

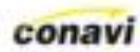


Evaluación de riesgo

de la infraestructura ante el cambio climático

Puente sobre Río Tempisque
Ruta 21, Liberia, Guanacaste.

San José, Costa Rica, Febrero de 2020.



ABREVIATURAS

AIDO: Aeropuerto Internacional Daniel Oduber

ASSHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

BMU: Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit – por su abreviatura en alemán)

CC: Cambio Climático

CS: Servicios Climáticos (Climate Services – por sus siglas en inglés)

CSI: Mejoramiento de los servicios climáticos para inversión en infraestructura (Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments – por sus siglas en inglés)

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica

CGR: Contraloría General de la República

CONAVI: Consejo Nacional de Vialidad

DCC: Dirección de Cambio Climático

DWD: Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst – por su abreviatura en alemán)

EC: Ingenieros Canadá (Engineers Canada – por sus siglas en inglés)

GIZ: Sociedad para la Cooperación Internacional Alemana (por sus siglas en alemán Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

IKI: Iniciativa Internacional de Protección del Clima (Internationale Klimaschutzinitiative
- por sus siglas en alemán)

ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Lanamme UCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

PIB: Producto Interno Bruto

PIEVC: Comité de Vulnerabilidad de Ingeniería de la Infraestructura Pública (Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee – por sus siglas en inglés)

SAEP: Sistema de Administración de Estructuras de Puentes

WP: áreas de trabajo de proyecto CSI (Working Packages por sus siglas en inglés)

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Selección de la infraestructura por analizar	12
1.3 Memorando de entendimiento	12
1.4 Detalles del estudio	13
2 APLICACIÓN DEL PROTOCOLO PIEVC	19
2.1 Línea de tiempo y desarrollo del estudio	19
2.2 Paso 1: Definición del proyecto.....	20
2.3 Paso 2: Recopilación y análisis de los datos.....	31
3 ANÁLISIS CLIMÁTICO Y PROYECCIONES	53
3.1 Análisis de vulnerabilidad.....	53
3.2 Análisis de los parámetros climáticos.....	53
3.3 Métodos y fuentes de información	56
3.4 Información para proyecciones climáticas.....	59
3.5 Períodos de análisis histórico y futuro	59
3.6 Análisis de los parámetros climáticos seleccionados.....	61
3.7 Lluvia de inundación, acumulados mayores a 300 mm entre cinco y ocho días 62	
4 PASO 3: VALORACIÓN DE RIESGO	105
4.1 Criterios de desempeño.....	105
4.2 Criterios de severidad	106
4.3 Umbrales de tolerancia al riesgo	108
4.4 Umbrales climáticos	109
4.5 Análisis de riesgos.....	112
5 PASO 4: ANÁLISIS DE INGENIERÍA	123
6 PASO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.1 Conclusiones.....	125
6.2 Recomendaciones	127
7 BIBLIOGRAFÍA	131

Índice de tablas

Tabla 1. Detalle de elementos según cada sección del puente	24
Tabla 2. Tabulación de anotaciones según los equipos de observación.....	29
Tabla 3. Parámetros morfológicos para la cuenca alta del río Tempisque.....	39
Tabla 4. Parámetros de la red hídrica para la cuenca alta del río Tempisque.....	39
Tabla 5. Parámetros de elevación para la cuenca alta del río Tempisque.....	42
Tabla 6. Uso de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.....	44
Tabla 7. Registro de mediciones de la sección transversal del río Tempisque a la altura del puente en Guardia.....	45
Tabla 8. Cantidad de unidades y porcentajes de circulación por tipo de vehículo.....	48
Tabla 9. Comparación de solicitaciones por carga viva según método de diseño.....	50
Tabla 10. Parámetros climáticos propuestos para la aplicación del PIEVC en el puente.....	54
Tabla 11. Parámetros climáticos seleccionados, definición y aplicación sobre la vulnerabilidad de la infraestructura.....	55
Tabla 12. Estaciones meteorológicas.....	56
Tabla 13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0.....	60
Tabla 14. Eventos de precipitación de inundación, referencia y efectos.....	65
Tabla 15. Registros de los eventos de precipitación por estación meteorológica..	75
Tabla 16. Características de eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos.....	78
Tabla 17. Datos de precipitación ≥ 100 mm. Estación 74-20 (AIDO).....	81
Tabla 18. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias (Período 1957-2017).....	83
Tabla 19. Datos de intensidades y períodos de retorno (Período 1957-2017).....	84
Tabla 20. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias (Período 1957-1990).....	84
Tabla 21. Datos de intensidades y períodos de retorno (Período 1957-1990).....	85
Tabla 22. Registro de caudales máximos y escalas máximas obtenidos de los hidrogramas.....	87
Tabla 23. Registros de ráfagas Estación 74-20 (Período 1988-2017).....	97
Tabla 24. Criterios de severidad para valoración de riesgo.....	107
Tabla 25. Umbrales de riesgo.....	108
Tabla 26. Detalle de elementos según cada sección del puente.....	113
Tabla 27. Resumen de riesgos identificados.....	119
Tabla 28. Variación en la cantidad de riesgos según el escenario climático.....	120

Índice de figuras

Figura 1. Participación interinstitucional para desarrollo del análisis de riesgo.	13
Figura 2. Procedimiento por pasos según el protocolo PIEVC.....	14
Figura 3. Línea de tiempo de aplicación del Protocolo PIEVC en el puente sobre el río Tempisque.....	19
Figura 4. Lámina 1 de 6 para la estructura del puente.....	22
Figura 5. Mapa con delimitación de la cuenca alta del río Tempisque hasta el puente en Guardia, Ruta 21.	38
Figura 6. Mapa con ríos que conforman la cuenca alta del río Tempisque.	40
Figura 7. Mapa: Distribución de elevaciones para la cuenca alta del río Tempisque.....	41
Figura 8. Curva hipsométrica para la cuenca alta del río Tempisque.	42
Figura 9. Mapa: Tipos de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.	43
Figura 10. Superposición de mediciones AyA – ICE de sección transversal del río.	45
Figura 11. Registro de TPDA en la estación N°549 del MOPT, Puente Río Tempisque, Guardia.	47
Figura 12. Tendencia anual de flujo vehicular en la estación N°549 del MOPT, puente río Tempisque, Guardia.	48
Figura 13. Cargas y dimensiones para diseño con camiones tipo HS.	49
Figura 14. Ubicación de las estaciones por elevación.....	57
Figura 15. Ubicación de las estaciones en el sistema hidrográfico de la cuenca. .	58
Figura 16. Precipitación diaria (mm), Estación 74-20, para agosto, setiembre y octubre de 2007.....	63
Figura 17. Precipitación acumulada anual (mm) para la Estación 74-20.	64
Figura 18. Acumulados de precipitación ≥ 300 mm en cinco a ocho días continuos. Estación 74-20.	76
Figura 19. Inundaciones en la región Chorotega durante años con influencia del fenómeno La Niña.....	77
Figura 20 Trayectoria Histórica de Huracanes en el Mar Caribe 1842-2017.....	79
Figura 21. Porcentaje mensual del número total de posiciones de ciclones tropicales en un radio de 7° a partir de algún punto de la costa Caribe de América Central. Período 1948-2007.	80
Figura 22. Número de días por año con precipitaciones ≥ 100 mm. Estación meteorológica 74-20 (AIDO). Años (*) implican series incompletas.	81
Figura 23. Curvas IDF. Estación 74-20 (AIDO) actualizadas a 2017.....	83
Figura 24. Curvas IDF. Estación 74-20 (AIDO) actualizadas a 1990.....	85
Figura 25. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007.	86
Figura 26.Frecuencia anual de ciclones tropicales y huracanes mayores en 1986–2005, 2016–2035 y 2081–2100 (simulaciones de HiFLOR).	90

Figura 27. Porcentaje de ciclones tropicales que alcanzan a convertirse en huracanes intensos, según las simulaciones de HiFLOR.....	92
Figura 28. Análisis de tendencia de la precipitación ASO, proyecciones según el Ensamble AR5 para los períodos 2020, 2050, 2080.....	94
Figura 29. Proyección de precipitación según RCP 8.5 para ASO.....	94
Figura 30. Cambio en la temperatura media global en superficie de 2006 a 2100 determinados por simulaciones multimodelos.....	95
Figura 31. Tendencia de indicadores climáticos extremos -Derecha R50mm (días) – Izquierda R90p (mm).....	96
Figura 32. Distribución espacial de la magnitud (m/seg) y dirección del viento en el Caribe y Pacífico Tropical del Este según climatología mensual elaborada de los registros de NCEP-NOAA.....	98
Figura 33. Ubicación de la corriente a chorro subtropical durante años El Niño y años La Niña.....	100
Figura 34. Porcentaje de modelos climáticos globales que muestran un aumento en los valores de la velocidad media anual del viento en 2050.....	102
Figura 35. Mapa de calor posible para umbrales de riesgo definidos.....	109
Figura 36. Vista general del plano con curvas de nivel a cada 0.50 m para la zona donde se ubica el puente.....	111
Figura 37. Perfil de la sección bajo el puente. Comparación para el nivel de terreno en 1974 (flecha azul) y 2018 (flecha verde).....	112
Figura 38. Procedimiento de análisis para matrices de riesgo.....	114
Figura 39. Comparación de riesgos identificados según climas futuro y actual....	115
Figura 40. Identificación de riesgos para lluvia de inundación según clima actual.....	116
Figura 41. Porcentaje de riesgos altos por criterio de desempeño para lluvia de inundación según clima actual.....	116
Figura 42. Identificación de riesgos para lluvia de inundación según clima futuro.....	117
Figura 43. Porcentaje de riesgos altos y extremos por criterio de desempeño para lluvia de inundación según clima futuro.....	117
Figura 44. Identificación de riesgos para ráfagas de viento según clima actual..	118
Figura 45. Identificación de riesgos para ráfagas de viento según clima futuro...	119



Índice de fotografías

Fotografía 1. Acceso con señalización y.....	23
Fotografía 2. Estructura del puente en uso.....	23
Fotografía 3. Vista panorámica del puente.....	24
Fotografía 4. Afectación del puente con el caudal tocando la estructura.....	25
Fotografía 5. Grupo de verificación en sitio sobre la margen derecha del río.....	27
Fotografía 6. Vista lateral de puentes desde la margen derecha.....	27
Fotografía 7. Vista panorámica de río Tempisque hacia aguas arriba desde el puente "viejo".....	28
Fotografía 8. Tuberías de servicios públicos que utilizan el puente como soporte..	35
Fotografía 9. Bastiones cimentados sobre roca en la margen izquierda.....	35
Fotografía 10. Desechos orgánicos sobre elementos inferiores del puente.....	36
Fotografía 11. Labores de limpieza y mantenimiento en ejecución.....	36



Anexos

Anexo N°1 "Selección de la obra de infraestructura por ser analizada y perspectivas para 2018".

Anexo No.2 "Memorando de entendimiento entre Proyecto CSI y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) para la aplicación del Protocolo PIEVC".

Anexo N°3 Informe Taller N°1 – 9 de abril de 2018.

Anexo N°4 "Informe Puente Tempisque Nuevo, Inventario e inspección visual de daños" – 18 de marzo de 2014.

Anexo N°5 Informe CFIA N°I-075-2018-DGP, "Inspección puente sobre río Tempisque carretera nacional N°21".

Anexo N°6 Informe Taller N°2 – 24 y 25 de abril de 2018.

Anexo N°7 Formulario de verificación para puente sobre el río Tempisque, Ruta Nacional N° 21, sección de control 50082.

Anexo N°8 Informe sobre intervenciones realizadas al Puente sobre el Río Tempisque en la ruta nacional 21.

Anexo N°9 Decreto 24084-C con declaración de interés histórico arquitectónico al antiguo Puente de Guardia.

Anexo N°10 Caracterización de la Cuenca Alta del Río Tempisque y Análisis de Datos Hidrológicos.

Anexo N°11 Evidencia documental de eventos extremos que han generado aumento en el nivel del río a la altura del puente sobre el río Tempisque en la localidad de Guardia, Liberia.

Anexo N°12 Decreto 34045-MP con declaración de estado de emergencia nacional por la situación provocada por condiciones de temporal y paso de una onda tropical.

Anexo N°13 Escala de Beaufort.





Capítulo 1

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático cada vez más presenta mayor relevancia en las discusiones a nivel mundial. La presencia de eventos climáticos más intensos y más frecuentes, representan un riesgo latente para la infraestructura pública, y por ende, se ven afectados los servicios que se brindan a la sociedad.

En Costa Rica, la Contraloría General de la República (CGR) señaló que entre 1988 y 2010, los costos de reparación y reconstrucción de la infraestructura afectada por eventos hidrometeorológicos extremos varió entre un 0,3% y 1,7% del Producto Interno Bruto (PIB) por año, con un crecimiento que tiende a ser exponencial en obras como carreteras, puentes y acueductos, entre otras. Así, el órgano contralor enmarca la necesidad de que los gestores públicos tomen en cuenta los efectos del cambio climático, y se reduzcan oportunamente los riesgos asociados a estas tendencias en la infraestructura, para lo cual es necesario realizar gestiones y así lograr una mayor resiliencia al mejorar los procesos de diseño.

Es por ello que el proyecto global “*Mejoramiento de los servicios climáticos para inversión en infraestructura*” (CSI, por sus siglas en inglés), el cual forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI, por sus siglas en alemán), llegó en un momento oportuno para contribuir con la necesidad que tiene Costa Rica en cuanto a los requerimientos de potenciamiento y fortalecimiento de los servicios climáticos, así como en la creación de capacidades en instituciones relacionadas con la proveeduría de este tipo de servicios para los procesos requeridos en el blindaje climático de la infraestructura pública del país.

Por otro lado, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), puso a disposición del equipo la experiencia que posee en la aplicación del protocolo desarrollado por el Comité de Vulnerabilidad en Ingeniería de Infraestructura Pública (PIEVC por sus siglas en inglés) de Ingenieros Canadá (EC por sus siglas en inglés), ejerciendo así un papel de liderazgo en la aplicación de la metodología. Esta herramienta permite analizar la vulnerabilidad de infraestructura ante los efectos del cambio climático, basándose en datos de eventos históricos y con la posibilidad de utilizar información climática disponible sobre proyecciones futuras.

Debido a la experiencia del grupo de trabajo en la aplicación del PIEVC, bajo un extenso proceso de priorización de criterios, se determinó la necesidad de aplicar el protocolo en la estructura del puente sobre el río Tempisque, ubicado sobre la Ruta 21, específicamente en la localidad de Guardia, Liberia.

A continuación, se presentan algunos aspectos de cómo surge el proyecto, cuál es el alcance, la definición del equipo de trabajo, la metodología utilizada y otros detalles de importancia.

1.1 Antecedentes

La IKI del Ministerio Federal del Medio Ambiente, Preservación de la Naturaleza, y la Seguridad Nuclear (BMU por sus siglas en alemán) de la República Federal de Alemania, coopera con Brasil, Costa Rica, Vietnam y los países de la iniciativa de la cuenca del río Nilo, en sus esfuerzos para mejorar la resiliencia de su infraestructura a través del proyecto CSI. La Sociedad para la Cooperación Internacional Alemana (GIZ por sus siglas en alemán) se encarga de la implementación del Proyecto CSI a partir de febrero 2017.

Dentro de los objetivos estratégicos establecidos para este proyecto, está que los tomadores de decisión usen cada vez más los Servicios Climáticos (CS por sus siglas en inglés) en la planificación de las inversiones para infraestructura.

En términos generales, el proyecto CSI se enfoca en cuatro áreas de trabajo (WP – Working Packages):

WP1: Uso mejorado de los Servicios Climáticos (CS).

WP2: Integración del uso de CS en los procesos de planificación.

WP3: Evaluación del riesgo climático de la infraestructura.

WP4: Intercambio internacional de experiencias y gestión de conocimientos.

En el marco del WP1, mediante cooperación con el Servicio Meteorológico Alemán (DWD) el Proyecto CSI asesora técnicamente a su contraparte nacional, en este caso el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en el mejoramiento y desarrollo de las capacidades técnicas e institucionales para mejorar la cadena de valor de los servicios climáticos que brinda.

El paquete de trabajo WP2 se enfocó en la institucionalización a nivel técnico y regulatorio de los instrumentos de análisis de vulnerabilidad de la infraestructura.

El paquete WP3 promovió la utilización de la información climática para la planificación y el análisis de la vulnerabilidad de la infraestructura, mediante la utilización de servicios climáticos en la valoración del riesgo para inversiones en infraestructura.

