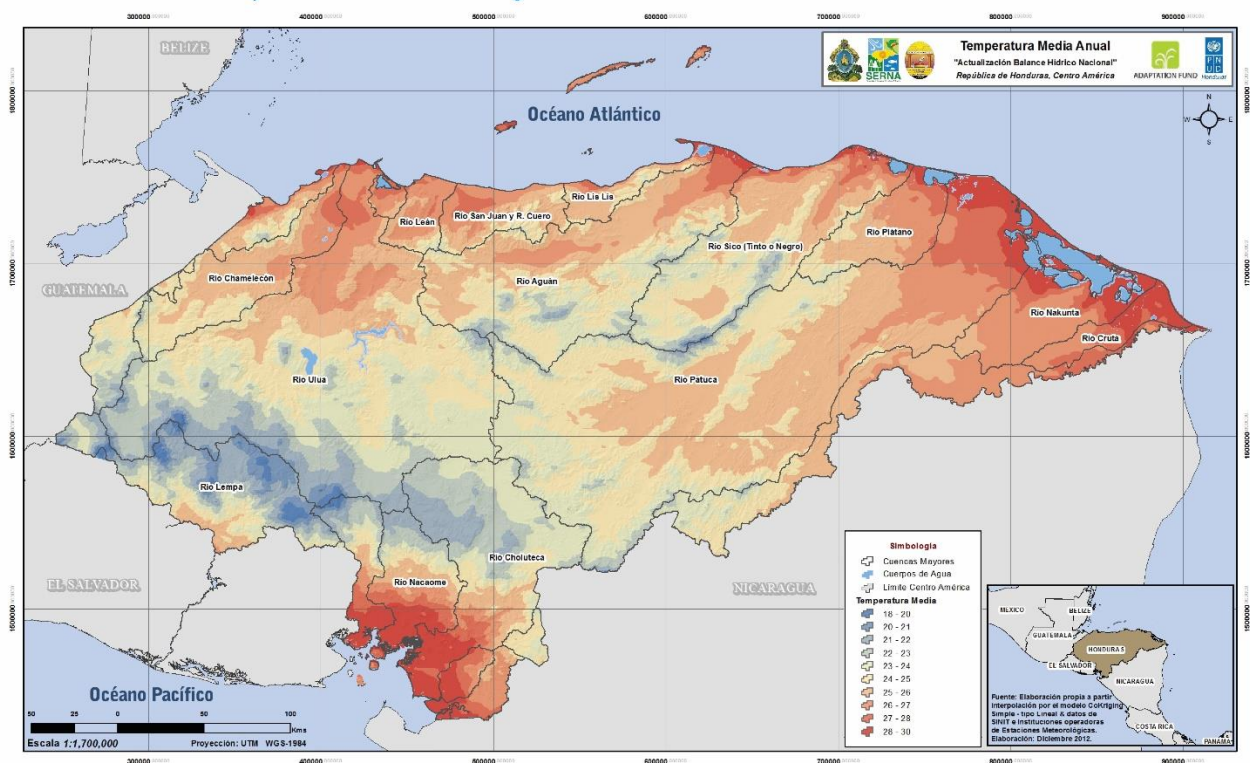


Ilustración 50 - Mapa de temperatura promedio anual en Honduras

Fuente: (SMN, 2023)

La ilustración 49 representa la temperatura promedio anual en el territorio nacional información relevante para el análisis de la vulnerabilidad climática.

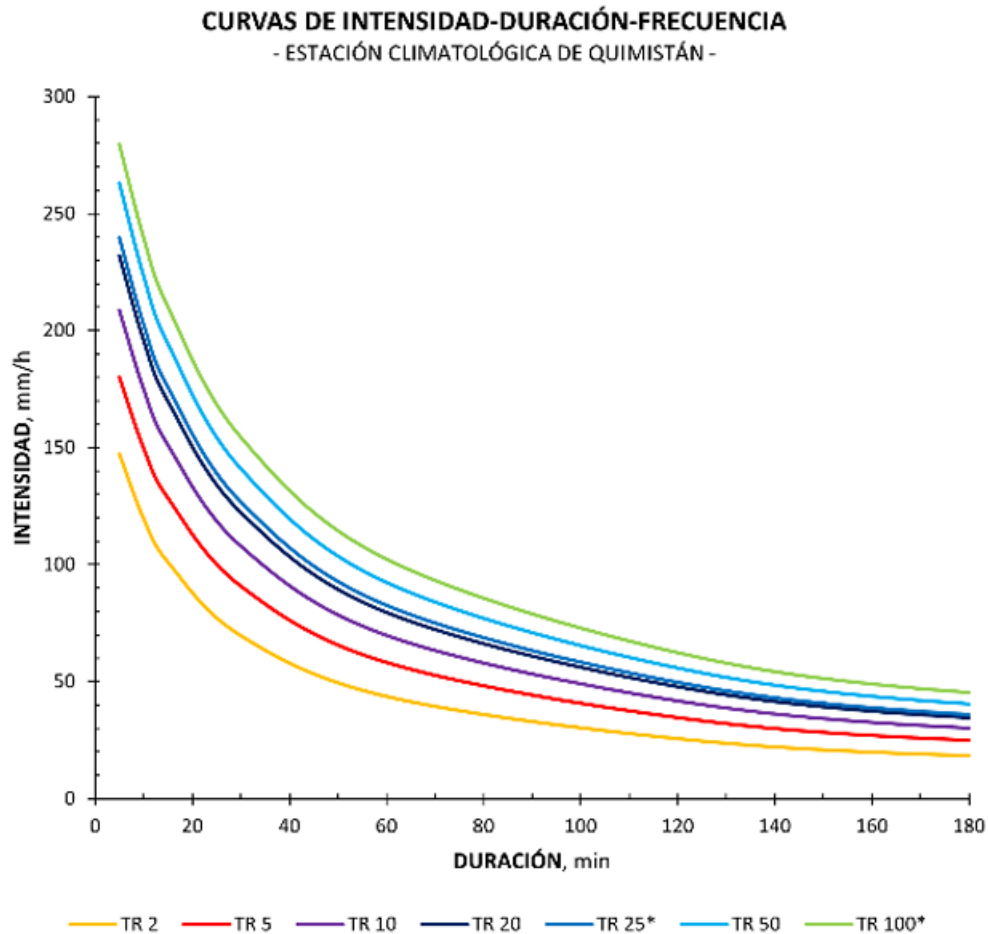


Ilustración 51 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Quimistán

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

La ilustración 50 es una curva IDF de la estación de Quimistán, es una lámina diaria de precipitación para establecer un distribuidor que relacione las intensidades con las duraciones de las tormentas y las asocie con diversos períodos de ocurrencia, las líneas de colores representas los tiempos de retorno que van desde 2-100 años.

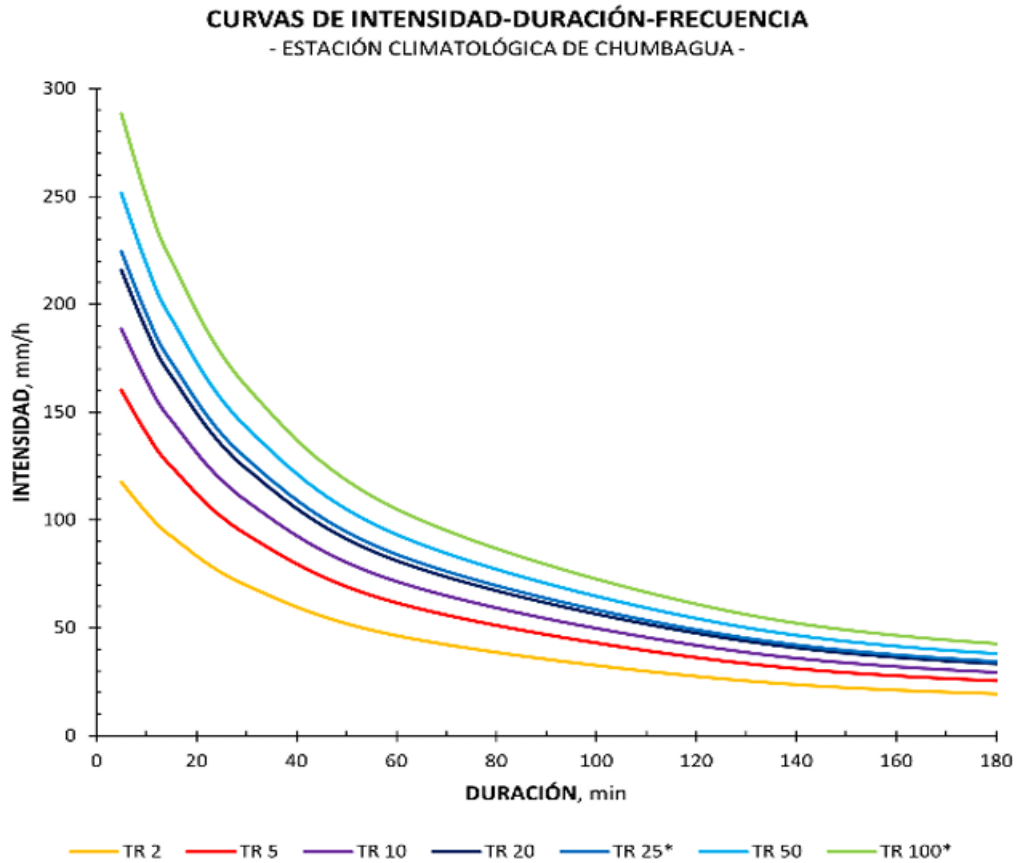


Ilustración 52 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Chumbagua

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

La Figura 51 representa una curva IDF de la estación de Chumbagua, que se utiliza como lámina diaria de precipitación para establecer un distribuidor que relacione las intensidades con las duraciones de las tormentas y las asocie con diversos períodos de ocurrencia.

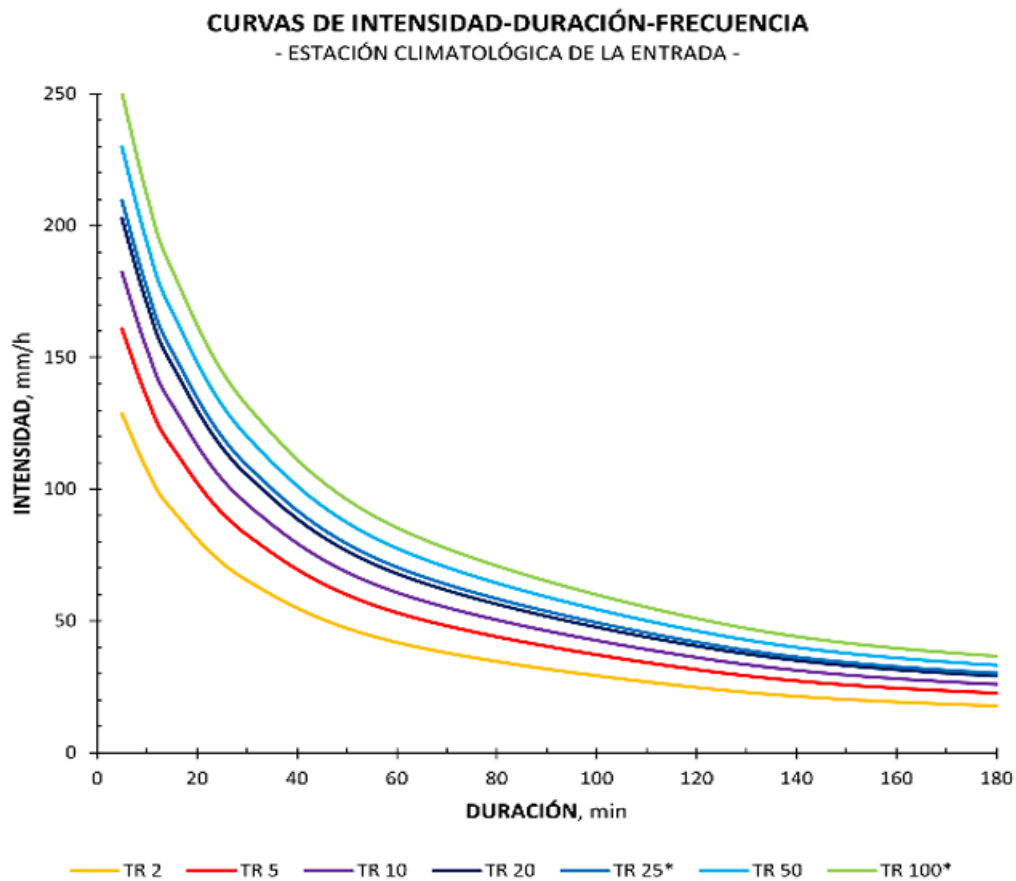


Ilustración 53 -Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación La Entrada

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

La ilustración 52 muestra una curva IDF de la estación de La Entrada, que funciona como una lámina diaria de precipitación utilizada para establecer un distribuidor que relaciona las intensidades con las duraciones de las tormentas y las asocia con diversos períodos de ocurrencia.

CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA
- ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DE SANTA ROSA DE COPÁN -

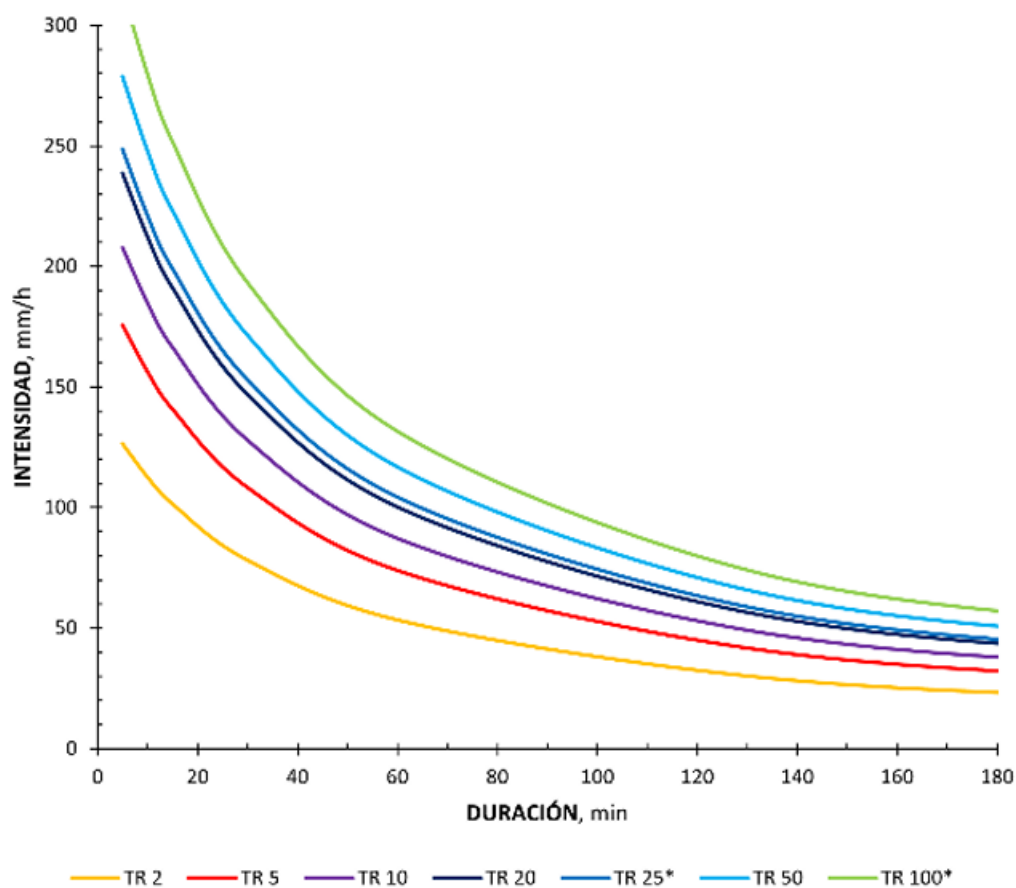


Ilustración 54 - Curvas de intensidad-duración-frecuencia en la cuenca de Río Chamelecón, Estación Santa Rosa

Fuente: (Ábrego Suárez & CONHSA PAYSÁ, 2022)

La Figura 53 presenta una curva IDF de la estación de Santa Rosa, la cual sirve como una lámina diaria de precipitación utilizada para establecer un distribuidor que relaciona las intensidades con las duraciones de las tormentas y las asocia con diversos períodos de ocurrencia.