Como parte del WP3 se aplicó el protocolo PIEVC en el puente sobre el río Tempisque en la Ruta 21, con el fin de definir recomendaciones concretas y de ingeniería para favorecer su adaptación a través de una intervención mediante rehabilitación u bien como obra nueva, manteniendo el objetivo de darle continuidad al servicio que presta la infraestructura.

Dentro de los socios de ejecución del Proyecto CSI está el CFIA, el IMN en su calidad de principal proveedor oficial de servicios climáticos en el país, y como contraparte principal del Proyecto CSI está la Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente

y Energía (MINAE), en su carácter de entidad rectora en el ámbito del Cambio Climático (CC) y concretamente en el ámbito de la adaptación.

Es importante recalcar que la intención del Proyecto CSI es incentivar un mayor y mejor uso de los servicios climáticos en el país, lo cual responde a la necesidad de mejorar la resiliencia en un ambiente donde la infraestructura se ve cada vez más amenazada por eventos hidrometeorológicos extremos. Esta aspiración también se ampara en las políticas y planes de adaptación ante el cambio climático que impulsa el gobierno de Costa Rica.

1.2 Selección de la infraestructura por analizar

La selección de la infraestructura para aplicar el Protocolo PIEVC se realizó mediante un taller de consulta con diferentes instituciones estatales y de la sociedad civil. Como primer paso para definir el tipo de infraestructura por considerar, se realizó un análisis multicriterio, cuyo resultado fue escoger la infraestructura de puentes. (Anexo N°1 "Selección de la obra de infraestructura por ser analizada y perspectivas para 2018").

Para la selección del caso de estudio, mediante una encuesta semiestructurada, se solicitó a un grupo de expertos en diseño y construcción de este tipo de infraestructura presentar una propuesta de un puente específico. A partir del análisis de la información recopilada, se elaboró un listado con 11 propuestas de puentes.

Posteriormente a la realización de la encuesta, el equipo de trabajo le asignó una puntuación específica a cada puente propuesto. Se utilizó una matriz de criterios conformada por tres ámbitos de análisis: disponibilidad de la información climatológica (grupo 1); características constructivas (grupo 2) y por último criterios de calificación del valor estratégico de la obra en términos socioeconómicos, políticos y geográficos (grupo 3).

La asignación de pesos a los diferentes grupos de criterios y la calificación de cada uno tuvo el objetivo de priorizar el puente seleccionado, para que fuera concordante con los objetivos del proyecto, de forma que permitiera replicar el proceso en el país.

Como resultado de este proceso, fue seleccionado con el mayor puntaje el puente sobre el río Tempisque en la Ruta 21, entre los poblados de Guardia y Comunidad, en Liberia, Guanacaste.

1.3 Memorando de entendimiento

Una vez seleccionado el caso de estudio, por su rol como propietarios de la infraestructura y beneficiarios del proyecto CSI, se incorporaron al grupo de instituciones el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

Las autoridades de las instituciones suscribieron un Memorando de Entendimiento, en el cual se describen sus funciones y competencias en este análisis.

Ver Anexo No.2 “Memorando de entendimiento entre Proyecto CSI y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) para la aplicación del Protocolo PIEVC” para mayores detalles.

1.4 Detalles del estudio

1.4.1 Marco conceptual

Dos de los aspectos más relevantes en cuanto al desarrollo del estudio fueron la participación interinstitucional en el proyecto y la metodología utilizada con el protocolo PIEVC.

Debe destacarse la necesidad de un equipo multidisciplinario para el desarrollo del proyecto CSI y el cumplimiento de los objetivos del presente estudio. Las contrapartes internacionales con aporte en diferentes niveles fueron parte fundamental de la iniciativa.

En la Figura N°1 se detalla la alianza de cooperación interinstitucional que operativiza el análisis de riesgos sobre el puente. Al lado derecho se identifican las entidades internacionales y al lado izquierdo las instituciones costarricenses, y el nivel de afinidad entre cada una queda definido por la ubicación de cada ente en la figura.

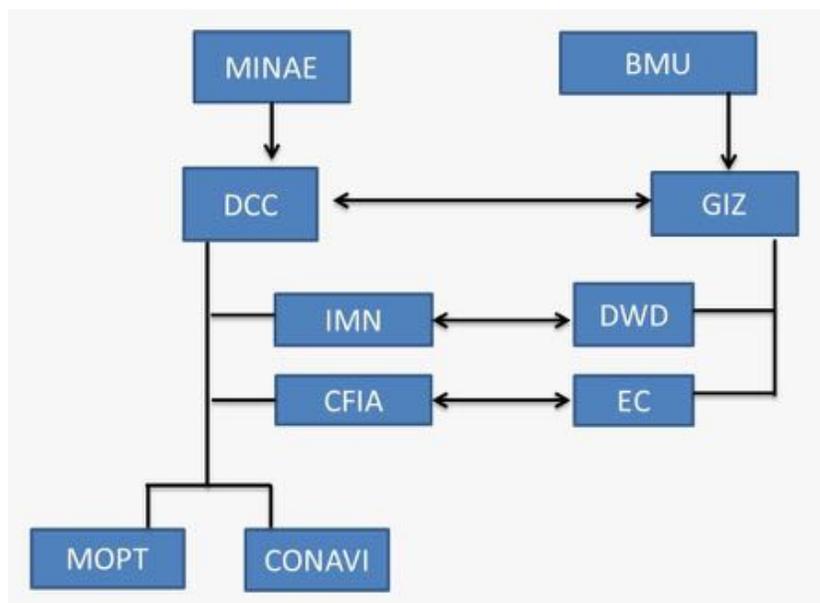


Figura 1. Participación interinstitucional para desarrollo del análisis de riesgo.
Fuente: DCC-MINAE, 2019

En la Figura N°2 se muestra el flujo de proceso, paso a paso, que se desarrolla por medio del protocolo PIEVC.



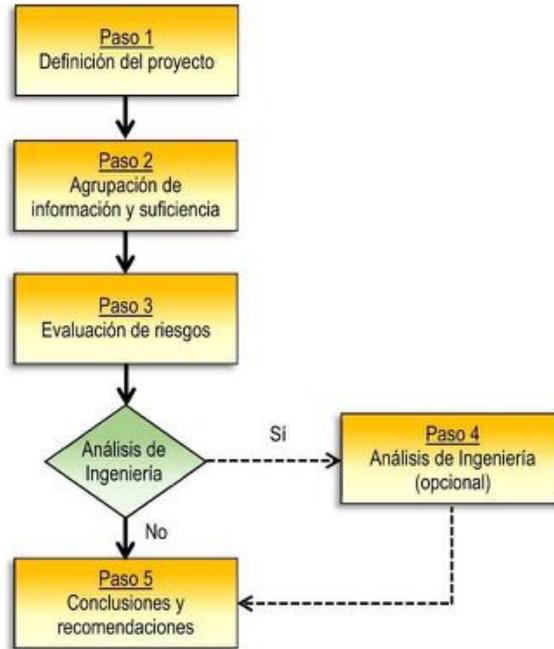


Figura 2. Procedimiento por pasos según el protocolo PIEVC.
Fuente: Protocolo PIEVC

1.4.2 Objetivos

1.4.2.1 Objetivo general.

Analizar el riesgo futuro del puente sobre el río Tempisque en ruta 21 ante eventos hidrometeorológicos utilizando el protocolo PIEVC.

1.4.2.2 Objetivos específicos.

- a. Determinar la condición de servicio actual del puente debido a eventos hidrometeorológicos.
- b. Establecer una línea base de información climática histórica y futura para analizar el riesgo del puente y su entorno inmediato por eventos hidrometeorológicos.
- c. Efectuar un análisis de riesgo comparando el escenario bajo el clima actual (datos históricos) con un escenario contemplando el clima futuro (proyecciones de cambio climático).
- d. Aportar elementos que contribuyan a la toma de decisiones basadas en criterios técnicos para futuras intervenciones de operación y mantenimiento para el puente.
- e. Fomentar el conocimiento e incentivar la creación y el aumento de capacidades técnicas en profesionales relacionados con la toma de decisiones para el desarrollo de infraestructura de puentes.

1.4.3 Alcances

Mediante la aplicación del Protocolo PIEVC, específicamente para el puente sobre el río Tempisque, las instituciones de CONAVI y MOPT podrán contar con recursos que podrían utilizar para alimentar el proceso toma de decisiones. Dentro de las actividades desarrolladas de acuerdo con el alcance del proyecto se encuentran las siguientes:

- a. Identificar los eventos climáticos históricos que han provocado afectación al servicio o a la estructura del puente con base en la información disponible.
- b. Identificar los componentes estructurales que han sido afectados y los que podrían verse afectados en el futuro, por eventos hidrometeorológicos.
- c. Definir una escala de afectación con rangos de valor, de tal forma que se pueda apoyar el proceso de toma de decisiones y permita priorizar la posible intervención de los elementos de la infraestructura que podrían verse afectados.
- d. Delimitar un escenario futuro de clima que permita valorar la incidencia del cambio climático sobre las condiciones de servicio y sobre el desempeño estructural del puente en estudio.
- e. Desarrollar capacidades técnicas en el personal que participa del proceso, de forma que estén preparados para implementar el procedimiento dentro de las instituciones y forme parte del criterio técnico para la toma de decisiones.

1.4.4 Aplicación del protocolo

El PIEVC consiste en un proceso sistemático mediante el cual se revisa la información climática histórica para determinar su naturaleza y proyectarla mediante la creación de escenarios futuros. De esta manera, se determina tanto la probabilidad de ocurrencia de esos eventos climáticos en el futuro como la severidad de los impactos de dichos eventos sobre la infraestructura analizada.

Mediante este proceso, el equipo de trabajo construyó paso a paso una valoración de riesgos -con un análisis de ingeniería de carácter opcional- con la cual se creó un documento con información que las instituciones podrían utilizar para apoyar y propiciar la toma de decisiones informada y basada en criterios técnicos sobre la adaptación de la infraestructura, ya sea en procesos de planificación, diseño, operación y mantenimiento.

Para el caso específico de CSI, este protocolo permitió identificar las interacciones más relevantes entre el clima, el puente y su entorno inmediato, con el fin de identificar el riesgo al que están expuestos los componentes de la infraestructura. La metodología se desarrolló con la aplicación de cinco pasos que se explican posteriormente.

Con esta aplicación, el proyecto CSI pretende fomentar el conocimiento e incentivar la creación y el aumento de capacidades técnicas en profesionales relacionados con la toma de decisiones para el desarrollo de infraestructura pública.



El desarrollo del proyecto utilizó el protocolo PIEVC como guía. El protocolo incentiva la ejecución de pasos consecutivos y ordenados de forma tal que el enfoque del estudio considere la infraestructura en sí misma, pero, a su vez, permita visualizar la incidencia del entorno inmediato y la repercusión de la zona donde se ubica el sistema en estudio.

Para el análisis de probabilidad de los eventos hidrometeorológicos, se recopiló información climática de la zona de estudio. Los datos meteorológicos se obtuvieron de estaciones del IMN, tanto las que se encuentran actualmente en operación como las que se mantuvieron activas durante el período de análisis de datos históricos definidos. Se complementó con referencias de personas y funcionarios relacionados con el puente y con la zona de incidencia.

Adicionalmente, se contó con datos de una estación hidrológica localizada bajo el puente en estudio, administrada inicialmente por el ICE y actualmente por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Se utilizó la información disponible para tratar de establecer la relación entre las alturas registradas en la estación, los caudales asociados y la precipitación que los provoca.

Los períodos de estudio de proyección a futuro se establecieron en 25 y 75 años dada la posibilidad de escoger entre la rehabilitación del puente actual (permite al menos un aumento de la vida útil en 25 años) o la sustitución mediante la construcción de un puente nuevo con al menos una vida útil de 75 años.

Para este caso, la información de clima actual se basó en un período de 30 años de registros, mientras que las proyecciones futuras se realizaron para el año 2075, lo cual se ajusta a los análisis de riesgo con escenario actual y futuro que el PIEVC ayuda a desarrollar.

Un resumen de la metodología que se sigue en este documento se presenta a continuación.

1.4.5 Resumen metodológico.

Tal como se describe en las secciones anteriores, la aplicación del PIEVC se desarrolló en un procedimiento de cinco pasos que implica la ejecución de una serie de tareas por parte del equipo de trabajo para poder construir el análisis de riesgo.

Desde el punto de vista metodológico, el siguiente listado menciona algunas de las principales tareas necesarias como parte de la evaluación de los riesgos.

- a. Desagregar los diferentes componentes del puente para un análisis detallado de la influencia de eventos climáticos relevantes sobre ellos.
- b. Identificar los eventos climáticos que han afectado y que podrían afectar los elementos de la estructura del puente y de su entorno inmediato.
- c. Recopilar y analizar información pertinente sobre los parámetros climáticos que afectan la zona geográfica de influencia del puente en estudio.

- d. Recopilar información sobre incidentes operativos debido a los efectos de eventos climáticos específicos, que permitan identificar componentes de la estructura vulnerables y que son relevantes para la operación de todo el sistema
- e. Establecer los umbrales de tolerancia a la afectación por eventos climáticos para el puente según la experiencia hasta la fecha.
- f. Definir una escala para la severidad del impacto de los parámetros climáticos establecidos sobre la estructura para los ámbitos estructural, operacional y funcional del puente.
- g. Establecer la interacción entre los elementos de la estructura y los eventos climáticos extremos identificados, así como las tendencias climáticas a futuro
- h. Realizar la valoración de riesgo considerando la probabilidad de ocurrencia de los eventos climáticos y la severidad de sus impactos en la estructura y su entorno.
- i. Realizar una valoración de vulnerabilidad para la estructura y su entorno según los supuestos y la información recopilada y analizada durante el proceso.
- j. Establecer recomendaciones en los ámbitos de ingeniería, actividades de monitoreo y/o actividades administrativas de operación y mantenimiento.
- k. Preparar una declaración de vulnerabilidad o resiliencia para la estructura y su entorno.





Capítulo 2

Aplicación del Protocolo PIEVC en el puente sobre el río Tempisque

2 APLICACIÓN DEL PROTOCOLO PIEVC

2.1 Línea de tiempo y desarrollo del estudio

La implementación del protocolo se realizó mediante la ejecución de talleres y sesiones del grupo de trabajo.

En la Figura N°3 se observa la línea de tiempo con la que se desarrolló el proyecto de análisis.

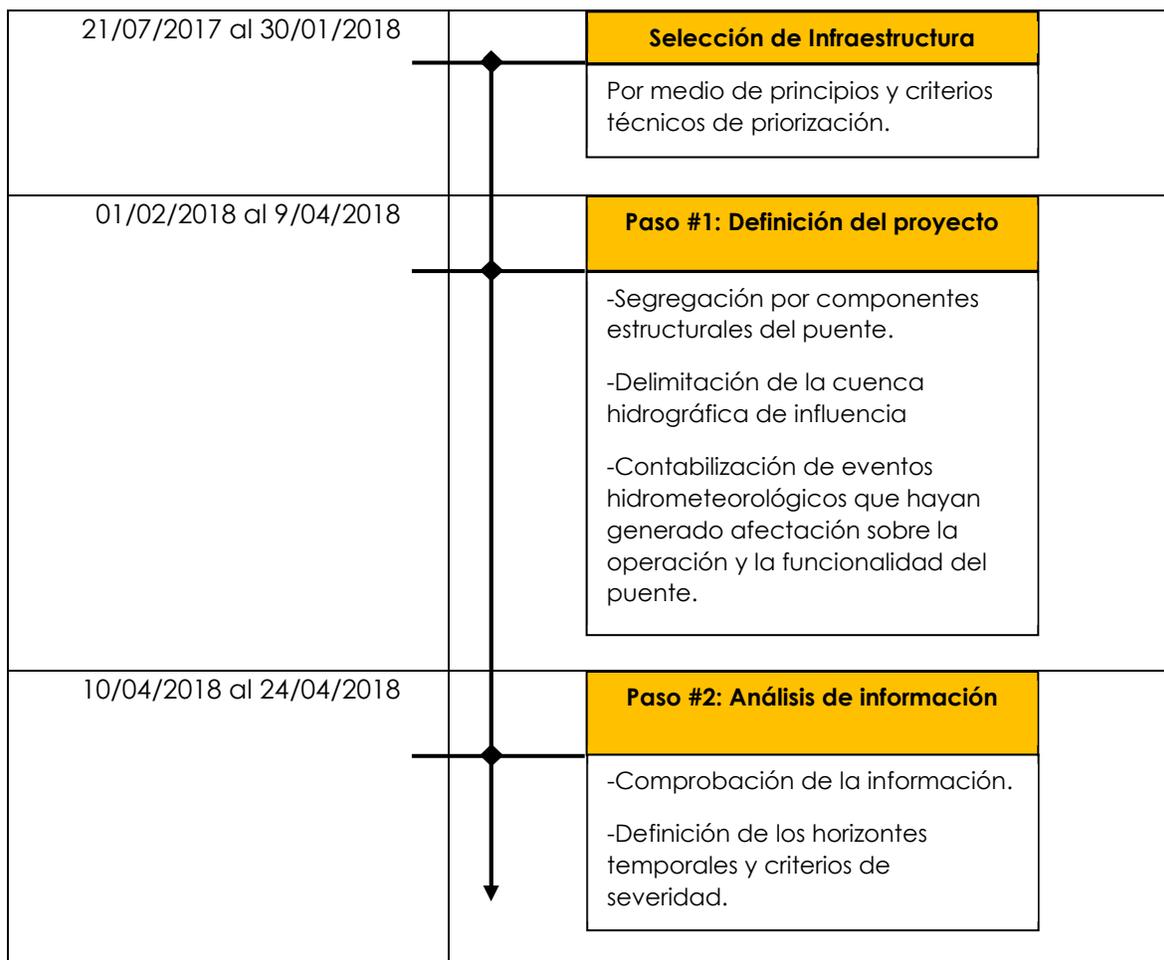


Figura 3. Línea de tiempo de aplicación del Protocolo PIEVC en el puente sobre el río Tempisque.

Fuente: Elaboración propia

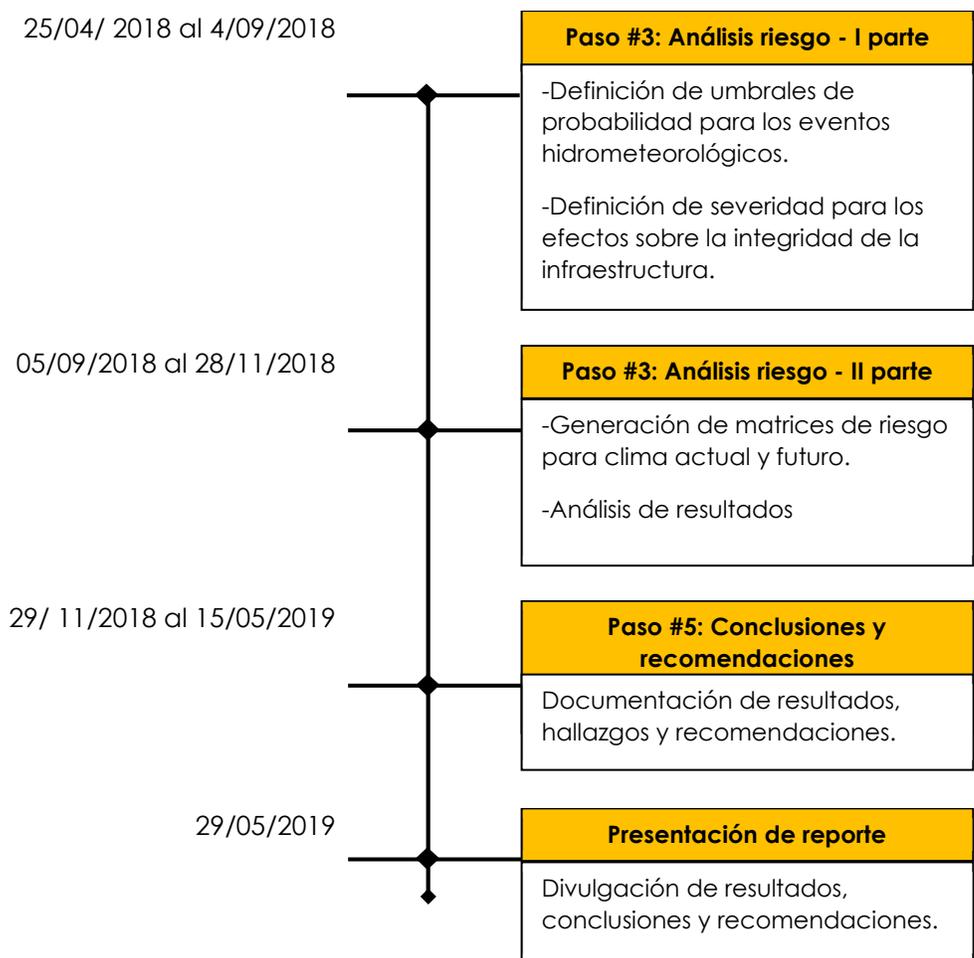


Figura 3. Línea de tiempo de aplicación del Protocolo PIEVC en el puente sobre el río Tempisque.
 Fuente: Elaboración propia

2.2 Paso 1: Definición del proyecto

Se definieron de manera general los siguientes elementos:

- La infraestructura que se evaluará
- La ubicación
- Las consideraciones climáticas
- Las consideraciones geográficas
- Los usos de la infraestructura

En este primer paso del protocolo, el grupo de trabajo involucró a expertos de instituciones tales como: IMN, CONAVI, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), CFIA, MOPT, Municipalidad de San José y GIZ. Ver Anexo N°3 Informe Taller N°1 – 9 de abril de 2018.

2.2.1 Información relevante para el proyecto

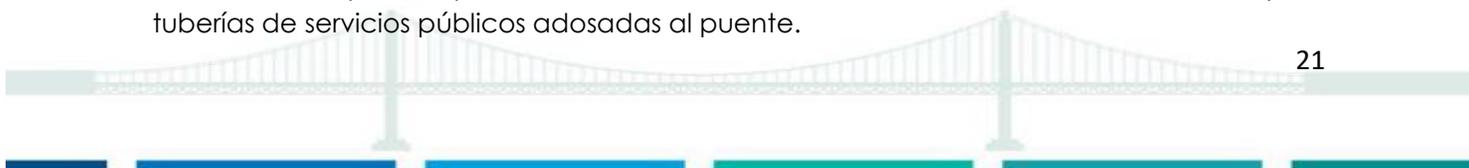
El desarrollo del primer taller del Paso 1 generalmente tiene como resultado no sólo la detección de informantes clave para el estudio, sino también el establecimiento de los mecanismos adecuados para la obtención de información. En el caso del estudio del puente, dentro de los resultados del Taller 1 el ITCR puso a disposición la herramienta conocida como Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) perteneciente al CONAVI. Dentro de este sistema se encuentra información básica del puente en análisis, que forma parte del inventario que se levantó en el 2014 a nivel país (Anexo N°4 Informe Puente Tempisque Nuevo, Inventario e inspección visual de daños – 18 de marzo de 2014).

De la información consignada en el SAEP destacan los siguientes aspectos (se transcriben textualmente):

- *“El señalamiento horizontal se observa desgastado, no es posible distinguir claramente las líneas de división de carriles”.*
- *“Existe exceso de agrietamiento en gran parte de la losa, en algunos sitios hay grietas en dos direcciones, ...”*
- *“Además se observa una gran cantidad de reparaciones, mismas que fueron confirmadas por el Ing. Gustavo Rodríguez, encargado de la ruta 21 por parte del CONAVI, ...”*
- *“... Las juntas de expansión se encuentran totalmente obstruidas (incluyendo la junta móvil), por lo que se observa un agrietamiento transversal ...”*
- *“Los elementos que conforman la cercha se encuentran en buen estado.”*
- *“Para el caso de los elementos que funcionan de arriostre lateral presentan deformaciones importantes ya que han sido impactados por camiones de gran altura ...”.*
- *“Ambos bastiones se encuentran en buenas condiciones pues se observa que su superficie está en buen estado, sin embargo, el bastión de margen izquierda, en el sector aguas abajo, se mantiene húmedo por una fuga de agua que escurre (sic) directamente de una tubería de agua potable que cruza por ahí, ...”*

Según la Dirección de Puentes del MOPT, el diseño original se realizó en 1975. La estructura se construyó entre 1986 y 1990. La institución posee los planos originales de la obra, y los archivos de estos planos digitalizados fueron aportados por el Lanamme UCR (ver Figura 4).

En un informe de inspección ocular realizada en marzo de 2018 por el área de inspección del CFIA, se confirmaron algunos de los datos consignados en el SAEP (Ver Anexo N°5 Informe CFIA N°I-075-2018-DGP, “Inspección puente sobre río Tempisque carretera nacional N°21”). Dentro de las conclusiones más relevantes para el estudio destacan los daños en la armadura del puente por colisión de vehículos, las fisuras en la losa de concreto y las tuberías de servicios públicos adosadas al puente.



La existencia de informes sobre intervenciones realizadas al puente que pudieran afectar la estructura, ya sea por acontecimientos climáticos u otras causas, estuvo a cargo de CONAVI, quien a su vez se encargó de coordinar la logística correspondiente para realizar una visita al sitio.

En el caso del ITCR y del Lanamme UCR, su conocimiento en el campo y la orientación hacia el sector académico les permitió aportar una guía de inspección para el día de la visita de campo.

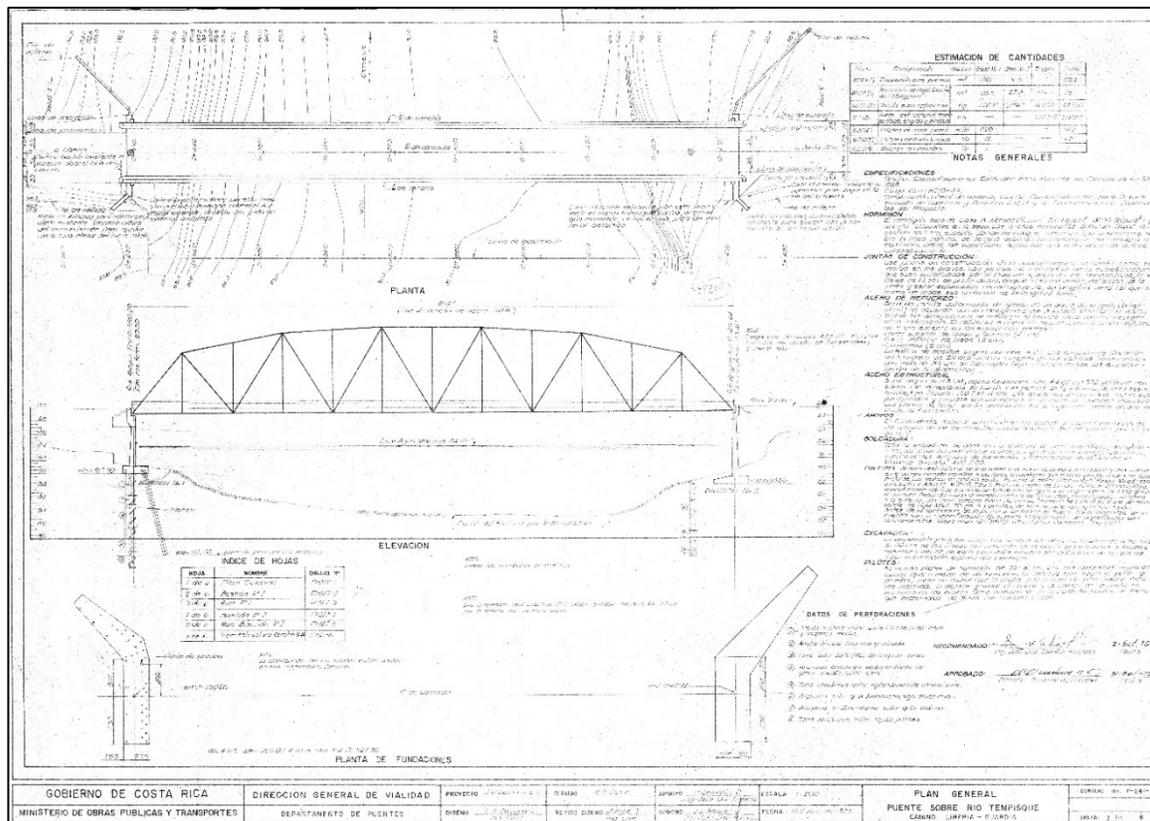


Figura 4. Lámina 1 de 6 para la estructura del puente.
Fuente: MOPT- LANAMME UCR

2.2.2 Componentes de la infraestructura

De acuerdo con la información existente en el inventario SAEP, la caracterización del puente es la siguiente:

“Tipo cercha de acero de paso inferior con una longitud de 92,15 m y un ancho de calzada de 7,25 m. Las cerchas están conformadas por vigas de acero tipo W. El sistema de piso se encuentra conformado por 5 vigas de acero sobre las cuales se apoya la losa de aproximadamente 15 cm de espesor...” (Pereira, 2014, p.5).

Para la segunda sesión de discusión, en el Taller N°2 realizado en Liberia los días 24 y 25 de abril de 2018, se realizó una visita de campo al puente en la cual el equipo de trabajo definió los componentes de la infraestructura del puente para realizar la aplicación del PIEVC. (Ver Anexo N°6 Informe Taller N°2 – 24 y 25 de abril de 2018).

En la Fotografía N°1 se muestra la calzada de acceso en la margen del río y algunos de los accesorios existentes (barandas y señalización vertical).



Fotografía 1. Acceso con señalización y accesorios.

Fuente: Elaboración propia

En la Fotografía N°2 se aprecian algunos de los principales elementos que componen el puente.



Fotografía 2. Estructura del puente en uso.

Fuente: Elaboración propia

Para la agrupación de los elementos de la infraestructura en la matriz de riesgo, se consideraron cinco secciones principales, a manera de categorías: accesos, accesorios, subestructura, superestructura y otros componentes. En la Tabla N°1 se muestra el detalle los elementos para cada sección.



Tabla 1. Detalle de elementos según cada sección del puente

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 arriostramiento. 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

Fuente: Elaboración propia

La Fotografía N°3 muestra una vista panorámica del puente en estudio.



Fotografía 3. Vista panorámica del puente.
Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Parámetros climáticos

Uno de los principales insumos para el análisis es precisamente la información climática. Para ello, es necesario definir cuáles son los parámetros climáticos que serán tomados en cuenta para el estudio.

De manera preliminar, el equipo de trabajo discutió cuáles podrían ser los parámetros climáticos por considerar. Para su determinación, se tomaron en cuenta no solamente posibles informes con registros de eventos por parte de los dueños de la infraestructura, sino también el conocimiento local de personal de las instituciones radicados en la zona de estudio o inclusive testimonios de pobladores de la zona. De esta forma, se hizo una primera aproximación mediante investigación de noticias y registros de eventos climáticos extremos que hayan causado problemas a la infraestructura, y por ende a la sociedad. Así, se consideraron preliminarmente lluvia, temperatura, viento, descargas eléctricas, caudales de sobrecarga, huracanes y tormentas tropicales. El análisis de los parámetros, finalmente seleccionados, se presenta en el capítulo 3 de este estudio.

Como parte de la revisión histórica de la información climática investigada, se identificó un evento en octubre de 2007, sobre el cual se tiene conocimiento de que el agua bajo el puente tocó la base de las vigas de la infraestructura (ver Fotografía N°4). Este tipo de eventos extremos es un ejemplo de la importancia de su adecuado registro para la definición de los umbrales de los parámetros climáticos a utilizar en el análisis de riesgo, siendo necesario verificar si existieron eventos similares o más severos que hayan provocado problemas en la infraestructura.



Fotografía 4. Afectación del puente con el caudal tocando la estructura.

Fuente: La Nación, 16 de octubre de 2007.

2.2.4 Horizonte temporal

Para la definición del marco temporal por analizar, se tomaron como referencia las dos posibles opciones para la intervención que se estaría realizando a la infraestructura, según las instituciones dueñas de la infraestructura: rehabilitar el puente existente, o bien, construir una infraestructura nueva.

De acuerdo con los criterios de los profesionales del MOPT y del CONAVI, se consideró una vida útil para el puente actual de 40 años, por lo que se estimó que la vida útil remanente es cercana a los 10 años. A través del proyecto de rehabilitación, se pretende aumentar la vida útil para la estructura a 25 años.

Por su parte, en el caso de construir un puente nuevo, la vida útil sería de 75 años.

Según la normativa de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (ASSHTO por sus siglas en inglés), se debería utilizar un período de retorno para el estudio hidrológico de 100 años y para socavación de 200 años.

2.2.5 Consideraciones geográficas

Se consideraron al menos cinco aspectos para iniciar la recopilación de información: tomas de agua privadas para canales de riego, influencia de la microcuenca con el afluente del río Tempisquito, caracterización de la cuenca, sección del cauce del río, y tipo y uso de suelo en términos de cobertura.

2.2.6 Consideraciones jurisdiccionales

Se destacan tres áreas de responsabilidad a considerar:

- a. Del CONAVI, como propietario de la infraestructura, bajo la asesoría del MOPT.
- b. De la Municipalidad de Liberia, en cuanto al manejo de la cuenca y el uso del suelo hacia aguas arriba del puente.
- c. De las instituciones que utilizan el puente para anclar sus tuberías y pasar con sus servicios de una margen del río a la otra, como por ejemplo la tubería de agua potable adosada al puente.