A continuación, mediante la tabla 8, se presenta el historial meteorológico de eventos extremos en Honduras desde los años 1954 a 2023, proporcionando datos año en el que ocurrió el evento, la duración de este, el tipo de evento que fue, en el caso de ser huracán la categoría que fue y su nombre.

Tabla 11 - Historial Meteorológico Eventos Extremos en Honduras 1954 a 2023

AÑO	DURACION	TIPO	CATEGORIA	NOMBRE
2023	DEL 02 AL 06 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	PILAR
2023	06 AL 10 DE OCTUBRE	TORMENTA TROPICAL	-	JULIA
2020	16 AL 18 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	5	IOTA
2020	31 DE OCTUBRE AL 6 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	5	ETA
2018	3 AL 7 DE OCTUBRE	DEPRESION TROPICAL	-	OT
2016	15 AL 20 DE OCTUBRE	DEPRESION TROPICAL	-	DT
2012	01 AL 10 AGOSTO	HURACÁN	1	ERNESTO
2011	23 AL 28 OCTUBRE	HURACÁN	2	RINA
2011	19 AL 22 AGOSTO	TORMENTA TROPICAL	-	HARVEY
2010	21 AL 26 OCTUBRE	TORMENTA TROPICAL	-	RICHARD
2010	11 AL 15 DE OCTUBRE	HURACÁN	2	PAULA
2010	23 AL 26 DE SEPTIEMBRE	TORMENTATROPICAL	-	MATTHEW
2010	25 DE JUNIO AL 02 DE JULIO	HURACÁN	2	ALEX
2009	04 AL 10 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	2	IDA
2008	14 AL 16 DE OCTUBRE	DEPRESIÓN TROPICAL	-	SIXTEEN
2008	05 AL 10 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	4	PALOMA
2007	31 DE AGOSTO AL 05 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	5	FELIX
2007	13 AL 23 DE AGOSTO	HURACÁN	5	DEAN
2005	15 AL 25 DE OCTUBRE	HURACÁN	5	WILMA
2005	27 AL 31 DE OCTUBRE	HURACÁN	3	BETA
2005	11 AL 21 DE JULIO	HURACÁN	4	EMILY
2005	18 AL 21 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	GAMMA
2005	08 AL 13 DE JUNIO	TORMENTA TROPICAL	-	ARLENE
2003	08 AL 16 DE JULIO	HURACÁN	1	CLAUDETTE
2002	14 AL 16 DE OCTUBRE	DEPRESION TROPICAL	-	FOURTEEN
2001	28 DE OCTUBRE AL 06 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	4	MICHELLE
2001	04 AL 09 DE OCTUBRE	HURACÁN	4	IRIS
2001	19 AL 20 DE SEPTIEMBRE	DEPRESION TROPICAL	-	NINE
2001	15 AL 22 DE AGOSTO	TORMENTA TROPICAL	-	CHANTAL
2000	28 DE SEPTIEMBRE AL 06 DE OCTUBRE	HURACÁN	4	KEITH
1999	28 DE OCTUBRE AL 01 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	KATRINA
1998	22 DE OCTUBRE AL 05 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	5	MITCH
1996	25 AL 28 DE JULIO	HURACÁN	1	CESAR
1996	15 AL 27 DE OCTUBRE	HURACÁN	3	LILI
1996	18 AL 26 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	1	MARCO
1996	11 AL 12 DE OCTUBRE	TORMENTA TROPICAL	1	KYLE
1995	03 AL 06 DE JUNIO	HURACÁN	1	ALLISON
1994	08 AL 21 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	1	GORDO
1993	14 AL 21 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	2	GERT

1990	04 AL 09 DE AGOSTO	HURACÁN	2	DIANA
1989	28 DE NOVIEMBRE AL 04 DE DICIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	KAREN
1988	17 AL 26 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	KEITH
1987	09 AL 14 DE OCTUBRE	HURACÁN	1	FLOYD
1980	20 AL 26 DE SEPTIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	HERMINE
1980	07 AL 16 DE NOVIEMBRE	HURACÁN	2	JEANNE
1978	13 AL 20 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	4	GRETA
1974	14 AL 22 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	2	FIFI
1971	05 AL 18 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	5	EDITH
1971	11 AL 20 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	1	IRENE
1970	08 AL 13 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	3	ELLA
1969	29 AGOSTO AL 04 SEPTIEMBRE	HURACÁN	3	FRANCELIA
1966	04 AL 14 DE JUNIO	HURACÁN	3	ALMA
1964	08 AL 17 DE OCTUBRE	HURACÁN	3	ISBELL
1964	05 AL 10 DE NOVIEMBRE	TORMENTA TROPICAL	-	#12
1961	20 AL 24 DE JULIO	HURACÁN	3	ANNA
1961	27 DE OCTUBRE AL 01 DE OCTUBRE	HURACÁN	5	HATTIE
1960	10 AL 16 JULIO	HURACÁN	2	ABBY
1954	26 DE SEPTIEMBRE	HURACÁN	-	GILDA

Fuente: (SMN, 2023), (C. COPECO, 2023)

5.3.5. DEFINICIONES DE PUNTUACIÓN DE PROBABILIDAD

Se indica al especialista que emita un juicio profesional acerca de la probabilidad de que se produzca un evento climático que active un umbral de infraestructura. Es esencial distinguir esto de las consecuencias asociadas a dicho evento climático. Se le pide al profesional que califique la probabilidad del evento en esta etapa y evalúe la gravedad y/o las consecuencias en el paso siguiente del Protocolo. (PIEVC, 2020)

La metodología para evaluar la probabilidad de que ocurra un evento climático se fundamenta en las ocurrencias históricas, utilizando la frecuencia (número de eventos dentro del período establecido como línea base para el clima actual). El Protocolo ofrece una orientación para que los expertos encargados de la evaluación determinen los valores de probabilidad vinculados a cada evento climatológico. Estos valores se emplearán en el cálculo del grado de vulnerabilidad específico de cada puente.

En la tabla 12 se presenta la asignación de la probabilidad puede adoptar una forma cuantitativa, expresada en una escala de 0 a 7, en situaciones en las que se disponga de datos que permitan calcular la frecuencia. En contraste, la probabilidad también puede definirse de manera cualitativa, basada en la evaluación de expertos.

En el contexto de este estudio, la determinación cuantitativa de la probabilidad de los parámetros climáticos considerados se llevó a cabo utilizando los Factores de Escala de Probabilidad establecidos por el Protocolo PIEVC.

Tabla 12 - Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión VA 10.11.

Puntuación	Probabilidad	
	Método A	Método B
0	Insignificante	< 0.1 %
	No se aplica	< 1 en 1,000
1	Altamente improbable	1 %
	Improbable	1 en 100
2	Remotamente posible	5 %
		1 en 20
3	Posible	10 %
	Ocasional	1 en 10
4	Poco probable	20 %
	Normal	1 en 5
5	Probablemente	40 %
	Frecuente	1 en 2.5
6	Probable	70 %
	A menudo	1 en 1.4
7	Altamente probable	> 99 %
	Cercano a la certeza	> 1 en 1.01

Fuente: (PIEVC, 2020)

Se opta por el método que se considere mejor descriptivo según el profesional para determinar los valores de probabilidad que posteriormente serán aplicados al cálculo de

riesgo. Mediante el registro histórico y los parámetros establecidos para cada fenómeno se aplica el método B a este análisis.

5.3.6. ANÁLISIS CLIMÁTICO Y PROYECCIONES

Parámetros Climatológicos

Mediante la recolección y el análisis de datos, como datos históricos y estimaciones apoyadas en métodos probabilísticos, se identifican distintas características en particular que permiten categorizar la probabilidad y severidad de los distintos tipos de fenómenos climatológicos analizados. En la tabla 13 se ilustran los parámetros del clima para el Puente Chamelecón.

Tabla 13 - Tabla de Parámetros del Clima

PARÁMETRO	REGISTRO HISTÓRICO	INTENSIDAD DE EVENTO
Huracanes	6 en 50 años	Caudal mínimo de 1300 m ³ /s // precipitación acumulada de mínimo 240mm en 6 días
Tormentas tropicales	4 en 50 años	Precipitación acumulada entre 60mm-240mm
Evento Referencia (ETA)	3 en 50 años	Caudal de 4700 m ³ /s

Fuente: (C. COPECO, 2023)

Debido a que las crecidas más importantes en el Rio Chamelecón han sido generadas por precipitaciones acumuladas arriba de los 240mm se le denominó Huracán toda aquella precipitación acumulada que ha generado un caudal mínimo de 1.300 m³/s. A continuación, se detalla lo especificado.

Tabla 14 - Tabla Precipitación Acumulada vs Caudal

FENÓMENO	Año	Precipitación Acumulada (mm)	CAUDAL (m ³ /s)
Fifi	1974	484.4	
Gert	2017	240.8	1361
Mitch	1998	251.1	4700
Eta	2020	270.3	6236
Iota	2020		5803

Fuente: (C. COPECO, 2023)

La tabla 14 representa la precipitación acumulada y el caudal de 5 huracanes, no se cuenta con el registro histórico del caudal generado por el Huracán Fifi, asimismo como la precipitación acumulada del Huracán Iota; lo cual nos lleva a tener que resaltar que infortunadamente por motivos ajenos la información histórica climatológica-hidráulica-hidroológica contiene numerosa cantidad de huecos en sus registros. Por este motivo recurre a métodos probabilísticos-estimativos para rellenar este tipo de ausencias de información.

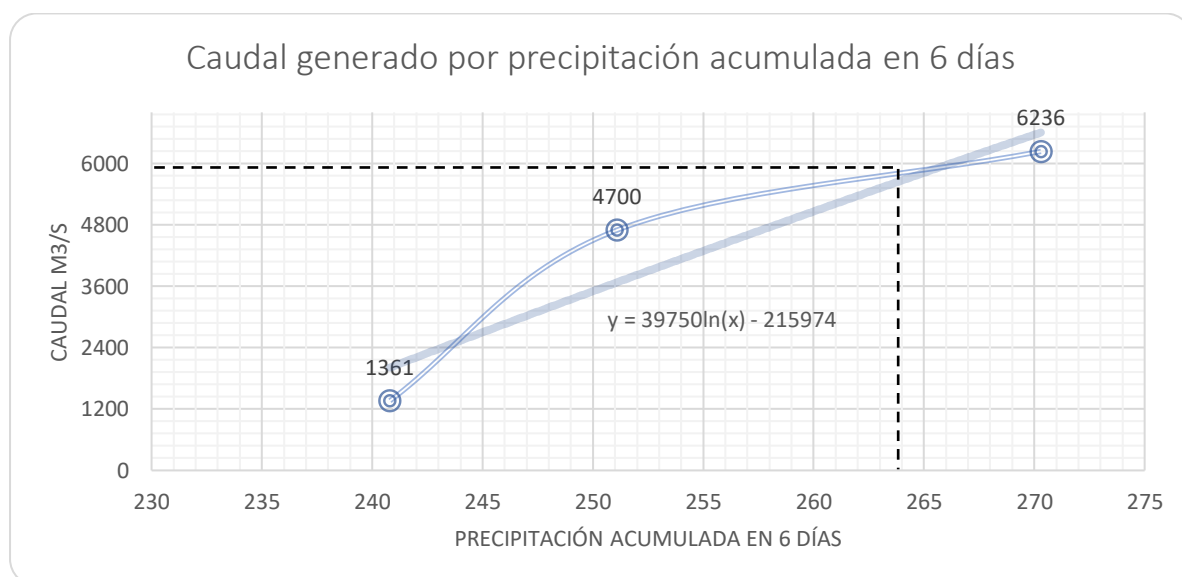


Ilustración 55 - Caudal generado por precipitación acumulada en 6 días

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 54 nos ayuda a determinar la estimación del caudal del Huracán Fifi y la precipitación acumulada del Iota, se generó una gráfica comparativa con línea de tendencia logarítmica que mediante a la ecuación del gráfico se puede estimar la precipitación acumulada del Iota, la cual se obtuvo como estimación una precipitación acumulada de 264.9mm;

Con el fin de estimar el caudal del Fifi se debe tener un parámetro de cuál es el caudal máximo que se puede esperar para la cuenca de Chamelecón. Para esta estimación se recurre a una técnica de representación visual del comportamiento global de los caudales máximos anuales en una determinada región que se observa mediante un gráfico que establece una relación entre esta variable y el área de drenaje correspondiente de la cuenca. La curva suave que

abarca todos los puntos en dicha gráfica se denomina la Envolvente de Crecidas. Se representa de la siguiente manera:

$$Q = 1.3 \cdot C \left(\frac{A}{2.59} \right)^{0.936 \cdot A^{-0.048}}$$

Ecuación 1 - Envolvente de Crecidas

Fuente: (Zucarelli, 2013)

donde,

Q = caudal máximo estimado (m³/s)

A = área de la cuenca en Km²

C = coeficiente adimensional de Creager (8 para Centroamérica)

5.3.7. HEC RAS

Hec-Ras representa una herramienta computacional diseñada para llevar a cabo la modelación hidráulica. A través de esta aplicación, los usuarios pueden realizar cálculos numéricos de manera sencilla y fácil en lo que respecta a los ejes hidráulicos en cursos de agua naturales. Además, la herramienta permite incorporar singularidades ocasionadas por intervenciones humanas, como puentes, alcantarillas o vertederos laterales. La interfaz gráfica de la aplicación facilita al usuario la introducción de información necesaria para la simulación, utilizando módulos integrados, y obtener respuestas de fácil comprensión y impresión en formato gráfico o tabulado. Estas respuestas están vinculadas al perfil longitudinal del curso de agua y a las secciones transversales correspondientes.(Béjar, 2014)

En el contexto del Protocolo de Evaluación de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio Climático (PIEVC), el programa HEC-RAS podría ser una herramienta útil para evaluar los posibles impactos del cambio climático en la hidrología de un área específica, especialmente en relación con la infraestructura hidráulica, como puentes y sistemas de drenaje.

(Hydrological Engineering Center – River Analysis System) por sus siglas en inglés HEC-RAS fue utilizado para simular eventos de inundación, considerando cambios en los patrones de

precipitación y caudales asociados al cambio climático. Esto permitiría evaluar cómo la infraestructura existente puede verse afectada por inundaciones más frecuentes o intensas.

El programa ayudó a analizar cómo las proyecciones de cambio climático afectarían los caudales del río Chamelecón, lo cual es crucial para entender la capacidad de los puentes y otros elementos de infraestructura hidráulica.

Es importante señalar que, aunque HEC-RAS puede ser una herramienta valiosa para evaluar ciertos aspectos hidráulicos en el contexto del cambio climático, el PIEVC abarca más que solo la hidrología. Incluye la evaluación de impactos y vulnerabilidades en la estructura, operación y función de la infraestructura en relación con el cambio climático. Por lo tanto, la aplicación exitosa del PIEVC requeriría una combinación de herramientas y enfoques que aborden diversos aspectos del cambio climático y su impacto en la infraestructura.



Ilustración 56 - Secciones del río Chamelecón a cada 200 metros

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 55 representa el seccionamiento realizado aguas abajo y aguas arriba del puente Chamelecón, estas secciones fueron modeladas en HEC RAS a cada 200 metros para lograr tener unas secciones transversales más reales del cauce del río, el seccionamiento fue realizado aproximadamente 2 Km aguas arriba y aguas abajo.