2.2.7 Visita al sitio

El 24 de abril de 2018 se realizó una visita guiada al sitio por parte del equipo de trabajo. Con el objetivo de recopilar información relevante sobre la infraestructura y obtener diferentes criterios, se dividió el equipo en tres grupos. Las Fotografías N°5 a N°7 muestran imágenes de la visita realizada.

Para recopilar la información, se utilizó un formulario (Ver Anexo N°6 Formulario de verificación para puente sobre el río Tempisque, Ruta Nacional N° 21, sección de control 50082.) preparado por los funcionarios del ITCR (Giannina Ortiz) y CONAVI (Gustavo Alvarado).



Fotografía 5. Grupo de verificación en sitio sobre la margen derecha del río.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 6. Vista lateral de puentes desde la margen derecha.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 7. Vista panorámica de río Tempisque hacia aguas arriba desde el puente "viejo".

Fuente: Elaboración propia

Las observaciones de los equipos de verificación se resumen en la Tabla N°2.



Tabla 2. Tabulación de anotaciones según los equipos de observación.

Generales	Dimensiones	Datos de Inventario				Datos del cauce	
		Elementos principales					
		Accesos	Accesorios	Superestructura	Subestructura	Otros	
<p>a. Zona agrícola.</p> <p>b. Zona con tránsito de equipo y maquinaria para tajos con altura considerable que han dañado la estructura.</p> <p>c. No hay traspaso de información en sucursal de CONAVI cuando cambia la jefatura.</p>	<p>a. Ancho del cauce con dos medidas: puente viejo con 86.5 m, puente nuevo con 91.4 m.</p> <p>b. Altura libre desde el espejo de agua hasta la base de la viga inferior de la superestructura es de 14.3 m.</p>	<p>a. Calzadas en buen estado con superficie de rodamiento en asfalto.</p> <p>b. Rellenos de aproximación con barandas tipo New Jersey a ambos lados.</p> <p>c. Cunetas y alcantarillas con falta de mantenimiento y obstrucción, no existen en todas las orillas de calle.</p> <p>d. Relleno de aproximación sin protección, funciona como dique cuando hay inundación.</p>	<p>a. Superficie de rodamiento en puente con pavimento de 5 cm a 7 cm de espesor sobre losa de concreto para mantener servicio.</p> <p>b. Baranda de acero con deformaciones por impacto cerca del bastión de margen derecha.</p> <p>c. Barandas con inicios de corrosión, decoloración de pintura y descascaramiento.</p> <p>d. Juntas de expansión obstruidas y cubiertas por carpeta asfáltica.</p>	<p>a. Losa de soporte fracturada, con acero de refuerzo expuesto en algunos tramos y con huecos.</p> <p>b. Cerchas principales con oxidación, desprendimiento de pintura y golpes por impacto.</p> <p>c. Sistema de arriostres con deformación y deflexiones visibles.</p> <p>d. Vigas transversales requieren mantenimiento, tienen corrosión y requieren pintura.</p>	<p>a. Flujo de agua en margen izquierda por fuga en tubería de agua potable.</p> <p>b. Apoyos húmedos con problemas de corrosión, descascaramiento y acero de refuerzo expuesto.</p> <p>c. Bastiones con desprendimiento bajo apoyos y acero de refuerzo expuesto.</p> <p>d. Fundaciones sobre lecho rocoso sin protección.</p>	<p>a. Tuberías de 50 mm y 150 mm de diámetro adosadas a la superestructura del puente, al menos una es de agua potable.</p> <p>b. Estructura de soporte y tuberías en voladizo localizadas aguas abajo del puente, se convierten en carga permanente para la estructura.</p>	<p>a. Margen derecha rocosa.</p> <p>b. Márgenes con vegetación, podría ayudar a disminuir la velocidad del flujo.</p> <p>c. Presencia de basura por época de zafra.</p> <p>d. Se observa sedimentación en la margen izquierda del río, aguas arriba y en la margen derecha aguas abajo.</p> <p>e. Pendiente suave en sector del cauce bajo el puente.</p>



Tabla 2 (cont.) Tabulación de anotaciones según los equipos de observación.

Datos de Inventario						Datos del cauce	
Generales	Dimensiones	Elementos principales					
		Accesos	Accesorios	Superestructura	Subestructura		Otros
			<p>e. Drenajes sobre la superficie de rodamiento limpios. Requieren constante mantenimiento para evitar obstrucción por material de caña.</p> <p>f. Pasarela peatonal con grietas transversales a la dirección del flujo vehicular.</p>	<p>e. Estructura de acero requiere mantenimiento constante por residuos orgánicos de caña.</p>		<p>c. Puente anterior, dos escenarios para el puente en estudio, como protección ante impacto de troncos y como afectación si falla.</p>	<p>f. Los incrementos de flujo presentan una componente vertical.</p>
<p>Otras observaciones:</p> <p>a. Afectación potencial por escombros.</p> <p>b. Posible desplazamiento de elementos longitudinales en la estructura del puente, revisar alturas y comparar con el diseño original.</p> <p>c. Revisar fotografías aéreas para analizar los márgenes del río.</p> <p>d. Analizar cuidadosamente las dos condiciones: con y sin el puente viejo; tomar en cuenta la estabilización futura para un nuevo equilibrio.</p> <p>e. Existen drenajes para la losa, ¿se requieren de mayor longitud?</p> <p>f. Se considera que elevar la estructura no debería causar problemas en los rellenos de aproximación porque hay buen espacio y el agua de la carretera va en dirección opuesta al puente.</p>							

Fuente: Elaboración propia



2.3 Paso 2: Recopilación y análisis de los datos

Una vez definido el contorno del proyecto, se procedió con la recopilación de la información necesaria y su respectivo análisis, tareas que están inmersas en lo que se conoce como Paso 2. En esta etapa, se dio una definición más detallada de la infraestructura y de las tendencias climáticas particulares consideradas en la evaluación de riesgos. El detalle del análisis climático se presenta en el capítulo 3 de este estudio.

Para el ejercicio de recopilación de datos e información, la definición de roles y responsabilidades durante el Paso 1 es fundamental. Aquellas personas o instituciones que durante el primer paso manifestaron tener cierta información bajo su custodia, la colocaron a disposición del equipo para su revisión y análisis. Luego de ello, se determinaron, según el criterio profesional del equipo, si la información disponible es suficiente. Para determinar si los datos son insuficientes, se debió analizar si se presentaron los siguientes tres factores:

- Información existente de baja calidad,
- Altos niveles de incertidumbre o
- Inexistencia de datos o de información.

Es importante mencionar que, durante el desarrollo del ejercicio, a través de la evaluación se podrían establecer actividades para rellenar datos faltantes o para compensar los de baja calidad, según se considere necesario.

2.3.1 Escogencia de los componentes de la infraestructura.

La visita al sitio formó parte importante en la definición detallada de los componentes de la infraestructura a analizar, pues permitió ampliar y detallar el conocimiento que, a nivel general, se tenía de ella. La visita de campo se complementó con una reunión posterior del equipo, e inmediata a la visita, donde se llevó a cabo una valoración tanto de los elementos inicialmente citados en el Paso 1 como de aquellos que conforman la infraestructura.

Para el caso del puente, al analizar la suficiencia de los datos se encontró poca información documentada con relación a la operación y mantenimiento del puente. No se indicaron referencias al clima y las condiciones que pudieron provocar problemas durante eventos pasados. El procedimiento establecido por el MOPT y el CONAVI cuando se presenta un evento climático extremo que genera una condición de exposición tal que pudiera provocar algún daño al puente, implica una política de revisión por parte de las instituciones que consiste en realizar una inspección ocular del inmueble para descartar afectaciones o fallas de los componentes. En el caso del puente de Guardia, hasta el momento no se han reportado daños a la estructura por eventos climáticos extremos, razón por la cual no se han emitido informes al respecto.

Con respecto a las intervenciones por operación y mantenimiento, se contó con un informe sobre las reparaciones que se han realizado en la losa de rodamiento del puente. En el 2013 se hizo una sustitución parcial de la losa de concreto en la sección cercana a la margen derecha del río. Entre el 2014 y 2017, se realizaron trabajos parciales de bacheo con asfalto con una periodicidad anual. En todo el período son recurrentes la limpieza y los mantenimientos menores, según la vigencia de los contratos de conservación vial. (Ver Anexo N°7 "Informe sobre intervenciones realizadas al Puente sobre el Río Tempisque en la ruta nacional 21").

Debido a que el análisis de riesgo que se realizó es integral, en él se incorporaron algunos componentes que no son parte de la estructura, pero que podrían tener un efecto sobre el servicio que brinda en caso de sufrir alguna afectación. Este aspecto es importante, porque la generación de resiliencia no necesariamente está concentrada específicamente en la atención hacia la estructura que se analiza, sino también al entorno que la rodea. Para el caso del puente, estos elementos se analizarán bajo la subdivisión denominada "Otros componentes". Tal es el caso del viento y los árboles cercanos, en los cuales se han presentado eventos con ráfagas que han causado la caída de ramas y troncos sobre las vías de acceso, de tamaño suficiente para interrumpir el paso y afectar el servicio que brinda la infraestructura a las personas.

De esta manera, la infraestructura se analizó bajo la siguiente división y conceptos.

a. **Accesos:**

Son las vías terrestres que permiten entrar y salir del puente en los sentidos de circulación normal. Están compuestos por:

- **Rellenos de aproximación.**

Son los rellenos que se construyen para elevar la cota del perfil natural del terreno, a ambos lados del puente en estudio, con el fin de alcanzar el nivel de la rasante del puente.

- **Calzada de acceso.**

Calle de dos carriles sobre los rellenos de aproximación que permite el acceso al puente.

- **Drenajes de aproximación.**

Canales paralelos a los rellenos de aproximación que sirven para evacuar el agua de lluvia que escurre desde la carretera y las márgenes laterales de la vía, hacia los puntos de desfogue.

b. **Subestructura:**

Son los elementos que soportan la superestructura del puente. En este caso, la subestructura está conformada por:

- **Fundaciones.**

Conjunto formado por el cimientado del cuerpo principal y el suelo o roca soportante. En el caso del puente, se tiene en margen derecha un cimientado pilotado, mientras que en la margen izquierda el cimientado se encuentra descansando directamente



sobre el lecho rocoso, debido a la alta calidad del macizo ubicado en ese sector.

- **Bastiones.**

Elementos de la subestructura que sirven de apoyo en los extremos de la superestructura.

c. **Superestructura:**

Elementos que componen la estructura superior del puente.

- **Vigas transversales y longitudinales.**

Son elementos principales que soportan las cargas transferidas por el sistema que soporta la losa de rodamiento y transmiten los esfuerzos resultantes a la subestructura a través de los apoyos. Las vigas transversales son elementos secundarios que distribuyen adecuadamente las cargas, generan mayor rigidez y restringen las deformaciones de las vigas longitudinales para que sean más eficientes.

- **Cerchas principales.**

Corresponden a las dos armaduras conformadas por acero de alma llena, las cuales se encuentran unidas mediante el sistema que sostiene la losa de rodamiento y los diafragmas transversales.

- **Sistema de arriostramiento.**

Estructura de elementos diagonales que brinda estabilidad y restringe las deformaciones de las cerchas principales.

- **Losa de rodamiento.**

Plataforma de concreto sobre la cual circula la carga vehicular y transfiere esta carga a los elementos principales de la superestructura. Esta losa posee una capa de pavimento flexible que cubre la superficie para brindarle protección y durabilidad.

- **Apoyos.**

Elementos estructurales colocados entre la superestructura y los elementos de subestructura para transmitir cargas y acomodar movimientos relativos entre la superestructura y la subestructura.

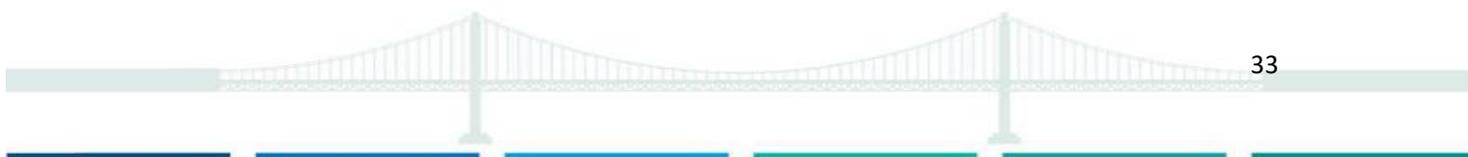
d. **Accesorios:**

Elementos sin función estructural que garantizan el buen funcionamiento del puente.

- **Pavimento.**

Capa flexible con función de desgaste que se coloca sobre la losa de rodamiento para protegerlo de la abrasión producida por el tráfico.

- **Drenajes.**



Perforaciones que atraviesan la losa de rodamiento y el pavimento que sirven para evacuar el agua de lluvia que escurre sobre el pavimento del puente.

- **Baranda de acero.**

Sistema de contención longitudinal fijada a la losa de rodamiento para evitar la caída al vacío de vehículos y peatones.

- **Juntas.**

Elemento divisorio de la losa instalado en los extremos de la superestructura que le permite un movimiento controlado, ya sea por expansión o contracción de la superestructura.

- **Elementos de seguridad vial.**

Señales de tránsito utilizados en la vía pública para transmitir información a los usuarios que transitan por el puente.

e. **Otros componentes:**

Elementos que forman parte del sistema que interactúa con el puente pero que no pertenecen a su concepción estructural y/o de funcionamiento.

- **Líneas de transmisión eléctrica.**

Elementos necesarios para transportar la energía eléctrica generada en las plantas hasta los puntos de consumo. En ambos márgenes se tienen postes con tendido eléctrico.

- **Puente antiguo.**

Estructura paralela al puente que actualmente se encuentra destinada al uso peatonal, declarada patrimonio histórico en marzo de 1995 mediante decreto N° 24084-C. (Ver Anexo N°9 Decreto 24084-C con declaración de interés histórico arquitectónico al antiguo Puente de Guardia).

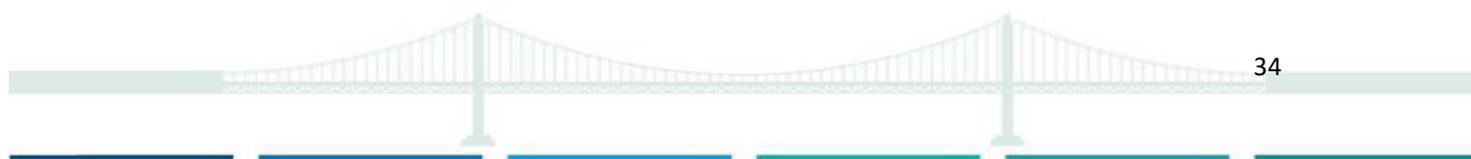
- **Sistema de agua potable.**

En el caso del puente de Guardia, se tiene un conjunto de tuberías que transportan agua potable, las cuales están adosadas a la superestructura del puente, específicamente en la cercha ubicada hacia aguas abajo.

- **Rutas alternas.**

Vía que sustituye de forma emergente la ruta principal donde se ubica el puente. En el caso del puente de Guardia, la ruta alterna implicaría tener que aumentar el recorrido para los vehículos en una distancia superior a los 200 km.

- **Sección hidráulica bajo el puente.**



Sección transversal constituida por el área contenida entre la base inferior de la superestructura, los bastiones y el perímetro inferior del cauce del río.

- **Árboles.**

Se incluyeron en esta categoría aquellas plantas de tronco leñoso y elevado que podrían afectar el nivel de servicio de la infraestructura en caso de presentarse caídas sobre la carretera.

- **Torres de telecomunicación.**

Estructura artificial diseñada para soportar antenas de telecomunicación.

- **Estación hidrométrica.**

Sistema de medición graduado que registra el nivel de agua en el río, y cuya caseta de control se encuentra en la margen derecha del puente.

f. **Personal de operación y mantenimiento.**

En este componente, se incluye el recurso humano que utiliza el CONAVI para la operación y mantenimiento del puente.

Las Fotografías N°8 a N°11 muestran algunos de los componentes descritos.



Fotografía 8. Tuberías de servicios públicos que utilizan el puente como soporte.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9. Bastiones cimentados sobre roca en la margen izquierda.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 10.
Desechos orgánicos
sobre elementos
inferiores del puente.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11. Labores de limpieza y
mantenimiento en ejecución.
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Marco temporal.

Para definir el horizonte temporal a tomar en cuenta para el análisis, se hizo referencia a la vida útil de la infraestructura. En el caso específico del puente de Guardia, como se mencionó anteriormente existía al inicio del estudio dos puntos de vista distintos en cuanto al tratamiento que se podría dar al puente, de acuerdo con la posición del MOPT y del CONAVI.