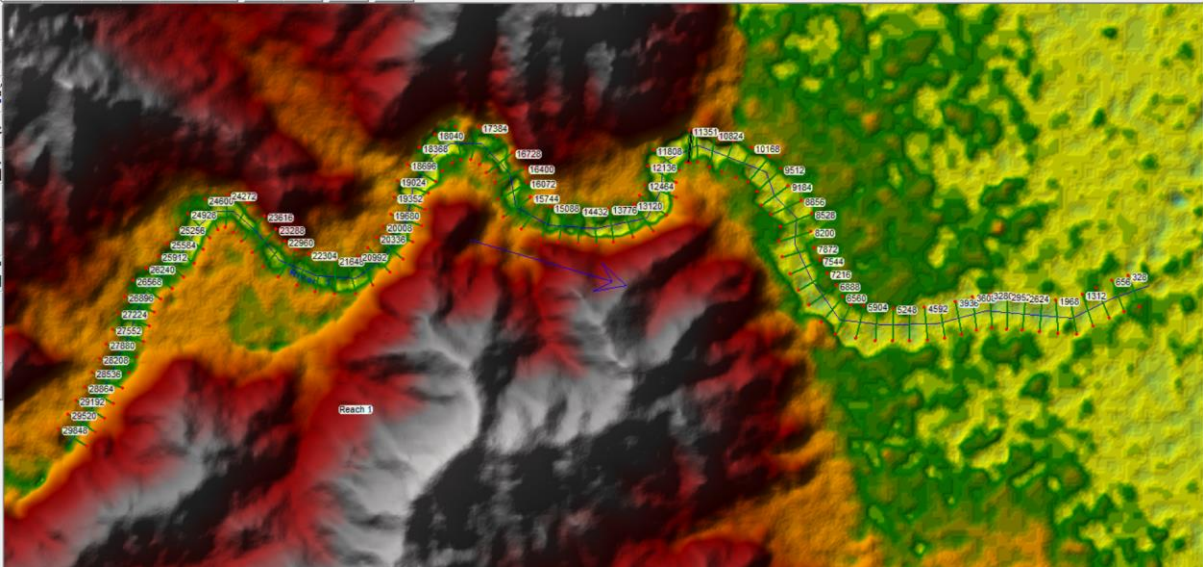


Ilustración 57 - Imagen DEM del río Chamelecón

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 56 representa una imagen DEM, que es un modelo de elevación digital se utilizó para poder meterlo en HEC RAS, esta imagen satelital es un sistema de información geográfica satelital.

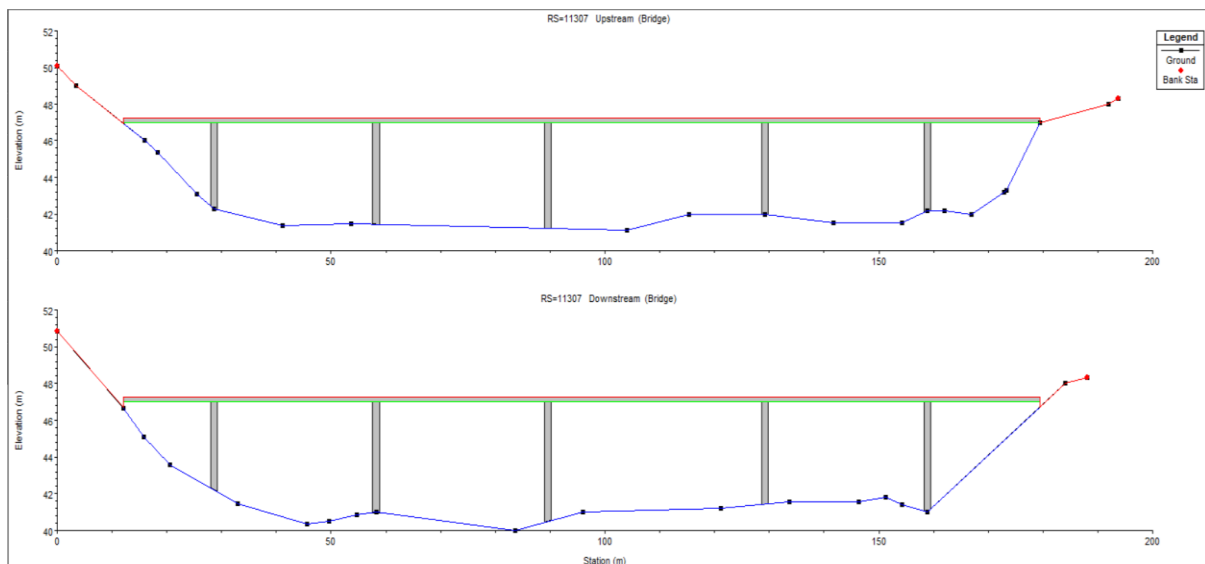


Ilustración 58 - Modelo de puente Chamelecón en HEC RAS

Fuente: (Propia, 2023)

La lustración 57 representa el puente Chamelecón con 167m y vanos de 23, 26 y 34 metros, la altura de las pilastras es de aproximadamente 6 metros, con un espesor de losa de 0.25 metros.

La imagen representa la sección del puente tanto aguas arriba como aguas abajo, por ello es notorio que las secciones tienen leves diferencias de elevación.

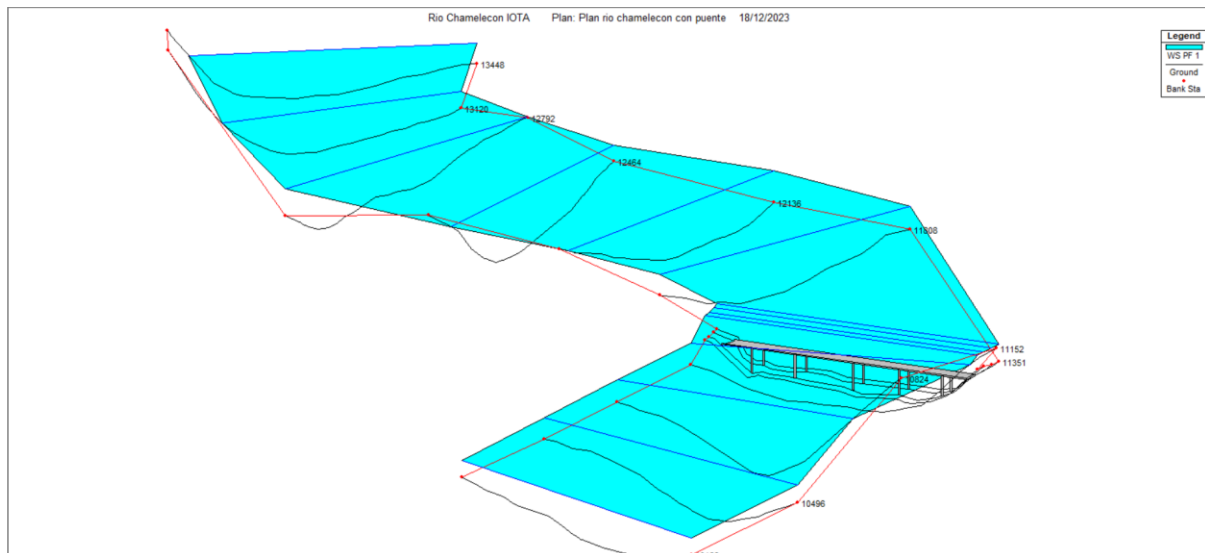


Ilustración 59 - Vista en 3D de puente Chamelecón

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 58 presenta una vista en 3D del puente Chamelecón en el cauce del río Chamelecón, para tener mayor referencia de la trayectoria del agua.

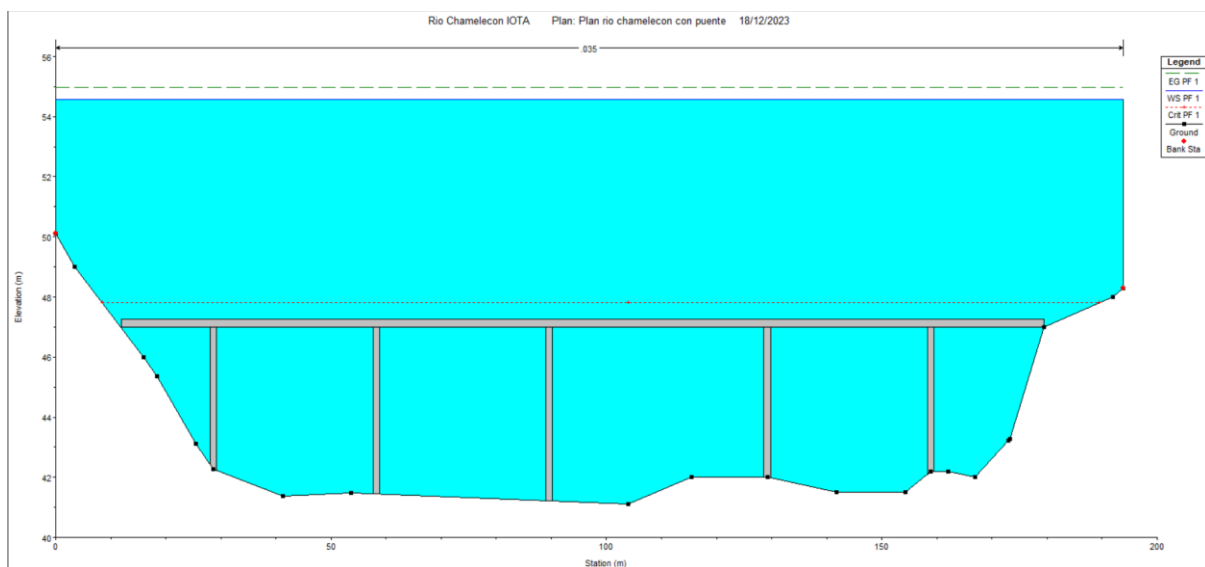


Ilustración 60 - Caudal durante el huracán ETA

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 59 muestra el caudal durante el huracán ETA que fue de $6236 \text{ m}^3/\text{s}$, según la ilustración el agua pasó sobre la losa de rodadura, pero esto no fue así, en realidad toda el

agua que se presenta sobre la losa de rodadura es toda el agua excedente que provoco las inundaciones sobre el Valle de Sula.

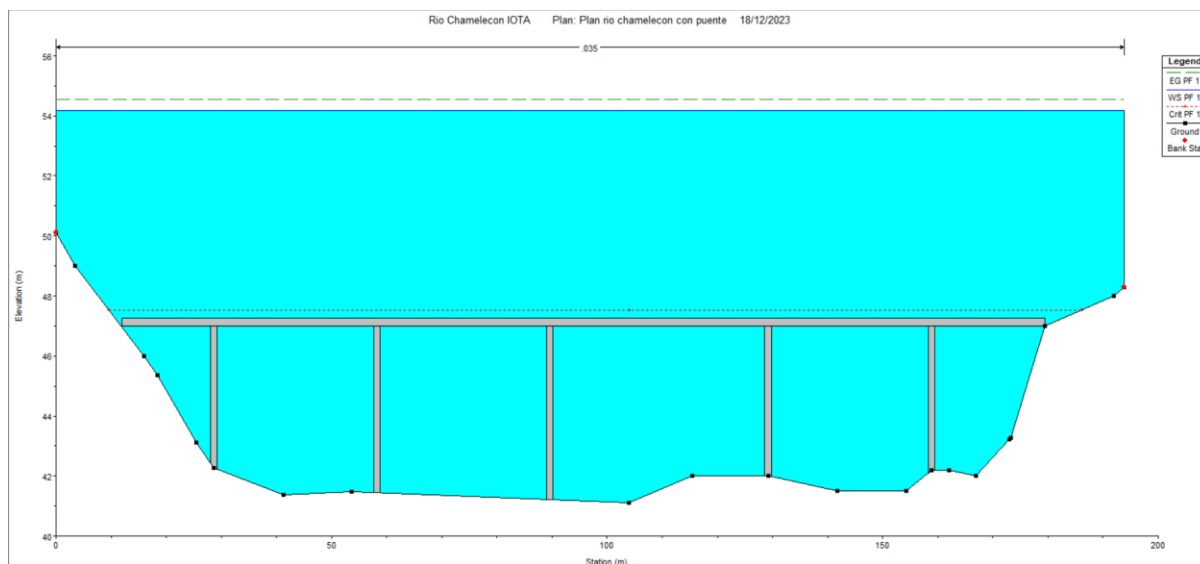


Ilustración 61 - Caudal durante el huracán IOTA

Fuente: (Propia, 2023)

La lustración 60 muestra el caudal durante el huracán IOTA que fue de 5803 m³/s, De acuerdo con el gráfico, el agua aparentemente superó la losa de rodadura, aunque en realidad toda el agua que se observa en la losa de rodadura es el excedente que provocó las inundaciones en el Valle de Sula, HEC RAS trata de contener los 5803 m³/s en esa sección del cauce del rio Chamelecón, como si no existieran las planicies de inundación.

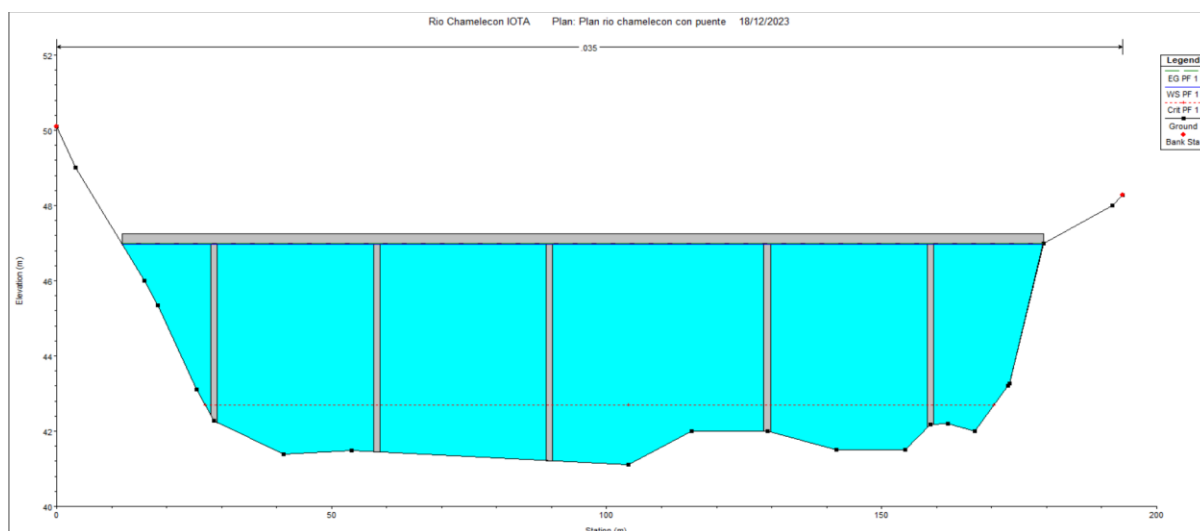


Ilustración 62 - Caudal real al que fue expuesta la estructura

Fuente: (Propia, 2023)

La ilustración 61 muestra el caudal real al que fue expuesto el puente Chamelecón durante los huracanes, según el modelo realizado en HEC RAS el caudal que hizo que el agua tocara la parte inferior de las vigas fue de 500 m³/s, ese fue el caudal que impactó en las pilastras durante ese evento extremo en el 2020.

Este análisis en HEC RAS nos ayuda a tener una perspectiva más amplia para poder evaluar el riesgo más objetivamente.

5.4. PASO 3: EVALUACIÓN DEL RIESGO

En este paso se trabajó para poder

Se examinó la interacción entre los parámetros climáticos y los componentes de la infraestructura detallada en la sección 2.3 mediante un proceso de evaluación iterativo en tres etapas:

1. En el análisis Sí/No, para cada componente de la infraestructura (es decir, para cada fila de la matriz), se determinó si había o no interacción con el evento climático en estudio (es decir, con cada columna de la matriz). En casos donde la respuesta fue negativa, se excluyó del análisis subsiguiente, mientras que, en casos con respuesta afirmativa, se consideró la interacción para la siguiente etapa.
2. Cuando se identificó interacción, se analizó en términos de la afectación experimentada hasta el momento en relación con el evento climático analizado, asignando un puntaje según la evidencia existente y el criterio de aquellos familiarizados con esas afectaciones. Esto se corresponde con lo que el Protocolo PIEVC denomina severidad de la interacción. Utilizando la información proporcionada en el capítulo 3 (Tabla N°13), se asignó el puntaje correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de cada evento climático en el presente. La multiplicación de ambos puntajes resultó en el valor del riesgo en el escenario climático actual.

5.4.1. CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Se definen tres estándares de evaluación para medir el rendimiento del puente: estructural, operativo y funcional.

Estructural: Aborda la influencia directa en la integridad de la estructura del puente, evaluando los daños presentes o potenciales.

Operativo: Se hace mención a la intervención del personal de operación y mantenimiento, así como de expertos externos, con el fin de asegurar la continuidad del servicio. En otras palabras, este criterio establece la necesidad de intervención humana para ofrecer o restaurar el servicio en caso de interrupciones.

Funcional: Se refiere a la capacidad de la infraestructura para proporcionar el servicio para el cual fue diseñada, específicamente, la conexión entre las orillas del río.

5.4.2. CRITERIOS DE SEVERIDAD

En la tabla 15 se presentan una puntuación de 0 – 7 esto permite al profesional o evaluador de la estructura emitir una opinión experta sobre la gravedad de un evento. Es crucial no confundir esto con la probabilidad del evento. Se le pide al profesional que evalúe la probabilidad del evento en el paso anterior y que evalúe la gravedad y/o las consecuencias en este paso del Protocolo.

Tabla 15 - Criterios de severidad para valoración del riesgo

Puntuación	Gravedad de Consecuencias y Efectos	
	Método D	Método E
0	Sin efecto	Despreciable No aplicable
1	Medible	Muy bajo Algún cambio medible
2	Menor	Bajo Ligera pérdida de funcionalidad
3	Moderado	Pérdida moderada de funcionalidad
4	Mayor	Pérdida importante de funcionalidad Alguna pérdida de capacidad
5	Serio	Pérdida de capacidad Alguna pérdida de función
6	Peligroso	Importante Pérdida de función
7	Catastrófico	Extremo Pérdida total del activo

Fuente: (PIEVC, 2020, pág. 35)

Para realizar los cálculos en la etapa de interacción entre cada componente y el parámetro climatológico elegido, se acordó que los valores de los diversos factores de severidad se establecerían mediante consenso, basándose en el juicio analítico de los investigadores y apoyándose del criterio profesional de los asesores temáticos.

- Cálculo del Riesgo.

el riesgo se refiere a la evaluación combinada de la probabilidad de que ocurra un evento climático y la severidad de las consecuencias asociadas con ese evento en relación con la infraestructura en consideración. El riesgo se cuantifica mediante la asignación de puntuaciones a la probabilidad y a la severidad, y multiplicando estos valores para obtener un valor de riesgo. Este proceso ayuda a identificar y priorizar las interacciones climáticas que pueden tener un impacto significativo en la infraestructura, lo que a su vez facilita la toma de decisiones y la implementación de medidas de adaptación. La interpretación del riesgo se formula mediante la combinación de la probabilidad de que suceda un incidente no deseado y la gravedad de sus consecuencias. Matemáticamente, esta relación se expone de la siguiente manera:

$$R = P * S$$

Ecuación 2 – Riesgo

Fuente: (PIEVC, 2020)

Donde:

R = Riesgo

P = Probabilidad

S = Severidad

5.4.3. UMBRALES DE TOLERANCIA DE RIESGO

Los tres intervalos que el protocolo del PIEVC define son:

Riesgo bajo: Se define para un puntaje inferior a 12. Este valor se obtiene al hacer al multiplicar una ocurrencia altamente probable (> 99% o > 1 en 1.01, según la Tabla N°12) con una

puntuación de 12 y una severidad menor con una puntuación de 1. En esta categoría no se requiere tomar acción alguna.

Riesgo moderado: Se define para un intervalo de 12 – 36, se calcula el límite inferior sumando una unidad al límite superior del rango bajo. El límite superior se determina multiplicando una ocurrencia muy probable (>99% o > 1 en 1.01 según la Tabla N°12) con una puntuación de 12 y una severidad moderada con una puntuación de 10. En esta categoría se debe prestar atención porque una acción podría ser requerida juntamente con un análisis de ingeniería

Riesgo alto: Esta es la categoría más alta, aquí la puntuación debe ser mayor que 36, En última instancia, esta categoría señala acciones inmediatas que deben tenerse en cuenta al tomar decisiones para intervenir en el puente.

Para llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad mediante la aplicación de la metodología del Protocolo PIEVC, se procederá a identificar, para el puente, las relaciones entre cada uno de los elementos elegidos y cada evento climatológico específico. Estas interacciones se registrarán y organizarán en una matriz denominada Matriz de Riesgo.

El protocolo PIEVC define los mismos umbrales de tolerancia en los que se detallan a continuación:

La tabla 16 representa los umbrales de tolerancia al riesgo estos son los v valores que arroja la matriz según la multiplicación de la severidad por la probabilidad.

Tabla 16 - Umbrales de tolerancia al riesgo (R)

UMBRALES DE TOLERANCIA AL RIESGO (R)		
< 12	Riesgo bajo	<ul style="list-style-type: none"> No se requiere acción
12-36	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> Acción podría ser requerida Análisis de ingeniería podría ser requerido
> 36	Riesgo alto	<ul style="list-style-type: none"> Acción requerida

Fuente: (PIEVC, 2020)

Las interacciones con bajo riesgo no indican una vulnerabilidad inmediata. Según la evaluación profesional del experto, la vulnerabilidad asociada al componente de infraestructura es muy baja en relación con el cambio climático, por lo que no se requiere ninguna acción adicional.

Las interacciones con riesgo moderado señalan una vulnerabilidad potencial. En el criterio profesional del practicante, existe una vulnerabilidad potencial asociada al componente de infraestructura en relación con el cambio climático. Puede ser necesario llevar a cabo un análisis de ingeniería adicional, ya que el profesional puede no ser capaz de proporcionar una determinación clara y definitiva de la vulnerabilidad.

Las interacciones de alto riesgo indican una vulnerabilidad identificada. Según la evaluación profesional del practicante, hay una vulnerabilidad identificable asociada al componente de infraestructura en relación con el cambio climático, y puede ser necesario tomar medidas inmediatas.(PIEVC, 2020)

Tabla 17 - Tabla de Probabilidad

PARÁ METRO	FRECUENCIA	PROBABILIDAD
Huracanes	12%	3
Tormentas tropicales	8%	2
Evento Referencia / ETA	6%	2

Fuente: (Propia, 2023)

A continuación en la tabla 18 se presenta la matriz de riesgo del puente Chamelecón, abarcando las tormentas tropicales, fenómenos extremos como huracanes y eventos de referencia como el MITCH , ETA e IOTA, esta tabla sirve para dar una valoración del riesgo el cual resulta de la multiplicación de la probabilidad por la severidad, esta severidad se da en los componentes de la infraestructura, como ser, hidrología e hidráulica, estructura, geología y geotecnia.

Tabla 18 - Matriz de riesgo puente Chamelecón

	COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA	Tormentas Tropicales				Fenomenos Extremos (Huracanes)				Evento ETA			
		Presente	P=			Presente	P=			Presente	P=		
		198 mm/5 días				270mm/5 días				270mm/5días			
H.1	HIDROLOGIA E HIDRAULICA	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R
H.1	Cuenca Hidrográfica:												
H.1.1	Estado/Condiciones de la cuenca	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
H.2	Hidraulica:												
H.2.1	Tipo de río (Joven , adulto)	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
H.2.2	Planicies de inundación	S	2	4	8	S	3	6	18	S	3	6	18
H.2.3	Pendientes predominantes	S	2	3	6	S	3	3	9	S	3	3	9
H.2.4	Socavación	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
H.2.5	Sedimentación	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
H.2.6	Zonas de deslizamiento	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
H.2.7	Rugosidad del cauce	S	2	2	4	S	3	2	6	S	3	2	6
				Promedio	4.75			Promedio	7.88			Promedio	7.88
E	ESTRUCTURA :	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R
E.1	Superestructura:												
E.1.1	Posición del puente	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.1.2	Losa de rodadura	S	2	3	6	S	3	3	9	S	2	3	6
E.1.3	Vigas	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.1.4	Diafragmas	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.1.5	Apoyos	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.1.6	Pretils	S	2	3	6	S	3	3	9	S	2	3	6
E.1.7	Carpeta Asfáltica de rodadura	S	2	3	6	S	3	3	9	S	2	3	6
E.1.8	Losa de Aproximacion	S	2	4	8	S	3	4	12	S	2	4	8
E.1.9	Sistema de drenaje	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.1.10	Señalización vertical	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.2	Sub estructura :												
E.2.1	Pilas	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.2.2	Estribos	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.2.3	Aletas del estribo	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
E.2.4	Cimentación	S	2	2	4	S	3	2	6	S	2	2	4
				Promedio	4.71			Promedio	7.07			Promedio	4.71
G	GEOLOGIA Y GEOTECNIA	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R
G.1.1	Geología :												0
G.1.2	Ubicación de fallas												0
G.1.3	Morfología												0
G.1.4	Unidades Geológicas												0
G.2	Geotecnia												0
G.2.1	Clasificación del suelo	S	2	2	4	S	2	2	4				0
G.2.2	fricción, peso específico, capacidad												0
G.2.3	Consolidación / asentamiento												0
G.2.4	Licuefacción												0
O	OTROS	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R
O.1													
O.2													

A continuación, se presenta la tabla 19 la cual se encuentra dividida en sus subcomponentes, esta es la matriz de hidrología e hidráulica en el cual se exponen los fenómenos de tormentas tropicales hoy con una probabilidad del 8% que corresponde hoy a la asignación de probabilidad dos y fenómenos extremos en otras palabras huracanes con una probabilidad de ocurrencia del 12% se le asigna la probabilidad 3.

Tabla 19 - Matriz de riesgo Hidrología e Hidráulica

COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA	Tormentas Tropicales (Probabilidad 8%) P=2				Fenómenos Extremos (Huracanes) (Probabilidad 12%) P=3			
	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R
HIDROLOGIA E HIDRAULICA								
Estado/Condiciones de la cuenca	S	2	2	4	S	3	2	6
Tipo de río (Joven , adulto)	S	2	2	4	S	3	2	6
Planicies de inundación	S	2	4	8	S	3	6	18
Pendientes predominantes	S	2	3	6	S	3	3	9
Socavación	S	2	2	4	S	3	2	6
Sedimentación	S	2	2	4	S	3	2	6
Zonas de deslizamiento	S	2	2	4	S	3	2	6
Rugosidad del cauce	S	2	2	4	S	3	2	6
			Promedio	4.75			Promedio	7.88

Fuente: (Propia,2023)

A continuación, se presenta la tabla 20 la cual se encuentra dividida en sus subcomponentes, esta es la matriz de hidrología e hidráulica en el cual se exponen los fenómenos de tormentas tropicales hoy con una probabilidad del 8% que corresponde hoy a la asignación de probabilidad dos y fenómenos extremos en otras palabras huracanes con una probabilidad de ocurrencia del 12% se le asigna la probabilidad 3.

Tabla 20 - Matriz de riesgo de Estructura

COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA	Tormentas Tropicales				Fenómenos Extremos (Huracanes)			
	(Probabilidad 8%) P=2				(Probabilidad 12%) P=3			
ESTRUCTURA	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R
Posición del puente	S	2	2	4	S	3	2	6
Losa de rodadura	S	2	3	6	S	3	3	9
Vigas	S	2	2	4	S	3	2	6
Diafragmas	S	2	2	4	S	3	2	6
Apoyos	S	2	2	4	S	3	2	6
Pretils	S	2	3	6	S	3	3	9
Carpeta asfáltica de rodadura	S	2	3	6	S	3	3	9
Losa de aproximación	S	2	4	8	S	3	4	12
Sistema de drenaje	S	2	2	4	S	3	2	6
Señalización vertical	S	2	2	4	S	3	2	6
Subestructura:								
Pilas	S	2	2	4	S	3	2	6
Estribos	S	2	2	4	S	3	2	6
Aletas del estribo	S	2	2	4	S	3	2	6
Cimentación	S	2	2	4	S	3	2	6

		Promedio	4.71		Promedio	7.07
--	--	-----------------	-------------	--	-----------------	-------------

Fuente: (Propia,2023)

A continuación, se presenta la tabla 21 la cual se encuentra dividida en sus subcomponentes, esta es la matriz de Geología y Geotecnia en el cual se exponen los fenómenos de tormentas tropicales hoy con una probabilidad del 8% que corresponde hoy a la asignación de probabilidad dos y fenómenos extremos en otras palabras huracanes con una probabilidad de ocurrencia del 12% se le asigna la probabilidad 3.

Tabla 21 - Matriz de riesgo Geología y Geotecnia

COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA	Tormentas Tropicales (Probabilidad 8%) P=2				Fenómenos Extremos (Huracanes) (Probabilidad 12%) P=3				
	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R	
geología	N				N				
ubicación de fallas	N				N				
morfología	N				N				
unidades geológicas	N				N				
geotecnia	N				N				
clasificación del suelo	S	2	2	4	S	2	2	4	
fricción, peso específico, capacidad	N				N				
Consolidación/asentamiento	N				N				
				Promedio	4			Promedio	4

Fuente: (Propia,2023)

5.4.4. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS

Una vez finalizadas las multiplicaciones de probabilidad * severidad, se obtienen los puntajes para cada uno de los riesgos en los componentes de Hidrología e hidráulica, Estructura y Geología.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados para cada distinto evento aplicados al Puente Chamelecón obtenidos de la matriz:

Para las tormentas tropicales se analizaron un total de 23 parámetros, 8 parámetros hidrológicos-hidráulicos, 14 estructurales y 1 geológico. El nivel de riesgo en para los 3 componentes resulto ser de riesgo **bajo**.

Tabla 22 - Resultado en Tormentas Tropicales

Tormentas Tropicales			
Componente de Infraestructura Por Categoría	Nivel de Riesgo		
	Bajo	Medio	Alto
Hidrología e Hidráulica	8		
Estructura	14		
Geología	1		
Total Interacciones	23		

Fuente: (Propia,2023)

Para un evento con características de un huracán el componente Hidrológico-Hidráulico promedia 7.88 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia, solamente se obtuvo una puntuación de vulnerabilidad media de 18 puntos para el parámetro de "planicies de inundación"; el componente Estructural promedia 7.07 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia, solamente se obtuvo una puntuación de vulnerabilidad media de 12 puntos para el parámetro de "losas de aproximación".

Tabla 23 - Resultado en Huracanes

Huracanes			
Componente de Infraestructura Por Categoría	Nivel de Riesgo		
	Bajo	Medio	Alto
Hidrología e Hidráulica	7	1	
Estructura	13	1	
Geología	1		
Total Interacciones	21	2	

Fuente: (Propia,2023)

Tabla 24 - Resultado en evento de referencia ETA

Evento de Referencia ETA			
Componente de Infraestructura Por Categoría	Nivel de Riesgo		
	Bajo	Medio	Alto
Hidrología e Hidráulica	7	1	
Estructura	14		
Geología	1		
Total Interacciones	22	1	

Fuente: (Propia,2023)

Para resumir, se generó la siguiente tabla que demuestra la totalidad de parámetros evaluados para cada componente y la cantidad de parámetros que recaen en las distintas categorías de bajo, medio o alto. Dando como resultado 66 parámetros de nivel de riesgo bajo y 3 parámetros de nivel de riesgo medio.