Por un lado, se tiene la alternativa de reparar y reforzar la estructura actual, propuesta que se considera por parte del MOPT. Por otro lado, se contempla la posibilidad de construir un puente nuevo, condición que presenta el CONAVI como alternativa, dada la incertidumbre del nivel de agua en la sección hidráulica bajo el puente.

Para ambos casos se requiere de información técnica que permita tomar la mejor decisión, en el entendido de que se desea garantizar un óptimo funcionamiento a lo largo de la vida útil de la infraestructura y procurar que la inversión represente la mejor alternativa posible en favor de la sociedad y el servicio que se le brinda.

Bajo la premisa anterior, se establecieron tres posibles escenarios de análisis: la condición actual, una primera proyección a 25 años si se considera la opción de reparar y reforzar el puente (partiendo del principio técnico de justificar una rehabilitación con una inversión del 50% del costo de reposición y alcanzar al menos un 50% de la vida útil de la estructura), y finalmente una proyección a 75 años bajo la alternativa de construir el puente nuevo.

El incremento de la vida útil del puente actual en 25 años se estimó con base en el criterio experto del personal del CONAVI y del MOPT, construido a partir de las experiencias con la intervención de infraestructura en cuanto a reforzamiento y reparación.

Así mismo, se establecen los 75 años de vida útil de diseño para un puente nuevo, normado según ASSHTO, aun cuando los períodos de retorno para los estudios de hidrología, según la misma asociación, deben ser de 100 años y para socavación de 200 años, con revisión incluso para un período de retorno de 500 años.

De acuerdo con el análisis climático desarrollado por la Ing. Nazareth Rojas en el capítulo 3 de este informe, se utilizaron dos escenarios de tiempo para el estudio. En primera instancia, para el período denominado histórico, correspondiente al análisis del clima actual, se utilizó la línea base de 1988 – 2017 con 30 años de registro. Para el clima futuro el horizonte se estableció, según el grupo de trabajo, a partir del criterio del ciclo de vida de la infraestructura civil en el caso de rehabilitación, para lo cual se definió el año 2050.

2.3.3 Descripción del área de estudio

2.3.3.1 Cuenca tributaria

En la Figura N°5 se delimita el área de la cuenca tributaria del río Tempisque al tomar como punto de cierre la ubicación del puente. (Ver Anexo N°10 “Caracterización de la Cuenca Alta del Río Tempisque y Análisis de Datos Hidrológicos”).



2.3.3.2 Parámetros morfológicos de la cuenca.

En la Tabla N°3 se muestran los principales parámetros.

Tabla 3. Parámetros morfológicos para la cuenca alta del río Tempisque.

Parámetros	Dimensión
Área de drenaje (km ²)	964,44
Perímetro (km)	161,35
Longitud el cauce principal (km)	67,33
Índice de compacidad	1,47
Factor de forma	0,21

Fuente: Atlas, TEC, 2008

La zona está interconectada por una gran red fluvial que tiene zonas de recolección en alta montaña y valles, llanuras de inundación y bosques rivereños. En términos generales, en la época seca hay una disminución importante del caudal, mientras que en la época lluviosa se producen inundaciones por desbordamiento, comportamiento característico de regiones cubiertas por bosque tropical seco.

Los principales cursos de agua que drenan la zona de estudio nacen en las faldas de la Cordillera de Guanacaste. La cuenca es de orden seis¹ y presenta una longitud total en cauces de 973 km. Tiene una densidad de drenaje de 1,01 km/km², que según Serrano (2016), representa un valor bajo para la cuenca.

El resumen de los parámetros de la red hídrica para la cuenca se presenta en la Tabla N°4.

Tabla 4. Parámetros de la red hídrica para la cuenca alta del río Tempisque.

Parámetros	Resultado
Patrones red de drenaje	Dentrítico
Número de orden	6
Longitud de red hídrica (km)	973,12
Densidad del drenaje (km/km ²)	1,01
Longitud del cauce principal (km)	67,33

Fuente: Atlas, TEC, 2008.

¹ El orden de una cuenca está dado en función de las ramificaciones en toda la extensión de la cuenca. Una cuenca de orden seis posee afluentes de primer hasta quinto orden aportando caudal al cuerpo principal.

2.3.3.3 Topografía y relieve.

En relación con la topografía y el relieve, la Figura N°7 muestra que las zonas de mayor elevación se localizan al noreste, lo cual coincide con la Cordillera Volcánica de Guanacaste, y presenta una elevación máxima de 1890 msnm. Las elevaciones mínimas se localizan al suroeste, siendo el punto de menor elevación, para la cuenca de estudio donde se ubica el puente en estudio con 17 msnm.

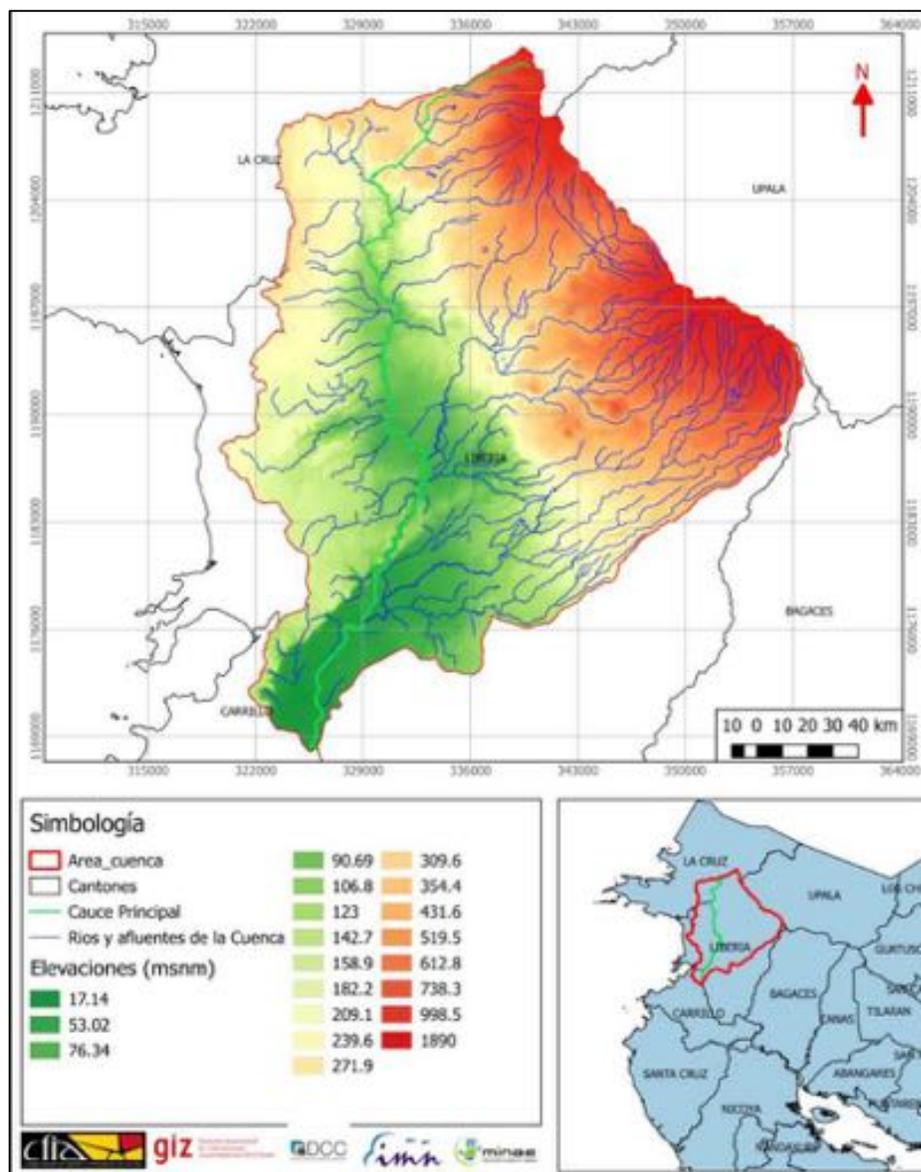


Figura 7. Mapa: Distribución de elevaciones para la cuenca alta del río Tempisque.

Fuente: Atlas, TEC, 2008.

Los parámetros de elevación para el área de estudio se presentan en la Tabla N°5.

Tabla 5. Parámetros de elevación para la cuenca alta del río Tempisque.

Elevaciones	Dimensión (msnm)
Máxima, Z_{max}	1890
Mínima, Z_{min}	17
Media, Z_{med}	330
Promedio, Z_{prom}	512

Fuente: Atlas, TEC, 2008.

Con base en la distribución de la frecuencia de elevaciones, la Figura N°8 muestra la curva hipsométrica para la cuenca en estudio. De su forma se concluye que presenta pendientes pronunciadas en su parte alta y valles extensos en sus partes media y baja. Esto se evidencia debido a la concentración de puntos con diferencias porcentuales en área acumulada muy pequeñas entre los 600 msnm y los 1890 msnm aproximadamente, mientras que a partir de los 600 msnm las diferencias porcentuales de área acumulada son mayores entre una y otra elevación.

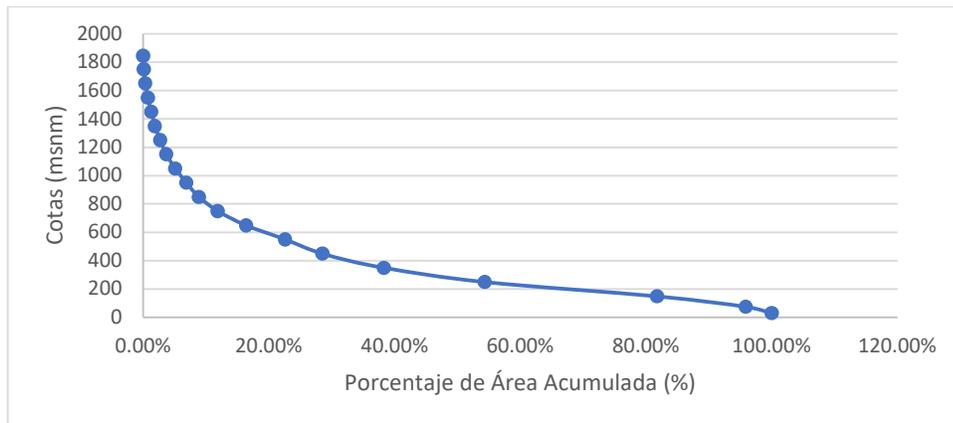


Figura 8. Curva hipsométrica para la cuenca alta del río Tempisque.

Fuente: Elaboración propia.

Aproximadamente un 70% del área se encuentra por debajo de los 200 msnm. Al unir este detalle con la longitud del cauce principal y el análisis de sus pendientes (0.42% de pendiente media ponderada), se concluye que la cuenca tiene gran capacidad de amortiguamiento para eventos de precipitación.

Se calcula un tiempo de concentración, utilizando la fórmula de Kirpich, de 13.95 horas. Con base en esta información se considera que la topografía característica de la cuenca es poco propensa a crecidas instantáneas y presenta un drenaje lento.

2.3.3.4 Tipos y usos de suelo.

La caracterización de los suelos muestra que está formado por entisoles e inceptisoles. Estos materiales son de carácter arcilloso fino, con textura variable y de origen sedimentario formados por el transporte y depósito a causa de las inundaciones en la zona (Chinchilla, Mata y Alvarado, 2011). En la Figura N°9 se observa la distribución geográfica de los tipos de suelo. Destaca este aspecto en el sentido de arrastre de sedimento a lo largo del cauce y posible deposición aguas abajo.

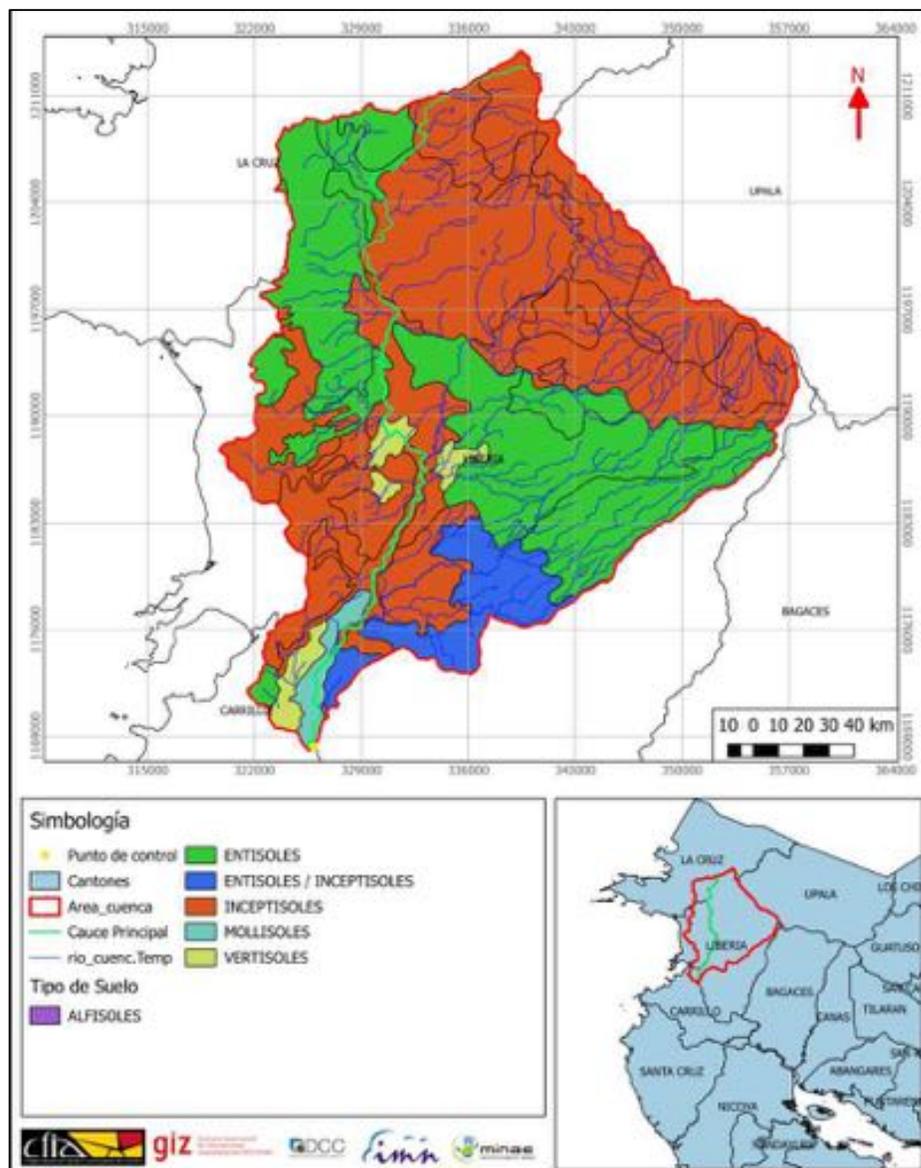


Figura 9. Mapa: Tipos de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.
Fuente: Atlas, TEC, 2008.

Finalmente, en cuanto al uso del suelo en la cuenca, la Tabla N°6 muestra que el mayor porcentaje corresponde a los bosques secundario y maduro con un acumulado de 64.1% y luego los pastizales con un 22.1%. El restante 13.8% se distribuye en once categorías menores que incluyen áreas urbanas (0.41%), cultivos (5.70%) y terrenos descubiertos (2.89%), entre otras.

El cambio en el uso de suelo para una condición futura será determinante para el comportamiento de la cuenca. Dado que la tendencia es modificar terrenos permeables, con bosques y pastizales, hacia superficies menos permeables o impermeables, es razonable pensar que la respuesta de escurrimiento actual podría cambiar en el futuro.

Tabla 6. Uso de suelo para la cuenca alta del río Tempisque.

Cobertura	Área (km)	% Área
Áreas quemadas	2,44	0,25%
Áreas urbanas	4,00	0,41%
Bosque maduro	243,42	25,23%
Bosque secundario	374,96	38,87%
Charral y tacotal	12,47	1,29%
Cuerpos de agua	4,01	0,42%
Cultivo permanente	29,18	3,03%
Cultivos anuales	25,77	2,67%
Manglar	0,45	0,05%
Nubes y sombras	26,33	2,73%
Pastos	213,09	22,09%
Plantaciones forestales	0,60	0,06%
Terreno descubierto	27,86	2,89%
Uso mixto	0,04	0,00%
Total	964,50	100,00%

Fuente: Atlas, TEC, 2008.