Tabla 25 - Resultado totales

Resultados Totales			
Componente de Infraestructura Por Categoría	Nivel de Riesgo		
	Bajo	Medio	Alto
Hidrología e Hidráulica	22	2	
Estructura	41	1	
Geología	3	0	
Total Interacciones	67	3	

Fuente: (Propia,2023)

Finalmente, la tabla 26, presenta un resumen del análisis de vulnerabilidad, para el apartado de tormentas tropicales presentando la puntuación promedio de los componentes: Hidrología, Estructura y Geología.

Tabla 26 – Resumen de análisis de vulnerabilidad (Tormentas tropicales)

RESUMEN ANÁLISIS VULNERABILIDAD (TORMENTAS TROPICALES)							
No.	COMPONENTES	PUNTUACIÓN			RESULTADOS		
		1-12	12-36	>36	BAJO	MEDIO	CRITICO
1	HIDROLOGÍA	4.75					

2	ESTRUCTURA	4.71					
3	GEOLOGÍA	4					
Promedio		4.48					

Fuente: (Propia,2023)

Finalmente, la tabla 27, presenta un resumen del análisis de vulnerabilidad, para el apartado de huracanes presentando la puntuación promedio de los componentes: Hidrología, Estructura y Geología.

Tabla 27 – Resumen de análisis de vulnerabilidad (Huracanes)

RESUMEN ANÁLISIS VULNERABILIDAD (HURACANES)							
No.	COMPONENTES	PUNTUACIÓN			RESULTADOS		
		1-12	12-36	>36	BAJO	MEDIO	CRITICO
1	HIDROLOGÍA	7.88					
2	ESTRUCTURA	7.07					
3	GEOLOGÍA	4					
Promedio		6.31					

Fuente: (Propia,2023)

Finalmente, la tabla 28, presenta los resultados totales del análisis de vulnerabilidad, para los componentes de infraestructura por categoría, siendo los más relevantes tormentas tropicales y huracanes, la tabla también presenta el puntaje de vulnerabilidad del puente.

Tabla 28 – Resultados totales puntaje neto de vulnerabilidad del puente

Resultados Totales			
Componente de Infraestructura Por Categoría	Nivel de Riesgo		
	Bajo (1-11)	Medio (12-35)	Alto (>36)
TORMENTAS TROPICALES	4.49	X	X
HURACANES	6.32	X	X
PUNTAJE NETO DE VULNERABILIDAD DEL PUENTE	5.41		

Fuente: (Propia,2023)

Los valores obtenidos entran en la categoría de nivel de riesgo bajo ya ambos se encuentran en el intervalo de 1-11

5.5. PASO 4: ANÁLISIS DE INGENIERÍA

El Paso 4, de naturaleza opcional, se utiliza cuando el grupo de trabajo presenta incertidumbres sobre la capacidad de la infraestructura para resistir las condiciones climáticas y el análisis del Paso 3 genera dudas sobre ciertos riesgos.

En el contexto de este estudio, no se consideró necesario llevar a cabo este paso. Aunque la evaluación resultante no planteó interrogantes, se reconoció la necesidad por parte del análisis en cuanto a diseño de determinar el nivel del río Chamelecón en función de las proyecciones futuras de lluvia. Este dato se identifica como fundamental para la toma de decisiones en relación con una posible intervención en el puente.

5.6. PASO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se logra estimar por el comportamiento del caudal en el Rio Chamelecón que precipitaciones acumuladas por encima de 240mm en 6 días puede generar caudales pico de 1361m³/s y precipitaciones acumuladas por encima de 270mm en 6 días hasta caudales por encima de los 5800 m³/s.

La capacidad hidráulica del Rio Chamelecón es de 1900m³/s por ende se puede deducir que precipitaciones acumuladas en 6 días en el rango de 240mm-270mm exceden como mínimo 2 partes y media su capacidad hidráulica superando en un 147% su capacidad hidráulica.

Se identificó mediante el registro histórico de tormentas y huracanes que las frecuencias de ocurrencia de fenómenos de estas características en la zona de evaluación del Puente Chamelecón son de un 8% para tormentas tropicales (representando una puntuación de 3 en el Protocolo PIEVC) y un 12% para huracanes (representando una puntuación de 2 en el Protocolo PIEVC).

Para los resultados obtenidos en la matriz se analizaron 23 aspectos, 8 aspectos hidrológicos-hidráulicos, 14 aspectos estructurales y 1 aspecto geológico.

- Constando que, para un evento con características de una tormenta tropical el componente Hidrológico-Hidráulico promedia 4.75 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia; el componente Estructural promedia 4.71 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia; el componente Geológico promedia 4 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia. Dando como resultado una puntuación de **4.49** en la escala PIEVC.
- Para un evento con características de un huracán el componente Hidrológico-Hidráulico promedia 7.88 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia, solamente se obtuvo una puntuación de vulnerabilidad media de 18 puntos para el parámetro de "planicies de inundación"; el componente Estructural promedia 7.07 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia, solamente se obtuvo una puntuación de vulnerabilidad media de 12 puntos para el parámetro de "losas de aproximación"; el componente Geológico promedia 4 siendo un nivel bajo en el umbral de tolerancia. Dando como resultado una puntuación de **6.32** en la escala PIEVC.

El parámetro climático que contribuye en mayor grado a una vulnerabilidad potencial del puente es el Huracán, aun y cuando su impacto en el mismo puente no cause un riesgo de alta severidad, ósea por arriba de los 36 puntos en la escala del umbral de tolerancia de riesgo, se debe procurar reparar cualquier daño mínimo para que este no se agrave y que en una futura evaluación este no genere una puntuación mayor de la que antes se obtuvo.

Como resultado final del análisis de vulnerabilidad del Puente Chamelecón se determinó que el Puente Chamelecón posee la capacidad necesaria para responder ante los fenómenos previamente analizados ocasionados ante el cambio climático. Se sugiere seguir este análisis del Puente Chamelecón ahora aplicando el análisis de ingeniería con el fin de reducir cualquier efecto adverso porque, aun y cuando el Puente Chamelecón este en óptimas condiciones nada asegura que mediante el paso de los años este no se vea afectado por algunas otras incidencias.

Recomendaciones

Se recomienda:

- a) Hacer trabajos de reparación en las juntas de expansión ya que estas presentan un desnivel ocasionado por la ausencia de una lámina de acero que es un detalle típico en juntas y se presenta este problema en cada junta del puente.
- b) Hacer reparaciones en pretiles dado que presentan fracturas significativas, especialmente en el lado de aguas abajo.
- c) Hacer trabajo de bacheo en el puente presenta baches leves que se encuentran en la carpeta asfáltica, producto del deterioro y la intemperie.
- d) Hacer canalizaciones del cauce del río en las proximidades del puente, previo al inicio de la temporada lluviosa primordialmente. Se recomienda construir obras de protección con sistema de muros de gaviones al lado derecho del cauce aguas abajo.
- e) Limpiar maleza que nace de los bordillos de la acera, asimismo limpiar la maleza y desechos de basura que se encuentran en la esquina de la primera pilastra.
- f) Efectuar trabajo de pintado tanto con la señalización horizontal como en el barandal.

5.7. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

1. Se acepta la Hipótesis **(HI1)** la cual establece que se estima que el criterio de vulnerabilidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Tormentas Tropicales es mayor a los 4 puntos y menor de los 7 puntos. (Vulnerabilidad de 4.49 puntos)
2. Se rechaza la Hipótesis **(HO1)** que establece que el rango de vulnerabilidad es menor a los 4 puntos y mayor de los 7 puntos, ya que la valoración de vulnerabilidad es de 4.49 el cual es un puntaje dentro del intervalo 4-7 puntos.
3. Se rechaza la Hipótesis de Investigación **(HI2)** ya que el criterio de severidad para la valoración de vulnerabilidad del Puente Chamelecón para Huracanes es de 6.32, por debajo de los 12 puntos.
4. Se acepta la Hipótesis Opuesta **(HO2)**: Ya que el criterio de severidad para valoración de riesgo del puente Chamelecón para Huracanes es de 6.32 puntos y no se encuentra en el rango de 12-36 puntos.

VI. CONCLUSIONES

1. La probabilidad de ocurrencia para eventos de categoría de Huracanes es del 12% (6 en 50) y para Tormentas Tropicales del 8% (4 en 50).
2. Precipitación acumulada de 264mm a 270mm en 6 días puede provocar caudales de hasta 6236 m³/s entrando en contacto con la superestructura, rebalsar y provocar inundaciones en zonas aledañas.
3. Mediante la simulación generada en HEC RAS el caudal necesario para provocar crecidas que entren en contacto con la superestructura es de 500 m³/s alcanzando una altura de 6 metros.
4. Se identificó que 2 de los 23 parámetros dentro de las componentes de Hidrología y Estructural presentan un riesgo moderado, las cuales son "planicies de inundación" (18 pts.) dentro de la categoría de hidrología y "losa de rodadura" (12) dentro de la categoría estructural.
5. La puntuación que se le otorga al Puente Chamelecón según la escala del umbral de tolerancia PIEVC en la que se posiciona el Puente Chamelecón ante el análisis de eventos climatológicos para Huracanes es de 6.32 que está por debajo de los 12 puntos por ende representa un nivel bajo y para Tormentas Tropicales la puntuación es de 4.49 representando un nivel nulo de riesgo.

VII. RECOMENDACIONES

1. El parámetro climático que contribuye en mayor grado a una vulnerabilidad potencial del puente es el Huracán, aun y cuando su impacto en el mismo puente no cause un riesgo de alta severidad, ósea por arriba de los 36 puntos en la escala del umbral de tolerancia de riesgo, se debe procurar reparar cualquier daño mínimo para que este no se agrave y que en una futura evaluación este no genere una puntuación mayor de la que antes se obtuvo.
2. Para reducir la incertidumbre de la vulnerabilidad del puente se recomienda trasladar los valores obtenidos presentes a futuro, de esta forma se genera una proyección a largo plazo ó volver a generar un análisis de vulnerabilidad cada año.
3. Así como se pueden dar resultados de severidad bajos, como es el caso del Puente Chamelecón también se pueden dar resultados críticos en otras estructuras, pero solamente podremos medir la vulnerabilidad de la estructura aplicando métodos como el protocolo PIEVC. A lo que nos lleva a recomendar implementar de forma gradual el protocolo en otras estructuras publicas ya que este protocolo dispone de una modalidad educacional.
4. Concienciar a la Municipalidad sobre la importancia de regular el uso de suelo en Chamelecón. La orientación hacia la creación del Plan Regulador en esta área es crucial para determinar el comportamiento futuro de la cuenca. La expansión urbana ha sido clave para alterar el patrón de esorrentía identificado en este estudio. Además, es imperativo evitar la emisión de permisos de construcción en áreas de riesgo, dado que durante el 2020 había muchas viviendas que estaban cercanas al cauce del río y con el gran caudal esas casas desaparecieron.
5. Elaborar una metodología en Honduras que considere las exigencias de las entidades gubernamentales. La implementación del protocolo PIEVC confirmó la relevancia de emplear servicios climáticos con una perspectiva ingenieril en estudios como el llevado a cabo. Aunque esta herramienta facilita la recopilación y análisis organizado de datos sobre la infraestructura y el clima, se destacó la necesidad de que Honduras desarrolle una metodología ajustada a las circunstancias y requerimientos específicos del país.
6. Recuperación de la cuenca mediante forestación y construcción de bordos para que de tal forma se contenga y/o se mejore el área hidráulica de la misma y prever a futuro un posible mayor desastre.

7. Se recomienda hacer una comparativa de los datos hidrológicos recabados durante la investigación versus los datos de la nueva plataforma Agua de Honduras.
8. Se incentiva a profesionales de las áreas de Ingeniería Hidráulica, Estructural y Geológica, aplicar el protocolo PIEVC y evaluar a su criterio para comparar los resultados obtenidos en esta investigación con sus propios resultados ya que al ser un análisis cualitativo se puede diferir en ciertos criterios.

VIII. APLICABILIDAD

La aplicabilidad del PIEVC es amplia y puede abarcar diferentes sectores y tipos de proyectos. Algunas de las aplicaciones potenciales incluyen:

1. **Infraestructuras críticas:** El PIEVC se puede utilizar para evaluar la vulnerabilidad de infraestructuras críticas como carreteras, puentes, sistemas de suministro de agua, redes eléctricas, aeropuertos, etc. Esto ayuda a identificar los riesgos asociados con el cambio climático y a diseñar medidas de adaptación.
2. **Proyectos de desarrollo:** Cualquier proyecto de desarrollo, ya sea a nivel local o regional, puede beneficiarse de una evaluación de impacto y vulnerabilidad del cambio climático. Esto es particularmente relevante para proyectos a largo plazo que pueden verse afectados por condiciones climáticas cambiantes.
3. **Planificación urbana:** Las ciudades pueden utilizar el PIEVC para evaluar la resiliencia de su infraestructura y planificar el desarrollo futuro teniendo en cuenta los posibles impactos del cambio climático, como inundaciones, aumento del nivel del mar, olas de calor, etc.
4. **Gestión de recursos naturales:** En proyectos relacionados con la gestión de recursos naturales, como represas, parques nacionales o gestión de cuencas hidrográficas, el PIEVC puede ser una herramienta útil para evaluar la sostenibilidad a largo plazo en el contexto del cambio climático.
5. **Sector energético:** Proyectos relacionados con la generación y distribución de energía pueden utilizar el PIEVC para evaluar la vulnerabilidad de sus instalaciones ante eventos climáticos extremos y cambios en las condiciones climáticas.
6. **Infraestructura de Transporte:** Evaluación de la vulnerabilidad de puentes, carreteras y sistemas de transporte frente a eventos climáticos extremos como inundaciones, tormentas y cambios en los patrones de precipitación.
7. **Infraestructura Hidráulica:** Análisis de la vulnerabilidad de represas, sistemas de drenaje y redes de suministro de agua ante el aumento del nivel del mar, cambios en la frecuencia de inundaciones y sequías.
8. **Desarrollo Urbano:** Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones, sistemas de alcantarillado y servicios urbanos frente al cambio climático, incluyendo la planificación de zonas de riesgo y la promoción de prácticas de diseño resilientes.

9. Agricultura y Producción de Alimentos: Evaluación de la vulnerabilidad de sistemas agrícolas y de producción de alimentos frente a cambios en los patrones climáticos, incluyendo la identificación de estrategias de adaptación para mitigar los impactos negativos.
10. Gestión de Recursos Naturales: Análisis de la vulnerabilidad de ecosistemas naturales, reservas naturales y áreas protegidas frente a eventos climáticos extremos y cambios en las condiciones ambientales.

Es importante tener en cuenta que la aplicabilidad del PIEVC puede variar según la región y el contexto específico del proyecto. Además, las herramientas y enfoques relacionados con la evaluación de impacto y adaptación al cambio climático están en constante evolución, por lo que es recomendable estar al tanto de las últimas investigaciones y prácticas en este campo.