2.3.4 Sección transversal del río bajo el puente.

Dado que se cuenta con información de la estación hidrométrica que se localiza exactamente bajo el puente, se analizó el registro de las mediciones de la sección transversal del río Tempisque realizadas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Se pudo identificar el comportamiento y conformación del lecho del río, con una variación de la sección transversal relacionada con los eventos hidrometeorológicos en estudio. En la Tabla N°10 se muestra cada una de las fechas en que se realizó la medición y la institución que la realizó.

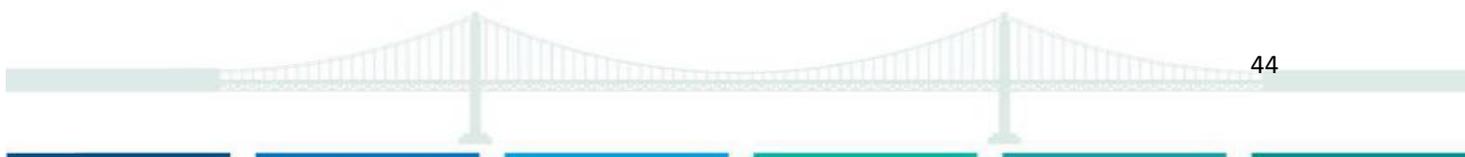


Tabla 7. Registro de mediciones de la sección transversal del río Tempisque a la altura del puente en Guardia.

22-08-13	ICE	51,60	2,55
Fecha	Institución	Longitud de la Sección	Profundidad Máxima
		m	m
12-04-11	ICE	52.00	2,20
09-06-11	ICE	53.00	2,40
31-08-11	ICE	53.00	2,25
26-11-11	ICE	54.00	4,44
14-03-12	ICE	53.00	2,95
07-06-12	ICE	50.00	3,15
22-11-12	ICE	53.00	3,00
29-05-13	ICE	48.00	2,38
22-08-13	ICE	51,60	2,55
17-10-13	ICE	53,30	3,58
16-04-15	AyA	46,96	2,35
22-04-15	ICE	46,80	2,74
19-11-15	AyA	52,71	2,83
27-04-16	AyA	46,35	1,82
20-10-16	AyA	56,33	3,24
15-03-17	AyA	51,70	2,54
06-09-17	AyA	50,60	2,50
14-12-17	AyA	46,11	6,49
18-07-18	AyA	47,91	5,94

Fuente: AyA e ICE.

En la Figura N°10 se encuentra la superposición de las secciones del río donde se aprecia la variación de la sección transversal.

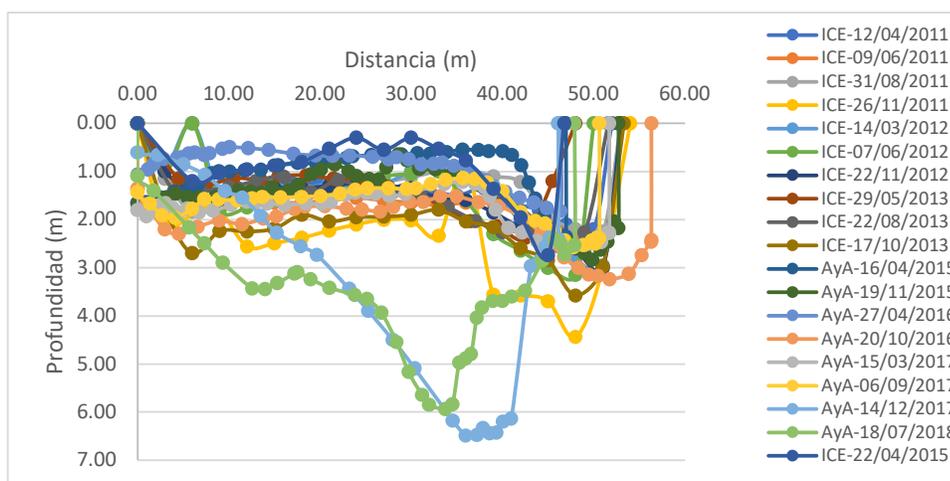


Figura 10. Superposición de mediciones AyA – ICE de sección transversal del río.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se observa que, desde abril del 2011 hasta setiembre del 2017, las variaciones en el fondo de la sección fueron relativamente estables y no superaron los 2 m. Sin embargo, desde inicios de setiembre hasta mediados de diciembre del 2017, la variación en la sección del río fue de más de 4 m adicionales con respecto a las mediciones anteriores. Precisamente dentro de este periodo, se registró en octubre de 2017 la afectación directa de la tormenta tropical Nate sobre la zona de Liberia, por lo que se puede relacionar la variación de la sección del río con el impacto de esta tormenta.

Adicionalmente, se puede observar en esa misma figura cómo en las mediciones posteriores (diciembre de 2017 y julio de 2018) el lecho del río se ha ido recuperando, lo cual se evidencia en una pérdida de profundidad causada por la sedimentación de material arrastrado por la corriente y depositado en el fondo. Por lo tanto, se puede concluir que la variación de la sección puede estar relacionada directamente con eventos hidrometeorológicos que provocan crecidas, las cuales ocasionan, entre otras cosas, la socavación del lecho del río. Posterior al evento, el arrastre y depósito de sedimento provoca la recuperación del fondo de la sección.

Lo anterior se liga al constante arrastre y depósito de sedimento en el río debido a la gran cantidad de entisoles que existen en la parte alta y media de la cuenca, tanto al noroeste como al sureste (ver Figura N°5), en ambas márgenes del río Tempisque (Leitón, 2011).

2.3.5 Normativa aplicable.

Dentro de la normativa vigente en materia de puentes, en Costa Rica se utilizan especificaciones nacionales e internacionales, dentro de las cuales se aplican las siguientes:

- Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes, versión 2013 y sus comentarios versión 2014.
- Especificaciones AASHTO LRFD, 8va edición 2017, para puentes de carretera.
- Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica. SIECA, Secretaría de Integración Económica Centroamericana, primera edición 2016.
- Hydraulic Design of Safe Bridges. FHWA, Federal Highway Administration, FHWA-HIF-12-018 del año 2012.
- Evaluating Scour at Bridges. FHWA, Federal Highway Administration, FHWA-HIP-12-003 del año 2012.



2.3.6 Cambios en las condiciones de servicio que afectan la infraestructura

Con el pasar del tiempo entre el período comprendido desde el diseño, la construcción y la operación actual, se han podido identificar cambios en los patrones de uso del puente. Por ejemplo, la cantidad y el tipo de vehículos que circulan sobre la ruta 21, son parámetros que han variado desde la conceptualización de la estructura en estudio.

En la página web del MOPT se encuentran datos de conteo vehicular en algunos sitios específicos. El puente se ubica en la sección de control identificada con el número 50082, en la cual existe la estación medidora 549.

En la Figura N°11 se observa un extracto de la medición del tránsito promedio diario anual (TPDA) en esa estación. Se observa la variación en la cantidad de vehículos, la cual pasa de 1720 unidades en 1987 a 11005 unidades en el 2015, lo cual representa un 639.8% de aumento para la cantidad de automotores.

mopt		SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL							
Ministerio de Obras Públicas y Transportes		Planificación Estratégica Multimodal de Infraestructura y Servicios de Transporte							
Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo									
Estación:	549	Ruta:	21	Sección:	50082				
Tramo:	LLANO GRANDE(ENTRADA AEROPUERTO)-GUARDIA (RÍO TEMPISQUE)(LITE. CANTONAL)								
Ubicación:	GUARDIA, PUENTE RÍO TEMPISQUE								
Comentario:									
Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes	
1987	1720	44.34	40.43	4.73	7.91	0.96	0	1.63	
1989	1620	33.47	40.21	6.34	16.37	1.44	0.16	2.01	
1990	1525	31.05	46.71	5.45	13.32	1.04	0.35	2.08	
1992	1705	37.14	41.68	5.92	10.89	2.4	0	1.97	
1995	3165	44.12	34.64	4.65	10.51	0.86	0	5.22	
2006	5413	44.13	34.64	4.65	10.5	0.86	0	5.22	
2010	10695	64.66	21.77	4.91	6.93	0.72	0	1.01	
2015	11005	67.76	19.66	3.17	6.67	1.49	0.15	1.1	

Notación:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)

Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)

C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagonera y trailer sin carreta)

C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

Figura 11. Registro de TPDA en la estación N°549 del MOPT, Puente Río Tempisque, Guardia.

Fuente: <https://sig.mopt.go.cr:8084/transito/tpd.php>.

Como parte del análisis de la información, se agrupó la flota vehicular en dos grupos, uniendo los vehículos livianos junto con los de carga liviana en un grupo (livianos) y los buses con los camiones de 2 a 6 ejes en otro (pesados). La división toma en cuenta los parámetros de tamaño y capacidad de carga.

En la Tabla N°8 se observan las variaciones porcentuales y el aumento en la cantidad de unidades que circularon entre 1987 y 2015 por el puente en estudio.

Tabla 8. Cantidad de unidades y porcentajes de circulación por tipo de vehículo.

Año	TPDA	Porcentajes		Unidades	
		Livianos	Pesados	Livianos	Pesados
1987	1.720	84,77	15,23	1459	261
1989	1.620	73,68	26,32	1194	426
1990	1.525	77,76	22,24	1186	339
1992	1.705	78,82	21,18	1344	361
1995	3.165	78,76	21,24	2493	672
2006	5.413	78,77	21,23	4264	1149
2010	10.695	86,43	13,57	9244	1451
2015	11.005	87,42	12,58	9621	1384

Fuente: Figura N°11 y elaboración propia.

En la Figura N°11 se observa la tendencia marcada al aumento de circulación entre 1992 y 2010, la cual tiende a estabilizarse hacia el 2015. Se evidencia una utilización importante por parte de la población dado el desarrollo turístico y agrícola que tienen zonas aledañas a la ruta 21 donde se ubica el puente. Debe resaltarse que el servicio que presta la infraestructura es relevante para los intereses económicos de la zona y del país, por lo cual debe procurarse que no se interrumpa en ningún momento.

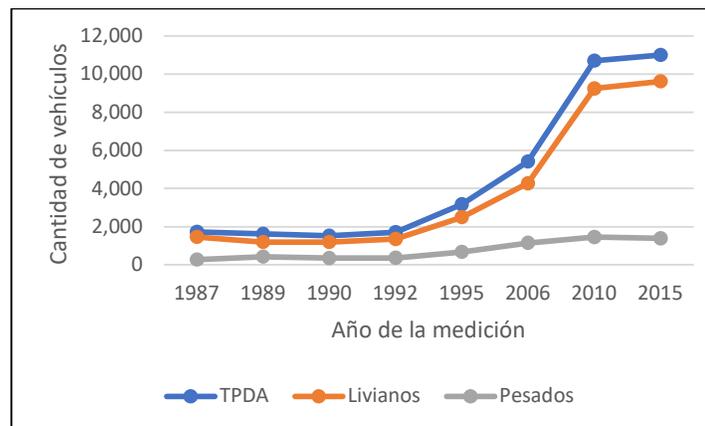


Figura 12. Tendencia anual de flujo vehicular en la estación N°549 del MOPT, puente río Tempisque, Guardia.
Fuente: Tabla N°8 y elaboración propia.

Las solicitaciones que se derivan de la información anterior hacen referencia a lo que se considera como carga viva para el diseño del puente. Esta carga viva consiste en el peso de las cargas en movimiento sobre la estructura, tales como vehículos y peatones.

En el caso particular del puente, se centró el interés sobre las cargas que generan los vehículos y la modificación de los factores de diseño que se utilizan, en primera instancia cuando el puente fue concebido, y posteriormente las que deben utilizarse en la actualidad.

Como ejemplo de la variación de los parámetros utilizados en el diseño estructural, el procedimiento establecido para el cálculo de la solicitación de carga vehicular considera, entre otras cosas, los tipos de camión estándar según la clasificación AASHTO. Para la norma de diseño de 1969, se utiliza un tractocamión de tres ejes tipo HS 15-44 con un peso de 24.5 ton, mientras que para el 2017 se usa una consideración de carga nominal que se denomina HL-93, equivalente a una condición de carga que considera un tractocamión de tres ejes de 32.6 ton más una carga de carril. Esto evidencia una diferencia en el concepto de diseño.

La terminología HS define un vehículo tipo tractor y semirremolque con dos ejes en el primero y un eje en el segundo. El primer número indica el peso del tractor en toneladas norteamericanas y el peso del semirremolque se toma como el 80% del tractor. El segundo número indica el año en que se efectuó la última modificación. En la Figura N°12 se observan las dimensiones y pesos característicos de los modelos de carga AASHTO tipo HS.

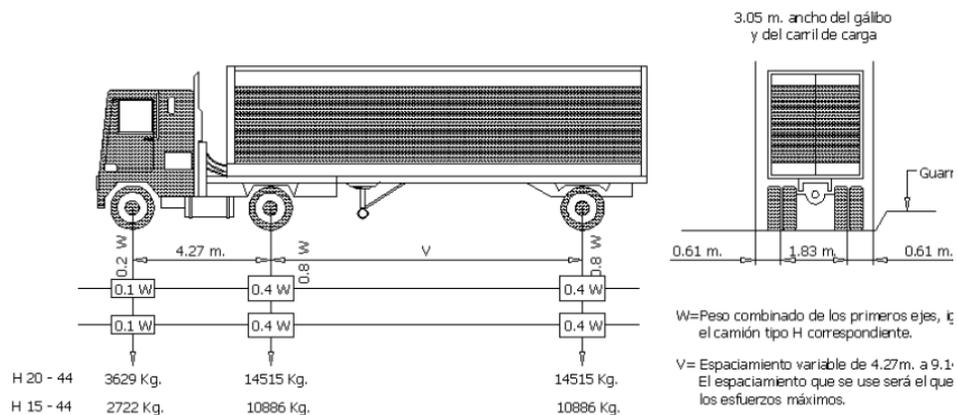


Figura 13. Cargas y dimensiones para diseño con camiones tipo HS.
Fuente: AASHTO

Como ejemplo de la diferencia en el diseño para ambos sistemas, se muestran en la Tabla N°9 los cálculos correspondientes. Se observa un aumento en la carga viva que debe considerarse según la normativa de diseño vigente en la actualidad. Esta carga adicional no considerada en el diseño inicial es, definitivamente, un cambio potencial que podría afectar la infraestructura.

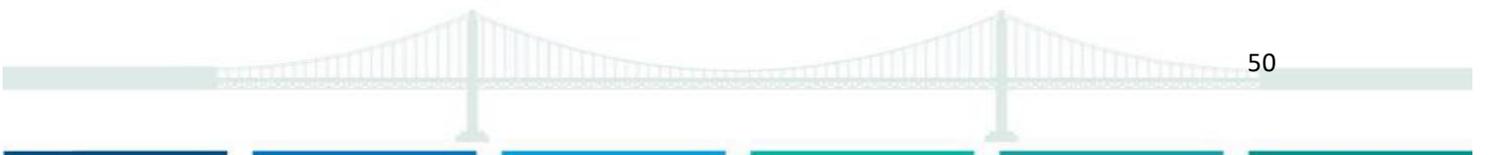
Tabla 9. Comparación de solicitudes por carga viva según método de diseño.

Año de construcción		1986				2019				
Especificaciones de Diseño		AASHTO		1969		AASHTO LRFD			2017	
Carga Viva		HS-15				HL-93				
		Camión HS-15				Camión HS-20 ó Tandem + Carga Carril				
		1°Eje	2°Eje	3°Eje	Total	1°Eje	2°Eje	3°Eje	Total	Tandem
		2,721	10,885	10,885	24,491	3,628	14,514	14,514	32,656	22,68
Condición de tránsito	TPDA	≤ 12000				≤ 12000				
Carga Sísmica		0,05g				0,36g				

Fuente: AASHTOO

Se debe considerar adicionalmente que, con respecto al programa de conservación vial contemplado para el puente, según lo indicado por el Ing. Gustavo Alvarado de CONAVI, las labores se limitan a la limpieza general y remoción continua de desechos, principalmente desechos orgánicos que caen debido al paso de camiones sobrecargados de caña de azúcar, con cargas por encima del nivel superior de los vagones y en consecuencia, topan con la estructura del puente y una parte se desploma sobre la vía y escurre hacia los laterales del puente.

En lo que respecta a las intervenciones de la estructura, únicamente se reparan o sustituyen aquellos elementos cuyo daño podría poner en peligro al usuario de la vía. Tal es el caso del "informe sobre intervenciones" que describe la sustitución parcial de la losa de concreto y el mantenimiento con bacheos en asfalto para la superficie de rodamiento.



2.3.7 Parámetros climáticos.

2.3.7.1 Caracterización climática.

Esta cuenca se ubica en la región Pacífico Norte, y se caracteriza por tener un comportamiento de la precipitación bimodal, con una época seca que se extiende de diciembre hasta marzo, siendo abril un mes de transición; la época lluviosa va de mayo a octubre, noviembre es también un mes de transición.

Se presenta una disminución relativa de la cantidad de lluvia durante los meses de julio y agosto, período denominado “veranillo” o “canícula”. Los meses más lluviosos son setiembre y octubre debido a la influencia de los sistemas ciclónicos, los vientos monzones provenientes del océano Pacífico ecuatorial y las brisas marinas, causantes de las lluvias intensas cuando unen su efecto a las barreras orográficas. (IMN, 2008)

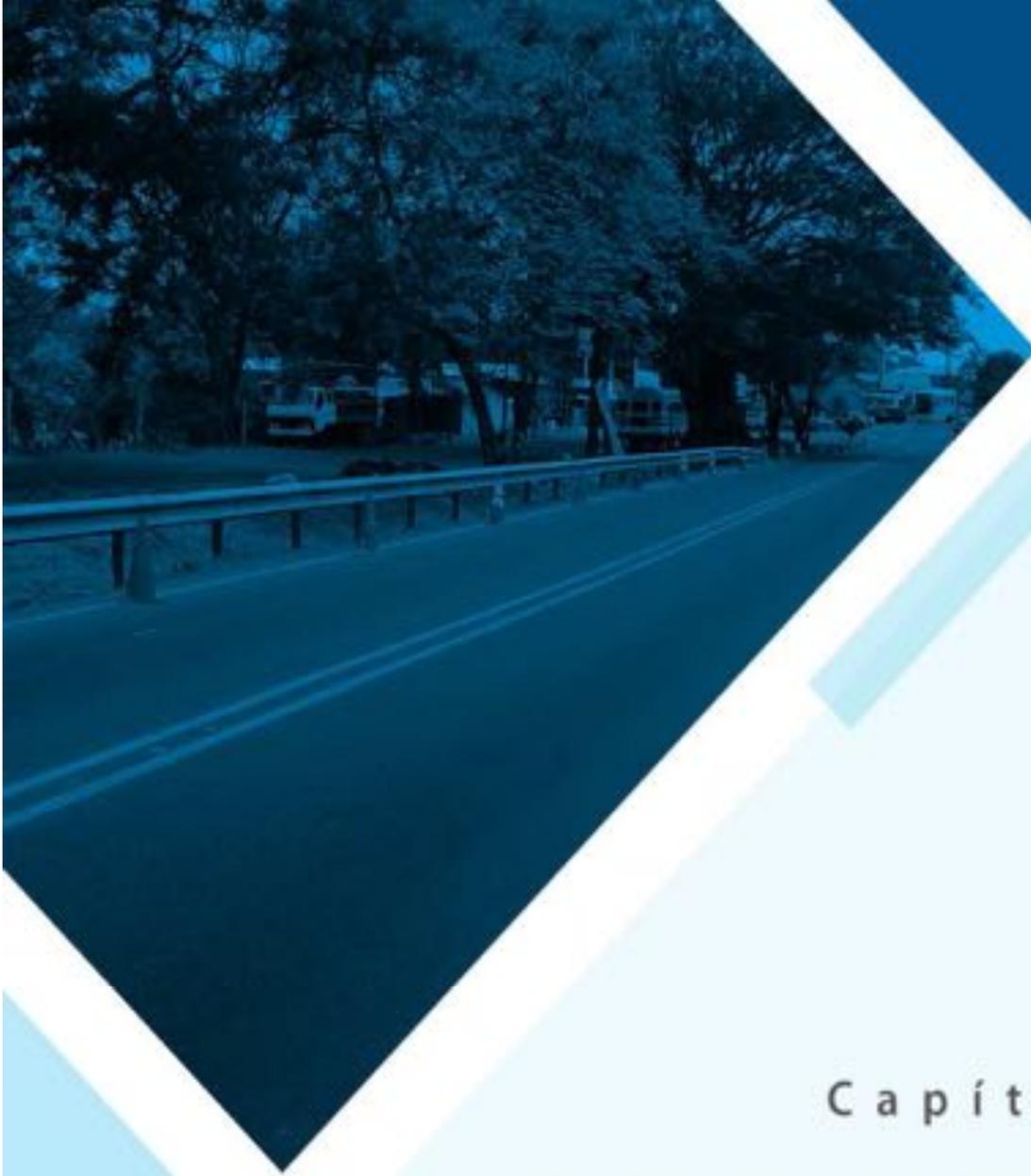
Según IMN (2008) en esta región se pueden resaltar las siguientes unidades fisiográficas:

Unidad Continental: constituida por la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán, presenta una altitud media de 100 msnm, una precipitación anual de 2200 mm y temperaturas de 25 °C durante el día y 17 °C durante la noche con una variación diaria de 8 °C.

Unidad Peninsular: es la parte oeste de la región (Penínsulas de Santa Elena y Nicoya), una altura media de 1700 msnm, con precipitación anual de 1700 mm y temperaturas de 32 °C para el día y 22 °C para la noche, con una variación diaria de 10 °C.

Unidad de depresión del río Tempisque: ubicada en la parte central del Pacífico Norte, es una zona llana en su mayoría, con una elevación media de 30 msnm, precipitación anual aproximada de 1900 mm y temperaturas entre los 33 °C y los 22 °C durante el día y la noche, respectivamente, con variación diaria de 9 °C.

El detalle del análisis climático se encuentra en el capítulo 3 de este estudio.



Capítulo 3

Análisis climático y proyecciones

3 ANÁLISIS CLIMÁTICO Y PROYECCIONES

3.1 Análisis de vulnerabilidad

De acuerdo con el protocolo PIEVC (2011), se define vulnerabilidad como:

“El grado hasta el cual un sistema es susceptible a efectos adversos o el grado hasta que no puede hacerles frente; estos efectos adversos incluyen la variabilidad climática y los extremos climáticos. La vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y la velocidad de la variación climática a la cual está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.”

De esta manera la vulnerabilidad capta todos los impactos potenciales del clima que puedan en este caso afectar la infraestructura, en este caso el puente .

Mediante la participación de profesionales expertos de DCC, MOPT, CONAVI, ITCR, Lanamme UCR, CFIA, IMN y GIZ; a partir de dos talleres se definió la lista de parámetros climáticos que han afectado o podrían afectar los diferentes componentes de la infraestructura del puente.

A partir de la definición de los parámetros climáticos aplicables, se realizó el proceso de investigación para la búsqueda de evidencia de eventos extremos dentro de los umbrales establecidos por parámetro. Este proceso se llevó a cabo mediante un análisis de los datos de estaciones meteorológicas y una limnigráfica, así como consulta en medios de comunicación nacional y regional (impresos y digitales). También, se consultó el documento de recapitulación del Histórico de Desastres de la CNE (2017), la base de datos del Sistema de inventario de efectos de desastres (<https://desinventar.org>), entre otros.

Considerados los diferentes parámetros climáticos que afectan la zona donde se ubica el proyecto, se evaluaron los efectos de éstos sobre todos los componentes del puente definidos por el equipo de trabajo, identificando su influencia o afectación a nivel estructural, operacional y funcional.

3.2 Análisis de los parámetros climáticos

Para efectos de este estudio, el término “histórico” corresponde al análisis del clima actual, para una línea base de 1988-2017 (30 años de registro). En lo concerniente al clima “futuro”, se definió como un plazo a un horizonte temporal prospectivo. Este horizonte fue establecido por el grupo de trabajo, a partir del criterio del ciclo de vida de la infraestructura civil, para lo cual definió el año 2050.

Una vez definido el período para clima futuro, fue necesario contar con información sobre las proyecciones climáticas, a partir de los modelos de circulación global o regional de la atmósfera (MCG), para escenarios de emisiones predefinidos. En este caso, se consideró el RCP 8.5, característico de una condición *business as usual*, o bien un escenario de emisiones pesimista que considera que las emisiones de gases efecto invernadero no se reducirán, manteniéndose la condición actual. Por otro lado, también se realizó consulta de

investigaciones científicas donde se documentan procesos de simulación de estos parámetros.

3.2.1 Parámetros climáticos seleccionados

Como se indicó anteriormente, la selección de los parámetros se determinó con base en la consulta realizada al grupo de profesionales expertos, así como a los profesionales encargados de la operación y mantenimiento de la infraestructura del puente por parte de MOPT, y a los diseñadores de MOPT y CONAVI, para lo cual se les enfatizó en la idea de reconocer los eventos que han generado afectaciones relevantes en el puente.

Una vez definidos los parámetros climáticos, se realizó un segundo proceso de análisis para determinar de manera definitiva la continuidad de estos en el estudio, basado en tres factores:

- a. Efectos del parámetro climático en la vulnerabilidad de la infraestructura.
- b. Disponibilidad de los registros históricos.
- c. Información para relacionar el parámetro con la probabilidad de ocurrencia a futuro.

En la Tabla N°10, se presentan los resultados de los procesos de asignación de los parámetros climáticos considerados en el proceso de aplicación del PIEVC en el puente en análisis.

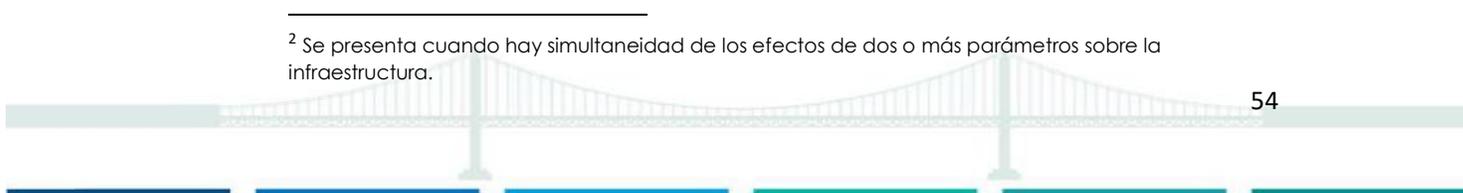
Tabla 10. Parámetros climáticos propuestos para la aplicación del PIEVC en el puente.

Parámetro climático	Relevancia del evento	Duplicidad del efecto de carga ²	Posibilidad de ocurrencia del fenómeno en el sitio	Disponibilidad de información	¿Se descarta?
Precipitación de inundación acumulados mayores a 300 mm de cinco a ocho días	Alta	Si	Si	Alta	No
Viento ráfagas ≥ 89 km/h	Media	No	Si	Alta	No
Caudales de sobrecarga	Media	Si	Si	Media	Sí. Los efectos de caudal de sobrecarga están relacionados a los eventos de precipitación de inundación, ya que por las características de la cuenca no se presentan crecidas instantáneas.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°11, se detalla el análisis de los parámetros climáticos seleccionados para realizar el estudio.

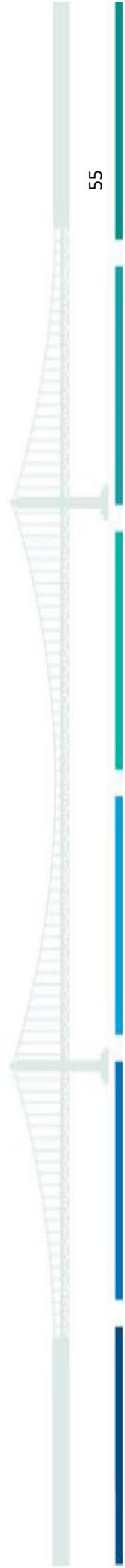
² Se presenta cuando hay simultaneidad de los efectos de dos o más parámetros sobre la infraestructura.



Parámetro o fenómeno analizado.	Definición	Aplicación en el estudio	Efecto sobre el desempeño funcional	Efecto sobre el desempeño operacional
Precipitación de inundación	Acumulado de lluvia de cinco a ocho días que superen los 300 mm.	Según la evidencia documental, fenómenos de esta magnitud generan crecidas en el río Tempisque a la altura del puente en Guardia, Ruta 21, ocasionando la afectación en la infraestructura del puente. Estos umbrales están relacionados con eventos meteorológicos como: ciclones tropicales, sistemas de baja presión, lluvias intensas y temporales.	Con crecidas del nivel de agua que lleguen a la subestructura ésta puede verse afectada por impactos de árboles u otros grandes objetos que arrastre la corriente del río. Posible erosión y socavación de la zona de relleno de los bastiones o de los aletones de entrada y salida.	Preventivamente el puente se cierra parcial o totalmente, durante las crecidas por impacto del agua en la subestructura del puente o incluso por la probabilidad de que pase sobre él (overtopping). Así como desbordamiento del río en los accesos de aproximación.
Viento y ráfagas	Ráfagas máximas diarias de viento de 89 Km/h o más.	De acuerdo con la Escala de Beaufort, a partir de ráfagas de 89 km/h, es posible que se derriben árboles, daños a las estructuras de las construcciones, así como daños en objetos a la intemperie (Anexo N°13).	Probable afectación en la señalización vertical del puente..	Posible caída de árboles en los rellenos de aproximación que provocarían cierres totales o parciales del puente.

Tabla 11. Parámetros climáticos seleccionados, definición y aplicación sobre la vulnerabilidad de la infraestructura.

Fuente: Elaboración prop



3.3 Métodos y fuentes de información

3.3.1 Información histórica para los parámetros climáticos

La información meteorológica se obtuvo de estaciones del IMN. En la Tabla N°12 se muestran los datos y ubicación de 11 estaciones medidoras de precipitación, de acuerdo con los periodos de registro algunas se encuentran fuera de operación, y solamente la Estación 74-20 cuenta con registros a lo largo del período de análisis que va desde 1988 a 2017.

Tabla 12. Estaciones meteorológicas.

Estación		Coordenadas CRTM-05		Elevación (msnm)	Período de registro
Cuenca	Estación	Latitud	Longitud		
74	20	331501.62	1172335.64	80	1957-2017
74	51	330137.36	1171309.75	70	1998-2017
74	21	332257.43	1177618.08	50	1978-2004
74	7	328571.80	1176222.74	60	1968-1994
74	12	337709.94	1179865.79	100	1970-1994
74	10	337745.40	1187241.55	100	1986-1985
74	19	348694.28	1189034.43	520	1969-1980
74	57	344145.14	1191022.10	325	2007-2015
74	33	345081.79	1196426.64	580	1976-1985
74	4	335985.21	1200158.11	366	1952-1987
72	106	323095.93	1198718.12	315	1971-2015

Fuente: (Datos, IMN, 2018)

Las estaciones medidoras de precipitación están ubicadas a lo largo de la cuenca, con una buena distribución espacial de datos, de tal manera que se puede tener una idea del comportamiento de la precipitación al menos para los períodos homogéneos de datos. En las Figuras N°14 y N°15 se muestra la distribución de las estaciones a lo largo del área de la cuenca en estudio.