Identificación de Áreas de Oportunidad

Las oportunidades para futuras aplicaciones del Protocolo PIEVC son vastas y pueden incluir:

- Desarrollo de Capacidades: Fortalecimiento de las capacidades locales en la aplicación del Protocolo PIEVC a través de programas de capacitación y transferencia de conocimientos, eso podría ser mediante una línea directa de comunicación con los canadienses que aplicaron el protocolo aquí en Honduras, o bien a través del programa PIEVC quienes brindan la metodología completa en versiones educativas o según sea la finalidad de estudio.
- Investigación y Desarrollo: Investigación continua para mejorar y adaptar el Protocolo PIEVC a diferentes contextos climáticos y geográficos, así como para desarrollar nuevas herramientas y enfoques metodológicos.
- Integración de Tecnología: Incorporación de tecnologías innovadoras, como sistemas de información geográfica (SIG) y modelado hidrológico avanzado, para mejorar la precisión y eficacia de las evaluaciones de vulnerabilidad, también podría venir acompañado de batimetrías de los cauces de los ríos.
- Colaboración Intersectorial: Fomento de la colaboración entre diferentes sectores y partes interesadas, incluyendo gobiernos, instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y el sector privado, para promover la aplicación integrada del Protocolo

PIEVC en proyectos existentes como evaluación de vulnerabilidad y propuestas de mantenimiento y para proyectos recientes diseñando de forma resiliente.

Limitaciones y Desafíos

A pesar de sus numerosas ventajas, la aplicación del Protocolo PIEVC también enfrenta ciertas limitaciones y desafíos, tales como:

Disponibilidad de Datos: La falta de datos climáticos y de infraestructura adecuados puede dificultar la realización de evaluaciones de vulnerabilidad precisas y exhaustivas, dado que es necesario tomar en cuenta que para aplicar este protocolo se debe cumplir con varios requisitos, como tener una buena base de datos hidrológicos para este análisis.

Complejidad Metodológica: El Protocolo PIEVC puede resultar complejo y requiere de expertos capacitados para su implementación adecuada, lo que puede representar una barrera para su adopción en algunos contextos.

Estrategias para Superar las Limitaciones

Para superar estas limitaciones y desafíos, se pueden considerar las siguientes estrategias:

Mejora de la Disponibilidad de Datos: Fomentar la recopilación y el intercambio de datos climáticos con COPECO e información sobre infraestructura con la SIT para apoyar las evaluaciones de vulnerabilidad en las diferentes estructuras a analizar.

Capacitación y Desarrollo de Capacidades: Ofrecer programas de capacitación y desarrollo profesional para mejorar la comprensión y la capacidad de aplicación del Protocolo PIEVC entre los profesionales y partes interesadas relevantes.

Promoción de la Colaboración: Fomentar la colaboración intersectorial y el trabajo en red entre diferentes actores involucrados en la planificación y gestión de infraestructura para facilitar la aplicación integrada del Protocolo PIEVC.

Apoyo Institucional y Financiero: Proporcionar apoyo institucional y financiero para proyectos piloto y programas de investigación destinados a mejorar la aplicación del Protocolo PIEVC y abordar sus limitaciones.

Nueva Plataforma de información Hidrológica

Agua de Honduras

La plataforma Agua de Honduras es una iniciativa de innovación que ofrece de forma ágil y gratuita información confiable sobre el recurso hídrico. Esta plataforma facilita la toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico en microcuencas, subcuencas y cuencas al combinar métodos científicos, tecnología digital e información pública sobre delimitaciones hidrográficas, clima, suelos, coberturas vegetales y detecciones de pérdida de vegetación, demanda y calidad de agua, inundaciones e hidrología. Actualmente, los departamentos de Ocotepeque, Copán, Santa Bárbara, Cortés, Comayagua, Lempira, Intibucá, La Paz, Valle, Choluteca y en parte Francisco Morazán, El Paraíso, Yoro y Atlántida están incluidos en esta iniciativa. (Agua de Honduras, 2024).

Para poder aplicar el protocolo PIEVC es necesario conocer información Hidrológica suficiente del área del emplazamiento de la estructura a la que se le está midiendo la vulnerabilidad, dado que son parámetros que luego juegan un papel fundamental en la valoración en las matrices de riesgo para lograr obtener la vulnerabilidad de la estructura.

La plataforma de Aguas de Honduras es una plataforma recién lanzada este 2024, que cuenta con información hidrológica pasada, presente y futura muy abundante, la cual puede ser aprovechada para hacer investigaciones de este tipo y evaluaciones a las diferentes infraestructuras que existen en el país.

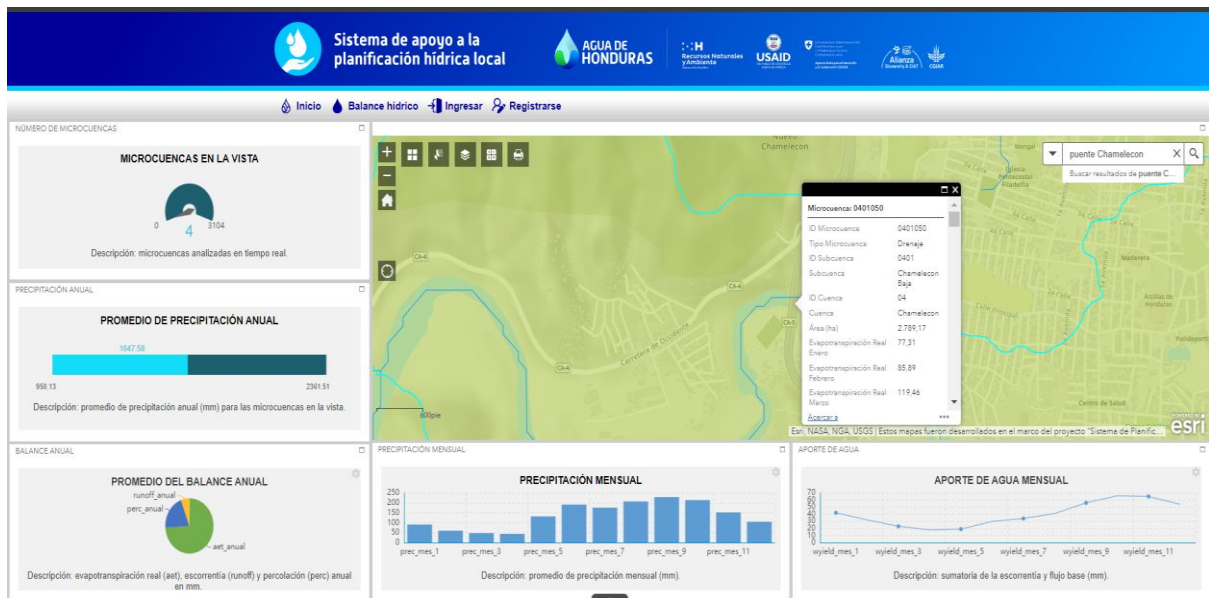


Ilustración 63 – Interfaz de plataforma

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La Ilustración 62 presenta la interfaz de la plataforma de Aguas de Honduras, la cual tiene información de Precipitación, Temperatura Mínima, Temperatura Media, Temperatura Alta y también radiación solar en función de las Trayectorias de concentración representativa (RCP) las cuales están de 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5.

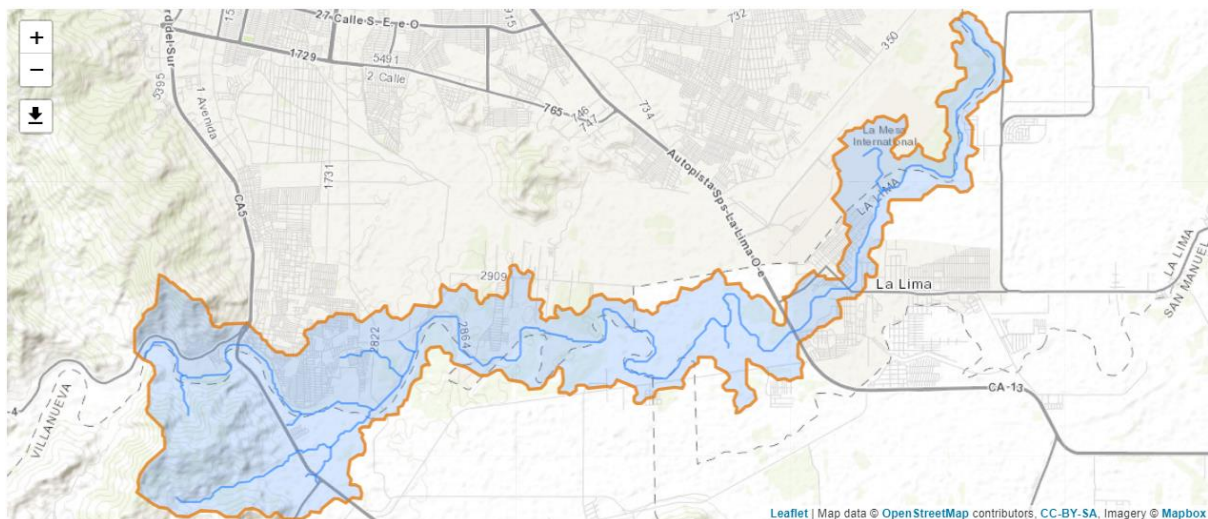


Ilustración 64 – Cuenca del Río Chamelecón

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La lustración 63 presenta la cuenca del rio Chamelecón, esta información es fundamental para cualquier análisis de vulnerabilidad que se desee hacer, la cuenca debe ser analizada según la ubicación de la estructura para esto se debe tener la ubicación geográfica de la infraestructura a analizar.

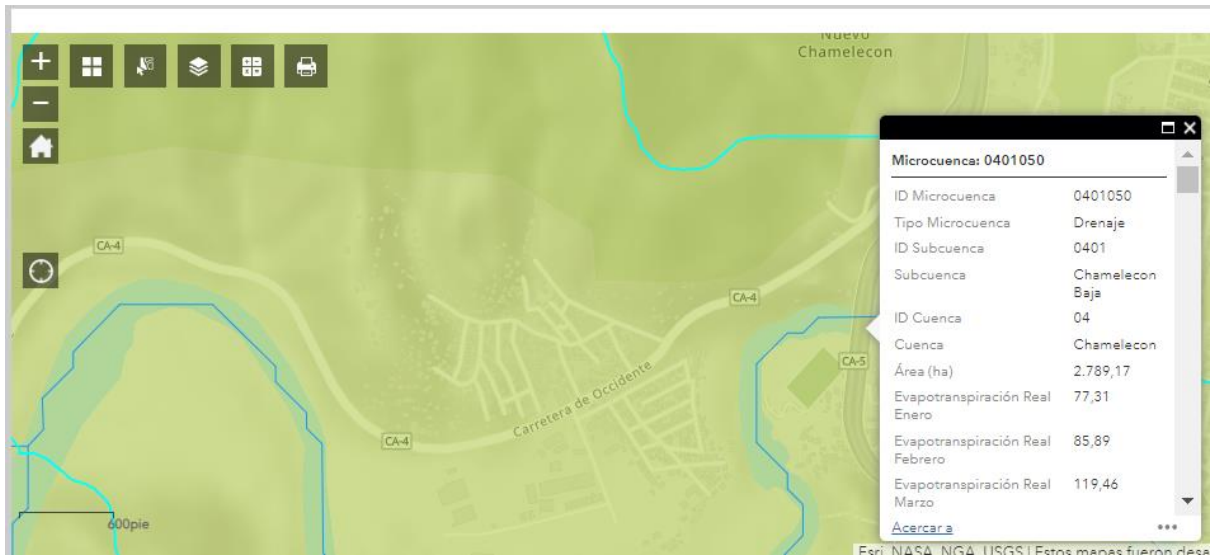


Ilustración 65 – Cuadro de información de cuenca

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La lustración 64 presenta la información de la cuenca que va desde ID drenaje, ID de microcuenca, Tipo de Microcuenca, ID de subcuenca, Subcuenca, ID Cuenca, Área de la cuenca, Evaporización real, todos estos parámetros hacen que los registros hidrológicos estén muy bien organizados dentro de la plataforma.



Ilustración 66 – Microcuencas en la vista

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La ilustración 65 presenta las microcuencas que están a la vista en esa área, Y presenta las microcuencas analizadas en tiempo real.

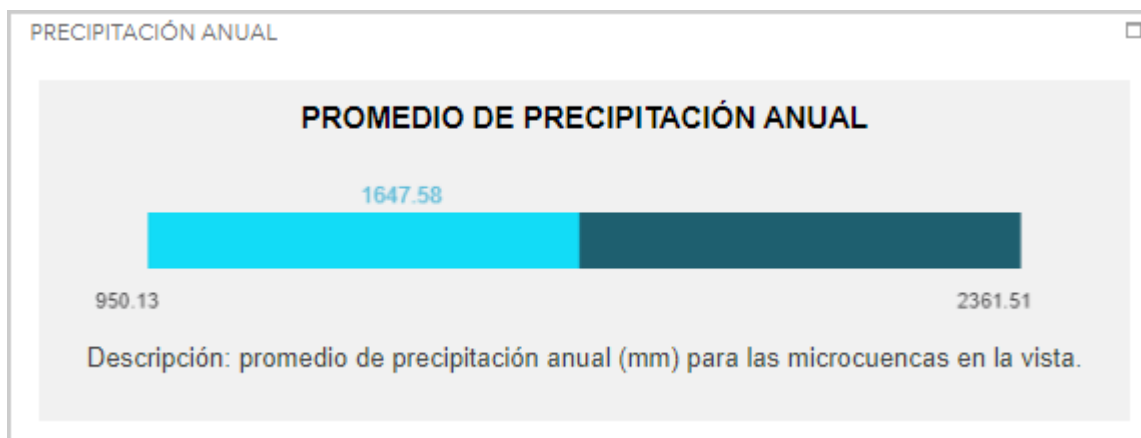


Ilustración 67 – Promedio de precipitación anual

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La ilustración 66 presenta el promedio de precipitación anual en esa zona, esta es una información fundamental para aplicar métodos como el protocolo PIEVC.

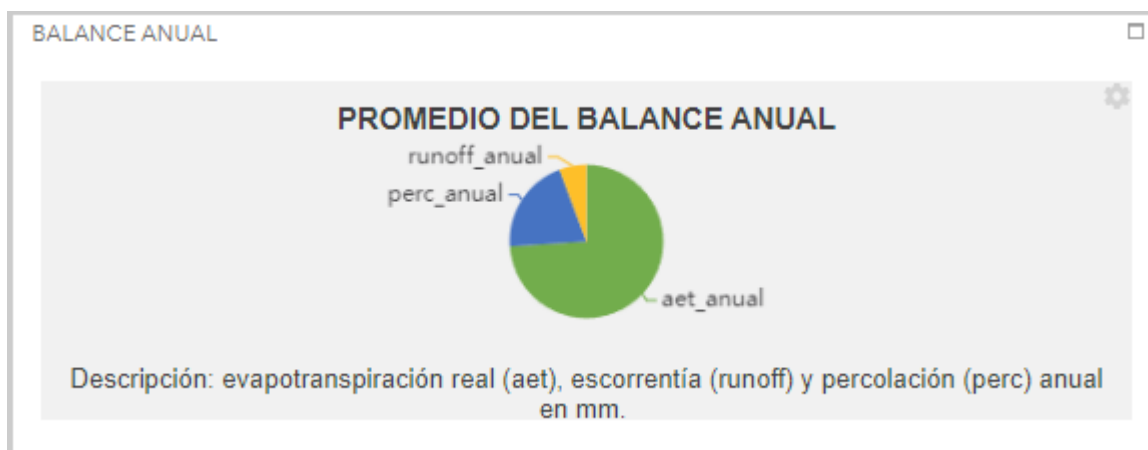


Ilustración 68 – Promedio del balance Anual

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La ilustración 67 presenta la evapotranspiración real (aet), escorrentía (runoff) y percolación (perc) anual en mm.



Ilustración 69 – Precipitación mensual

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La ilustración 68 presenta el promedio de precipitación mensual (mm), esta información es fundamental para medir en las matrices de riesgo, dado que el componente de tormentas tropicales y huracanes están ligados a las precipitaciones que se presentan en la plataforma por cada mes del año.

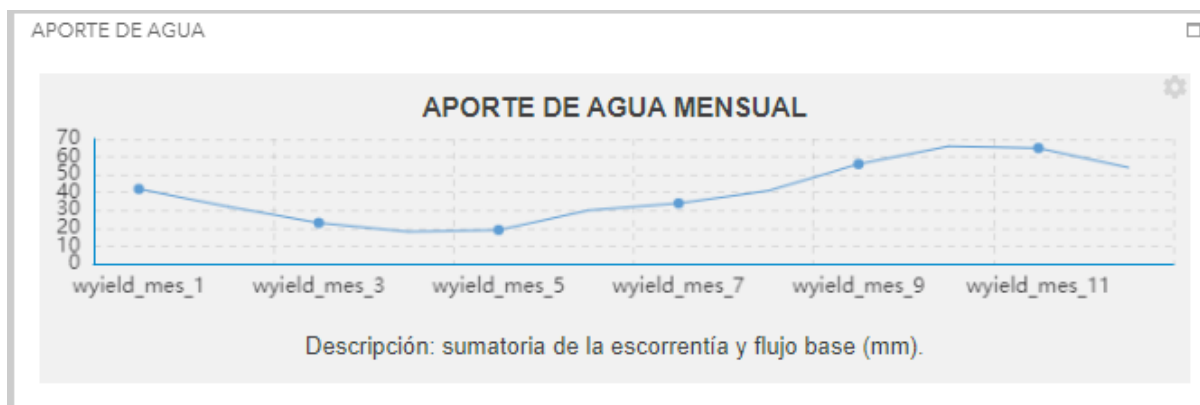


Ilustración 70 – Aporte de agua mensual

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La ilustración 69 presenta la sumatoria de la escorrentía y flujo base (mm).

Precipitación (mm)

Excel CSV PDF

No.	Mes	Línea Base	2030	2050	2080
1	Enero	86	87.9	88.9	84.8
2	Febrero	67	66.5	66.5	60.2
3	Marzo	49	47.8	47.6	45.9
4	Abril	34	34	34.1	37
5	Mayo	92	109.4	113.8	105.3
6	Junio	159	149.9	140.9	130.6
7	Julio	137	121.3	124.1	124.1
8	Agosto	157	157.7	147.8	134
9	Septiembre	182	178.7	175.8	169.7
10	Octubre	182	189.9	199.1	193.5
11	Noviembre	177	175.2	185.2	182
12	Diciembre	121	120.5	118.8	120.8
Total Anual		1443	1438.8	1442.6	1387.9

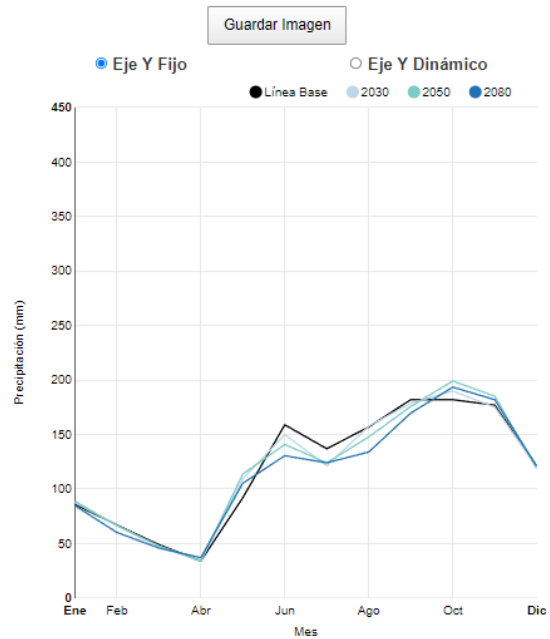


Ilustración 71 – Tabla y grafico de precipitaciones futuras

Fuente: (Agua de Honduras, 2024).

La lustración 70 presenta la Tabla y grafico de precipitaciones futuras en la cual se puede apreciar las precipitaciones para cada mes en el año 2030-2050 y 2080, este tipo de información es de suma aplicabilidad en protocolos como lo es el protocolo PIEVC, el cual se centra en información hidrológica para determinar la vulnerabilidad de las estructuras ante el cambio climático de la zona a futuro, este tipo de información evita que se hagan evaluaciones en los años posteriores de las mismas infraestructuras, dado que ya se tiene una proyección climática de la zona.

Así como esta imagen que presenta la tabla de información numérica también la plataforma cuenta con las tablas y gráficos de Temperatura Mínima, Temperatura Media, Temperatura Alta y también radiación solar.

Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema Pluvial)

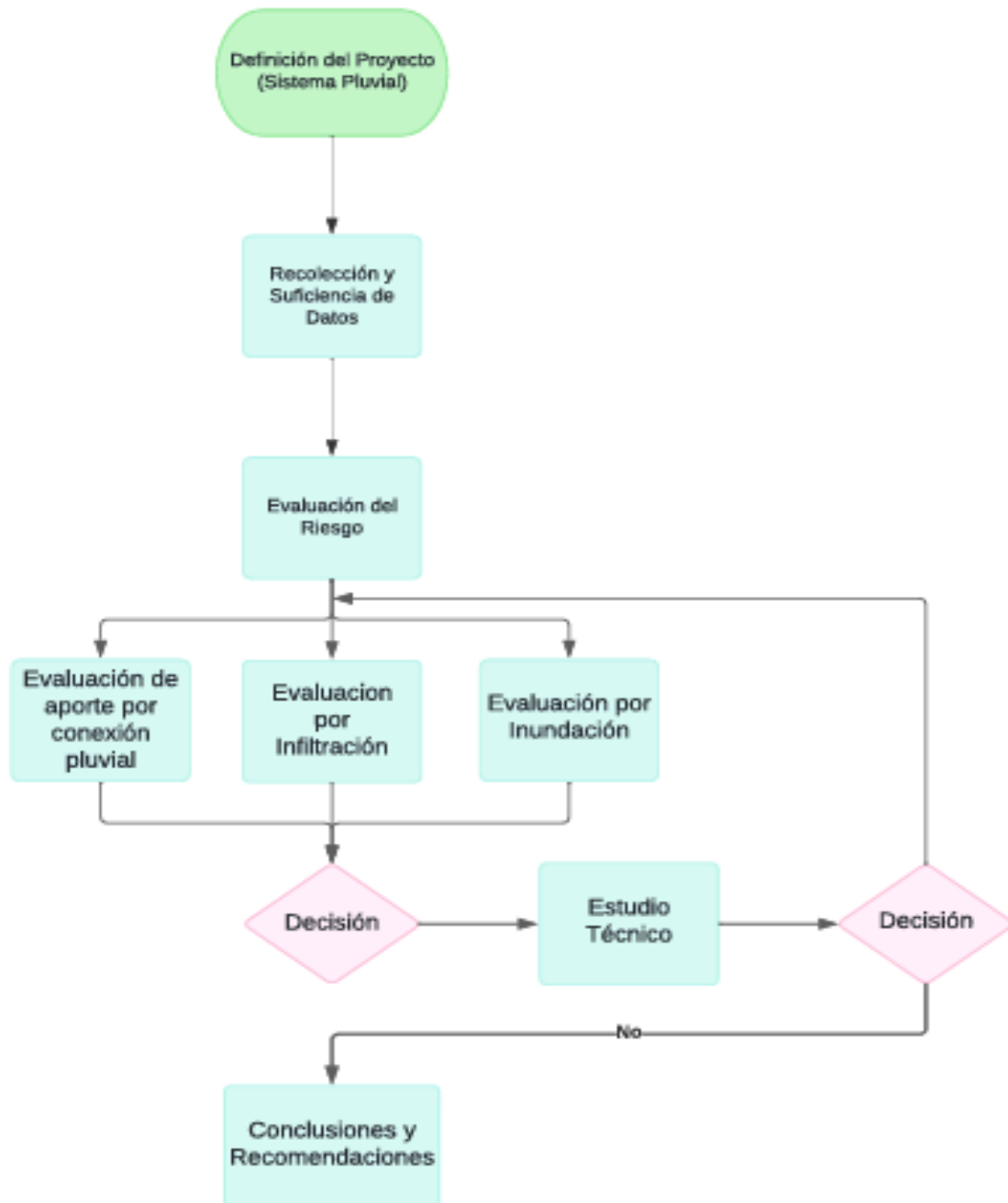


Ilustración 72 – Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema Pluvial)

Fuente: (Propia, 2024).

La ilustración 71 presenta el Flujograma del protocolo PIEVC a un Sistema Pluvial, donde se observa que se sigue una sucesión de pasos para su aplicación, este tipo de flujogramas es de mucha utilidad para tener una línea base de cómo aplicar este protocolo a las diferentes estructuras que necesitan ser medida su vulnerabilidad ante el cambio climático.

Al tener un flujograma de aplicación del protocolo a diferentes estructuras se hace más fácil saber por dónde comenzar para futuras investigaciones de ingenieros que comienzan a aplicar este protocolo como para estudiantes de ingeniería, de esta manera se proporciona ejemplos específicos de cómo se aplicaría cada paso del flujograma a un sistema pluvial real. Esto puede ayudar a visualizar mejor el proceso para aquellos que están aprendiendo sobre el Protocolo PIEVC.

De esta manera se destaca los beneficios de aplicar el Protocolo PIEVC a un sistema pluvial. Esto podría incluir la identificación de áreas vulnerables a inundaciones, la evaluación de riesgos asociados con eventos climáticos extremos y la planificación de medidas de adaptación para mejorar la resiliencia del sistema pluvial.

Al igual que se discute las consideraciones específicas que deben tenerse en cuenta al aplicar el Protocolo PIEVC a un sistema pluvial. Esto podría incluir la necesidad de datos hidrológicos y climáticos precisos, la importancia de la participación de partes interesadas relevantes para este beneficio en este año 2024 fue creada la plataforma AGUA DE HONDURAS que fungirá como una plataforma de almacenamiento de información hidrológica en el país y la consideración de factores como la topografía y la infraestructura existente.

Es importante considerar que este tipo de presentaciones y aplicaciones del protocolo PIEVC proporciona información sobre cómo el cambio climático está afectando los sistemas pluviales, como el aumento de las precipitaciones intensas, la erosión del suelo y el aumento del nivel del mar. Esto ayudará a contextualizar la importancia de evaluar la vulnerabilidad de los sistemas pluviales y tomar medidas de adaptación.

De esta manera se espera que los resultados de la aplicación del Protocolo PIEVC a un sistema pluvial, como la identificación de puntos críticos de vulnerabilidad, la evaluación de riesgos y la formulación de estrategias de adaptación sean de beneficio a las autoridades competentes

como lo es la SIT. Esto ayudará a demostrar la utilidad y relevancia del Protocolo PIEVC en la gestión de sistemas pluviales en el contexto del cambio climático.

Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema de agua residual)

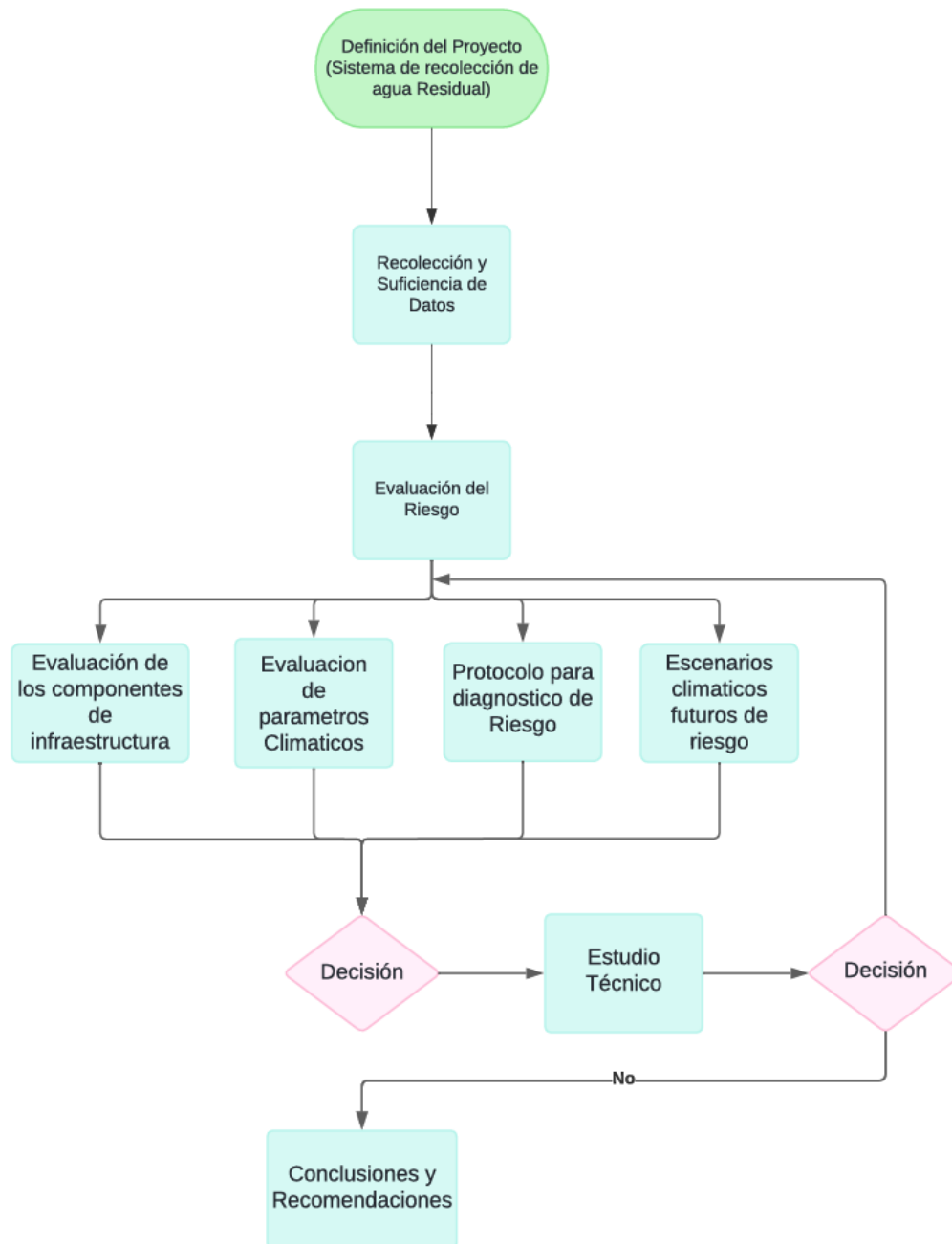


Ilustración 73 – Flujograma del protocolo PIEVC (Sistema de recolección de agua residual)

Fuente: (Propia, 2024).

La ilustración 72 presenta el Flujograma del protocolo PIEVC a un Sistema de recolección de agua residual, donde se observa que se sigue una sucesión de pasos para su aplicación, este tipo de flujogramas es de mucha utilidad para tener una línea base de cómo aplicar este protocolo a las diferentes estructuras que necesitan ser medida su vulnerabilidad ante el cambio climático.

De esta manera se explica por qué es importante aplicar el Protocolo PIEVC a un sistema de agua residual. Destaca la vulnerabilidad de estos sistemas frente a eventos climáticos extremos, como inundaciones y tormentas, así como la importancia de garantizar la continuidad del servicio de saneamiento en condiciones climáticas cambiantes.

Se debe considerar que cada uno de los componentes de análisis podría incluir la necesidad de evaluar la infraestructura de tratamiento y distribución, así como la importancia de considerar el impacto del cambio climático en la calidad del agua y la gestión de residuos.

De esta manera se destaca la importancia de realizar una evaluación de riesgos exhaustiva para identificar posibles amenazas y vulnerabilidades del sistema de agua residual. Esto puede incluir riesgos como la inundación de estaciones de bombeo, el desbordamiento de alcantarillas y la contaminación de fuentes de agua debido a eventos climáticos extremos.

Al aplicar este protocolo se desarrollan estrategias de adaptación para mitigar los riesgos identificados y mejorar la resiliencia del sistema de agua residual frente al cambio climático. Esto puede incluir la implementación de medidas de ingeniería, como la elevación de infraestructuras críticas y la mejora de la gestión de riesgos.

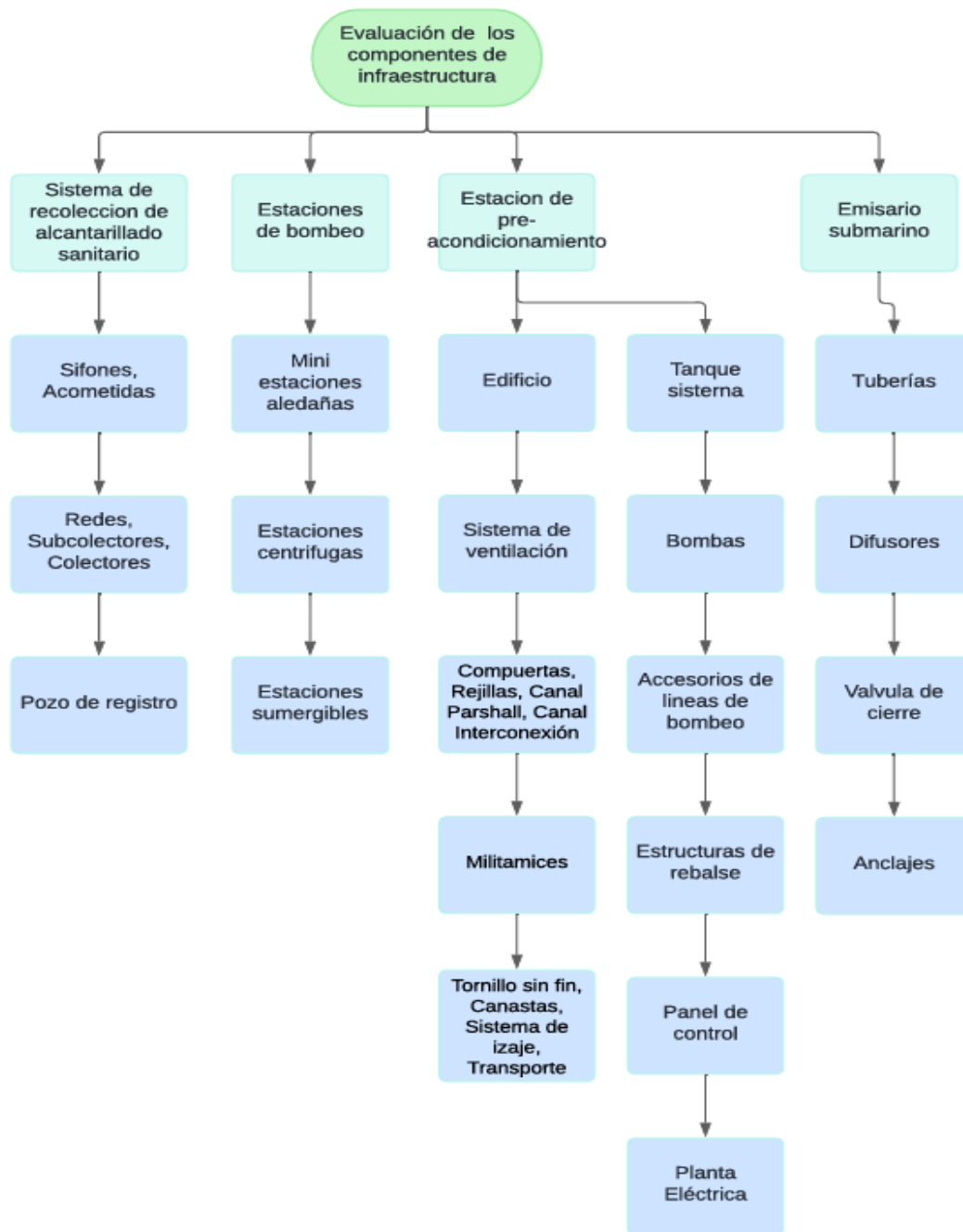


Ilustración 74 –Evaluación de los componentes de infraestructura (Sistema de recolección de agua residual)

Fuente: (Propia, 2024).

La lustración 73 presenta los componentes de la infraestructura que se está analizando, para que así se puedan verificar cada uno de los componentes y se pueda obtener el riesgo a partir de la probabilidad de ocurrencia de eventos por la severidad.

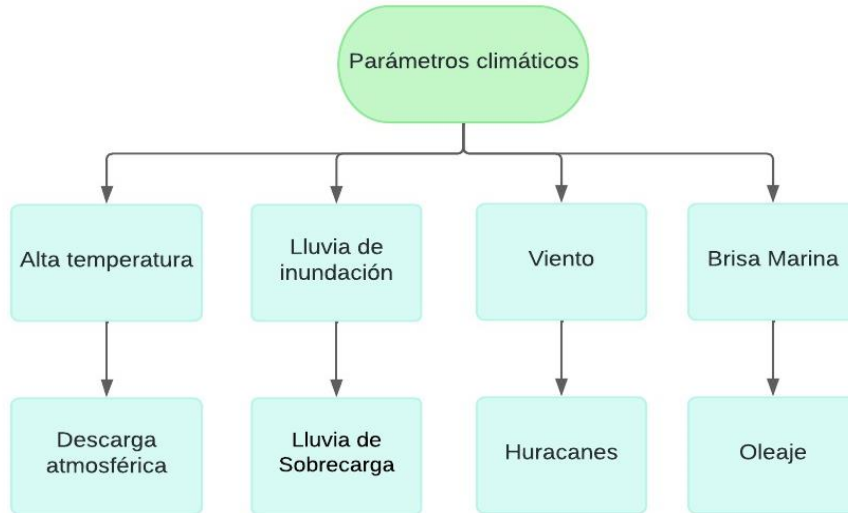


Ilustración 75 – Parámetros climáticos (Sistema de recolección de agua residual)

Fuente: (Propia, 2024).

La lustración 74 presenta los parámetros climáticos que se toman en cuenta para hacer este análisis en esta estructura, todos estos son factores que van aportando positiva o negativamente a la evaluación de la vulnerabilidad.

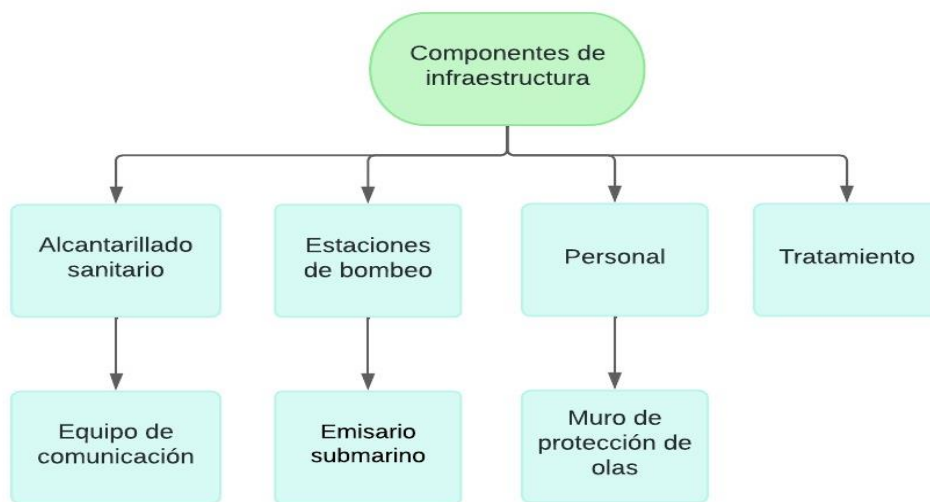


Ilustración 76 – Componentes de infraestructura (Sistema de recolección de agua residual)

Fuente: (Propia, 2024).

La lustración 75 presenta los diferentes componentes de infraestructura que se deben evaluar para determinar el riesgo de cada una.



Ilustración 77 – Pasos Finales (Sistema de recolección de agua residual)

Fuente: (Propia, 2024).

La lustración 76 presenta los pasos finales que se deben considerar para dar por finalizada la evaluación de la vulnerabilidad, de esta manera se brindan los datos finales como los es la tabla resumen de los componentes de mayor riesgo, al igual que se brindan los escenarios climáticos futuros para aprovechar la información actual que se tiene dado que suelo ser lo mas tedioso de aplicar el protocolo PIEVC, finalmente se brindan las acciones de adaptación y se dan las conclusiones sobre lo obtenido en el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Ábrego Suárez, C., & CONHSA PAYSА. (2022, abril). *Informe Final—Hidrologico e Hidraulico Fluvial—Rio Chamelecon—CONHSA-PAYSА | PDF | Inundar | Río*.
<https://es.scribd.com/document/570723322/220416-Informe-Final-Hidrologico-e-Hidraulico-Fluvial-Rio-Chamelecon-CONHSA-PAYSА>
- Agua de Honduras. (2024). *Agua de Honduras* [La plataforma Agua de Honduras]. La plataforma Agua de Honduras. <https://aguadehonduras.gob.hn/>
- Ardilu. (2023, mayo 1). PowerPoint: Qué es, Para qué sirve, Funciones y Características. *Ardilu*.
<https://www.ardilu.com/guias/microsoft-powerpoint-que-es>
- Bank, I. A. D., & Caribbean, E. C. for L. A. and the. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras*. Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/es/evaluacion-de-los-efectos-e-impactos-de-la-tormenta-tropical-eta-y-el-huracan-iota-en-honduras>
- BBC News. (2020, diciembre 31). «Un gran desamparo»: La crisis humanitaria que dejaron en Centroamérica los huracanes Eta e Iota (agravada por la pandemia). BBC News Mundo.
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-55479861>
- Béjar, M. (2014). *Hec-Ras | TEC*. <https://www.tec.ac.cr/hecras>
- Beteta, H. E., & Lennox, J. (2016). *Secretario Ejecutivo Adjunto*. 40.
- BID & Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0003310>
- Carsano, M. A. (2023). *¿Qué es y para qué sirve Microsoft Project? - Licendi*.
<https://licendi.com/es/blog/microsoft-project-que-es-y-para-que-sirve/>

CEPAL. (2014). *CEPAL*. 75.

CNE. (2020). CNE.

http://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_con_sejos/huracan.aspx

CONAVI. (2020, noviembre 23). *Aplicacion del metodo del PIEVC, en Costa Rica*. Analisis Climatologico. [https://pievc.ca/wp-](https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/05/2020_GIZ_CSI_CR_CRA_Tempisque.pdf)

[content/uploads/2021/05/2020_GIZ_CSI_CR_CRA_Tempisque.pdf](https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/05/2020_GIZ_CSI_CR_CRA_Tempisque.pdf)

Congreso Nacional. (2013, septiembre 13). *DICTAMEN HONORABLE CONGRESO NACIONAL: - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/65479876-Dictamen-honorable-congreso-nacional.html>

COPECO, C. (2023). *Información Hidrológica para desarrollo de tesis de UNITEC* [COPECO]. COPECO. <http://cenaos.copeco.gob.hn/>

COPECO, F. (2022, mayo 23). *Precipitacion del 2023* [Text]. CENAOS; iAgua. <http://cenaos.copeco.gob.hn/documentos/PrecAnual.pdf>

DPA. (2020, noviembre 23). *Eta e Iota dejan miles de millones de pérdidas en Honduras*. Chicago Tribune. <https://www.chicagotribune.com/espanol/sns-es-huracanes-dejan-milles-millones-dolares-perdidas-honduras-20201123-2wetsdunkvfv7c6hjffc3ue2iy-story.html>

Eckstein, D., Hutfils, M.-L., & Winges, M. (2018). *Evaluación de daños y pérdidas huracanes ETA e IOTA*. 6.

Engineers Canada, & CICH. (2013). *Climate Vulnerability Assesment Highways in Honduras* (1; p. 150). CICH, ENGINEERS CANADA.

file:///C:/Users/Monse/Desktop/FASE%20I/Climate_Vulnerability_Assessment_Highway_Bridges_in_Honduras_Final_Report_no_appendices_Spanish.pdf

- Leiva, F. (2023). *Google Meet: Qué es, cómo funciona y para qué sirve*.
<https://www.internetizado.com>. <https://www.internetizado.com/google/meet>
- Morales, I., & Mayora, Y. (2010). *Manual centroamericano de gestión de riesgo en puentes*. 100.
- Ocampo, D. S. (2019, junio 4). El enfoque mixto de investigación: Algunas características. *Investigalia*. <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-mixto-de-investigacion/>
- Olivos. (2023). *Zotero: El Gestor Bibliográfico Gratis—AYUDA UNIVERSITARIA*.
<https://www.ayudauniversitaria.com/zotero/>
- Ortiz, L., Bello, O., OMS, JICA, & Buitriago, M. (2014). *Manual para la evaluación de desastres*. 322.
- Pereira Pérez, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, 15(1), 15-29.
<https://doi.org/10.15359/ree.15-1.2>
- Picaro, E. B. (2022, febrero 17). *¿Qué es Zoom y cómo funciona? Más consejos y trucos*. Pocket-lint. <https://www.pocket-lint.com/es-es/aplicaciones/noticias/151426-que-es-zoom-y-como-funciona-mas-consejos-y-trucos/>
- PIEVC. (2020). *Protocolo del PIEVC 2020*.
file:///C:/Users/Monse/AppData/Local/Temp/00308421-40c1-4723-9ef3-541cbf2c15d5_PIEVC%20-%20May%202020%20-%20Version%2010-11[1].zip.5d5/PIEVC%20-%20May%202020%20-%20Version%2010-11/Vulnerability%20Assessment%20Module%20-PIEVC%20Protocol_10-11.pdf
- Rodríguez, A. (2021, agosto 10). *¿Qué es Microsoft Word (definición)? ¿Para qué se usa MS Word? (+mejores prestaciones) | Envato Tuts+. Business Envato Tuts+.*

<https://business.tutsplus.com/es/tutorials/what-is-microsoft-word-definition--cms-34990>

Santana, S. R., Antonelli, L., & Thomas, P. (2021). *Evaluación de metodologías para la validación de requerimientos*. 421.

SMN, S. M. (2023). Blog del Servicio Meteorológico de Honduras: Servicio Meteorológico Nacional de Honduras. *Blog del Servicio Meteorológico de Honduras*. <https://smnhonduras.blogspot.com/2009/09/servicio-meteorologico-nacional-de.html>

USAT. (2016, julio 15). 03-El Emplazamiento como Estrategia Proyectual. *Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo*. <http://www.usat.edu.pe/revistas-arquitectura/planta-9/volumen-01/03-el-emplazamiento-como-estrategia-proyectual/>

Victor C., V. C. (2023, enero 11). *¿Para qué sirve Microsoft Excel? (Explicado)*. <https://paraquesirven.com/para-que-sirve-microsoft-excel/>

Zucarelli, G. V. (2013). *Determinación de curvas envolventes de caudales máximos observados y esperados para la República Argentina*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n1/v4n1a10.pdf>

IX. ANEXOS



Anexo 1 - Daños en pretilas

Fuente: (Propia, 2023)



Anexo 2 - Daños en losas de aproximación

Fuente: (Propia, 2023)



Anexo 3 - Daños en losa de rodadura

Fuente: (Propia, 2023)



Anexo 4 - Daños en DAP END

Fuente: (Propia, 2024)



Anexo 5 - Daños en DAP END

Fuente: (Propia, 2024)



Anexo 6 - Daños en DAP END puente de concreto

Fuente: (Propia, 2024)