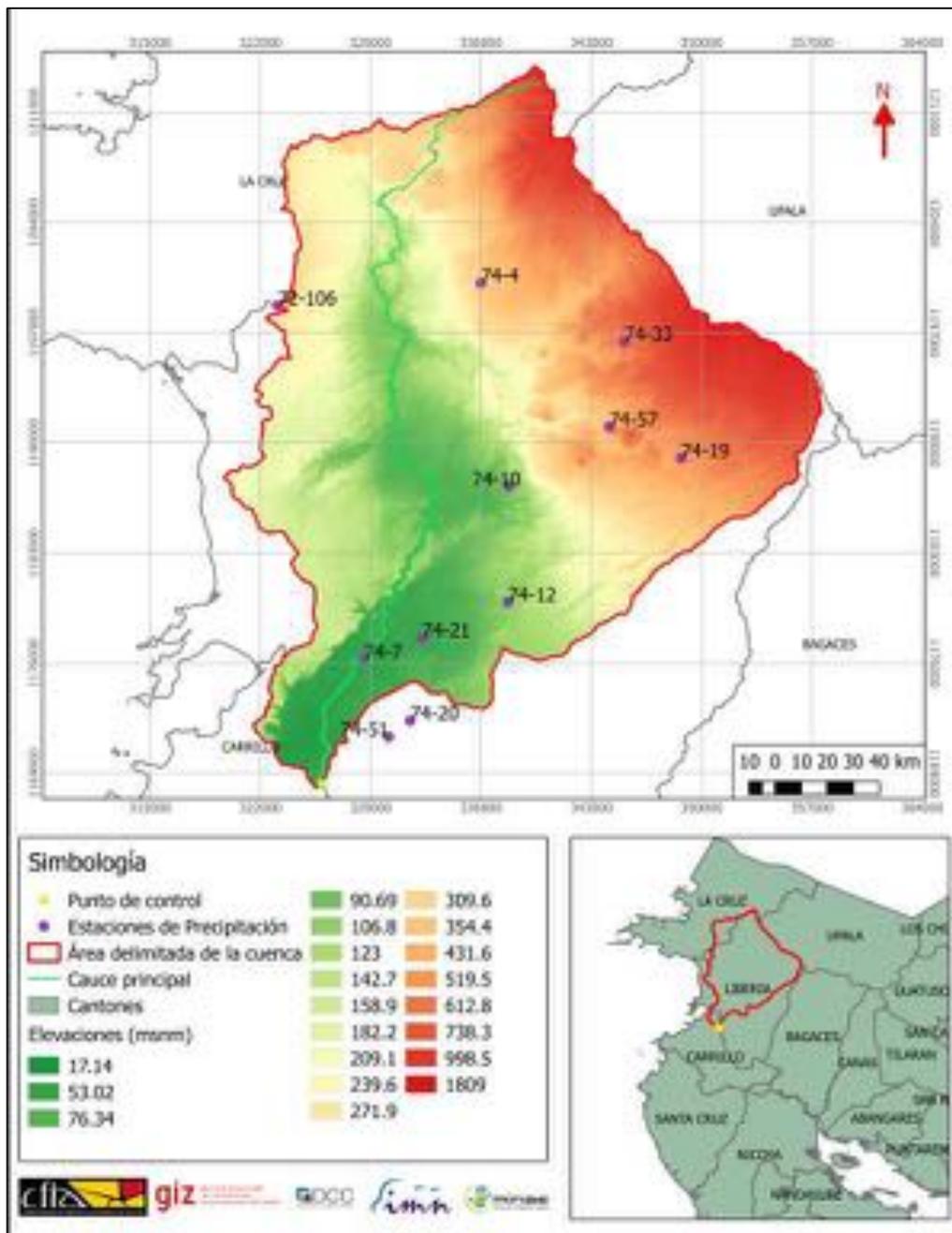


Figura 14. Ubicación de las estaciones por elevación.
Fuente: (Datos, IMN, 2018)

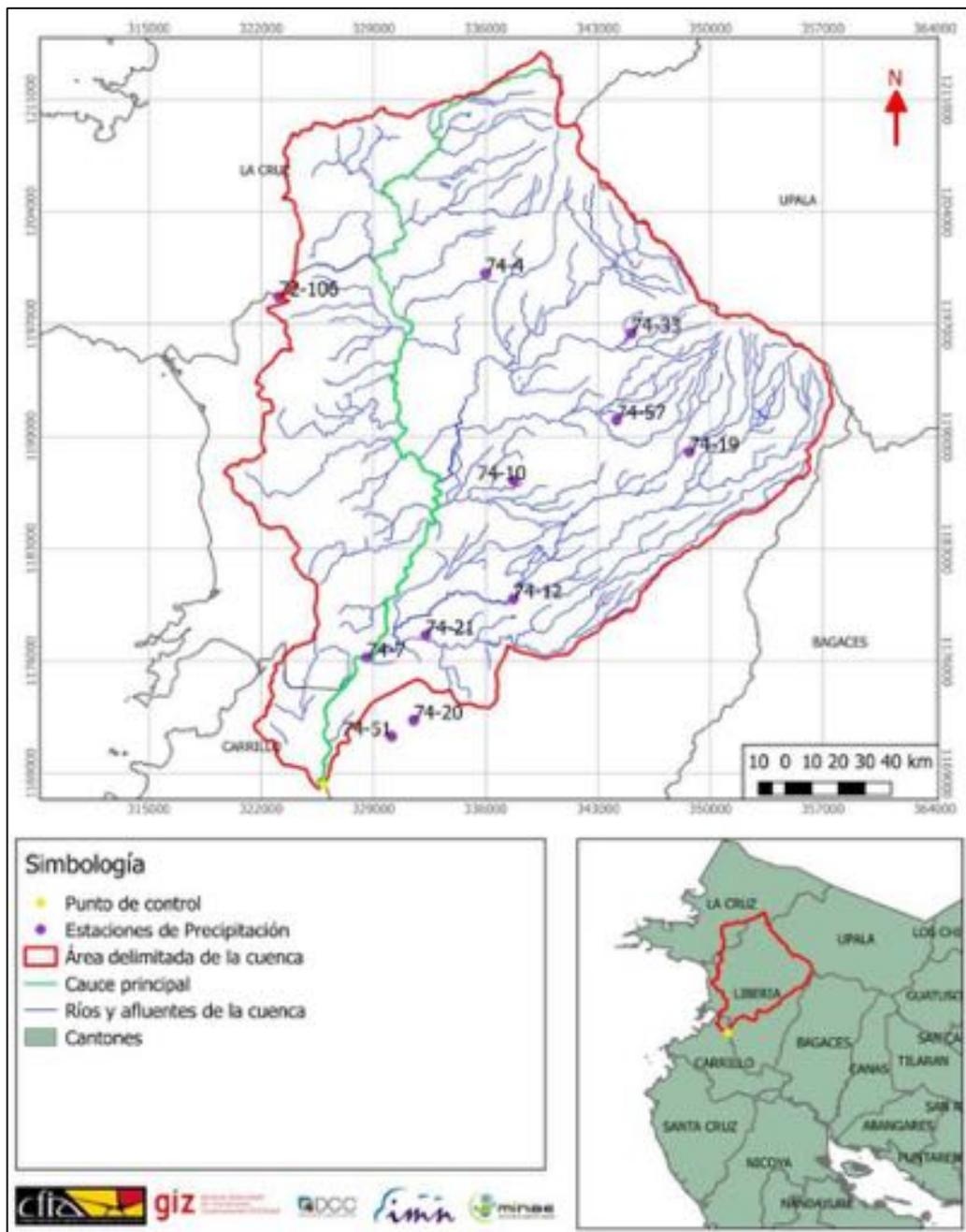


Figura 15. Ubicación de las estaciones en el sistema hidrográfico de la cuenca.
Fuente: (Datos, IMN, 2018)

3.4 Información para proyecciones climáticas

Para el análisis de la proyección climática futura de los parámetros seleccionados, se consultaron los modelos regionales desarrollados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), a partir del estudio de bases físicas (IPCC, 2013). El uso de modelos regionales se debe a la inexistencia de modelos actualizados para Costa Rica, mediante el proceso de reducción de escala (*downscaling*) dinámico con trayectorias de concentración representativas (RCP).

Con el apoyo de Climate Change Hazards Information Portal (CCHIP), se realizaron escenarios de cambio climático para la precipitación y temperatura de la estación del Aeropuerto Internacional Daniel Oduber (74-20 Estación Mecánica y 74-51 Estación Automática). Es importante señalar que, a pesar del grado de incertidumbre en los resultados, los mismos fueron tomados como referencia.

3.5 Períodos de análisis histórico y futuro

3.5.1 Período de registro histórico

La información meteorológica se obtuvo de los registros de la Estación Aeropuerto Internacional Daniel Oduber (74-20 Estación Mecánica y 74-51 Estación Automática), la cual cuenta con diferentes períodos de análisis según el parámetro a analizar. De los datos de precipitación se encuentran disponibles registros desde 1957 a 2017, mientras que para el registro de ráfagas máximas diarias data de 1988 a 2001 para la Estación 74-20 y de 2001 a 2017 en la estación 74-51.

El IMN cuenta con un registro de eventos lluviosos extremos y sus efectos, cuyos registros van desde 1949 a 2006, además se cuenta con boletines meteorológicos en edición mensual.

3.5.2 Período de registro futuro (proyecciones de cambio climático)

En la medida de lo posible, el período de análisis usado para las proyecciones futuras de los parámetros climáticos seleccionados es para 2050. Este plazo se fijó a partir del ciclo de vida de la infraestructura por decisión del equipo de trabajo.

Cabe destacar que este período, sobrepasa la vida útil de algunos componentes de la infraestructura, los cuales podrían ser sustituidos en períodos más cortos por intervenciones en el puente.

3.5.3 Proceso para la puntuación de la probabilidad actual y futura

El proceso para puntuar la probabilidad de ocurrencia de un evento climático se basa en las ocurrencias históricas, calculando la frecuencia (número de ocurrencias dentro del periodo definido como línea base para el clima actual).

La puntuación de probabilidad puede ser cuantitativa, entre 0 y 7, para los casos en los que se tengan datos y se puede obtener el valor de frecuencia. Por otro lado, la probabilidad también puede ser definida cualitativamente, bajo la premisa del criterio experto.

Para este estudio, el cálculo de la probabilidad de los parámetros climáticos considerados se realizó de manera cuantitativa, con base en los Factores de Escala de Probabilidad del Protocolo PIEVC (ver Tabla 13).

Tabla 13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0.

PIEVC Puntuación de probabilidad	Método A	Número de ocurrencias por año (rango)*
0	Insignificante / No se aplica	<0.0 % < 1 en 1.000
1	Poco probable / Improbable	1% 1 en 100
2	Remotamente posible	5% 1 en 20
3	Posible / Ocasional	10% 1 en 10
4	Algo probable / Normal	20% 1 en 5
5	Probable/ Frecuente	40% 1 en 2.5
6	Probable / Frecuente	70% 1 en 1.4
7	Muy probable / Casi certero	>99% >1 en 1.01

Fuente: PIEVC, v10.0

3.5.4 Fuentes de información de los efectos causados por los eventos extremos

Con el fin de determinar los efectos que ocasionaron los eventos extremos determinados en cada uno de los parámetros climáticos seleccionados, se procedió a revisar diferentes fuentes de información y consulta, dentro de las que se pueden citar:

1. Base de datos de desastres para América Latina y otras regiones del mundo localizable en línea en la dirección <https://desinventar.org>
2. Histórico de Desastres en Costa Rica (Febrero 1723 – Setiembre 2012), Segunda Edición, que corresponde a una publicación de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, de Costa Rica.
3. Boletines meteorológicos mensuales publicados por el IMN.
4. Fuentes de información de prensa impresa y digital.
5. Redes sociales.

3.6 Análisis de los parámetros climáticos seleccionados

Para el desarrollo de este capítulo, se tomó en cuenta la caracterización de los parámetros explicada en el Tabla N°11, definidos con base en los resultados del Taller N°2 realizado el 24 y 25 de abril de 2018.

Adicionalmente el 18 de noviembre de 2018, se realizó un taller de trabajo para validar el Paso 3 de aplicación del Protocolo, discutiendo la información que había sido recopilada en el Taller No. 2, realizado con un año de anterioridad, correspondiente al Paso 2, donde se identificaron los parámetros climáticos y los componentes de análisis de la infraestructura.

Con el fin de asegurar la mayor consistencia de los efectos de los parámetros climáticos considerados sobre los componentes del puente, se contó con la participación multidisciplinaria del equipo de trabajo, para cumplir con las siguientes consideraciones:

- Mayor comprensión de la posible afectación de los parámetros climáticos sobre los componentes de la infraestructura y sobre el personal operativo.
- Seleccionar, en la medida de lo posible, los parámetros climáticos que cuentan con datos y registros.
- Lograr asociar las magnitudes de los valores de parámetros climáticos con las cargas de diseño de los componentes seleccionados para la aplicación del protocolo en el puente.

Con base en estas consideraciones, se presenta el análisis de probabilidades tanto actuales como a futuro de cada uno de los parámetros climáticos seleccionados para este estudio.

3.7 Lluvia de inundación, acumulados mayores a 300 mm entre cinco y ocho días

3.7.1 Definición y umbral

El parámetro lluvia de inundación se definió como la ocurrencia de eventos de precipitación en la zona de estudio en los que el acumulado de precipitación entre 5 y 8 días sea mayor o igual a los 300 mm.

La definición de este umbral se tomó a partir del evento lluvioso que se presentó el 15 de octubre de 2007, fecha en la que se cuenta con evidencia de un cierre temporal del paso sobre el puente sobre la ruta 21 en Guardia, inhabilitando la operación y función de la infraestructura debido a crecidas en el cauce del río que amenazaban la integridad de la subestructura (ver Fotografía 4).

Específicamente entre el 7 y el 14 de octubre de 2007 (IMN 2007), un sistema de baja presión en el oeste del Mar Caribe, generó un temporal de grandes impactos en el Pacífico Norte y el Pacífico Central. El 15 de octubre, el río Tempisque se desbordó afectando comunidades como Guardia y Filadelfia. El puente en Guardia se vio afectado por la crecida del río y se cancelaron vuelos en el Aeropuerto Internacional de Liberia.

Mediante un video captado el 15 de octubre del 2007 en el sitio del puente, se evidenció como el agua toca la subestructura, al punto de casi sobrepasar la losa de rodamiento del puente antiguo, anexo a la estructura del puente en análisis. El video puede ser consultado a través del siguiente vínculo: <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>.

Para analizar con detalle este evento, se analizaron los datos de precipitación diaria de la Estación 74-20. En la Figura N°16, se muestra la distribución de precipitación a lo largo de octubre de 2007, así como de los meses de agosto y setiembre, considerados los más lluviosos en la zona de análisis.

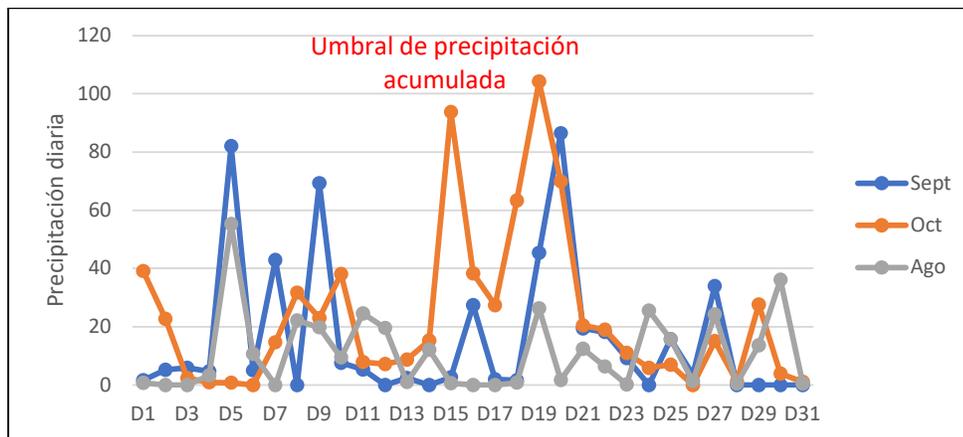


Figura 16. Precipitación diaria (mm), Estación 74-20, para agosto, setiembre y octubre de 2007.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el umbral de lluvia de inundación (acumulado de precipitación mayor o igual a 300 mm entre 5 y 8 días), se definió a partir de ese evento de referencia, en el cual incluso el 19 de octubre 2007 (ver pico en Figura N°16), en Liberia se mantenían las fuertes lluvias, las cuales reactivaron el estado de alerta, ya que para esos días las precipitaciones produjeron varias inundaciones y el aumento en el caudal de algunos ríos, incluyendo el río Tempisque. (Fuente: http://www.nacion.com/ln_ee/2007/octubre/19/pais1284124.html)

Es importante considerar que según IMN (2007), el mes de octubre de 2007 se consideró el segundo octubre más lluvioso histórico, superado únicamente por el año 1959. Varios factores atmosféricos favorecieron la persistente e intensa actividad lluviosa a lo largo del mes en el Pacífico Norte, dentro de los que se pueden mencionar:

- a. La presión atmosférica estuvo muy por debajo de sus valores promedio por lo que los vientos del oeste fueron persistentes, aumentando la humedad atmosférica sobre el país.
- b. El dipolo de temperaturas, por un lado, el océano Pacífico estuvo frío debido al fenómeno "La Niña" y por el otro, el Mar Caribe estuvo cálido, lo que favoreció una mayor actividad lluviosa.
- c. Un sistema de baja presión sobre Belice y la tormenta tropical Noel que generaron condiciones de temporal sobre el país durante gran parte de octubre.
- d. La oscilación de Madden-Julian, en su fase divergente, predominó durante la mayor parte del mes.

3.7.2 Análisis de probabilidad

3.7.2.1 Probabilidad actual

Tras el análisis del evento del 15 de octubre de 2007 que generó la crecida de referencia en el cauce del río Tempisque, se examinaron los registros de las estaciones de consulta, las cuales se encuentran ubicadas a lo largo del área de la cuenca, con el fin conocer la existencia de umbrales y acumulados de precipitación según las especificaciones del parámetro climático, investigando además si hubo relación con afectación a la infraestructura del puente debido a crecidas del río Tempisque.

Por otro lado, es importante conocer la relación de estos eventos con fenómenos meteorológicos específicos, para poder así proyectar los efectos del cambio climático sobre estos fenómenos, con el objetivo de analizar a futuro, la posible afectación sobre la infraestructura actual o bien sobre un nuevo diseño, con el fin de tomar medidas para generar resiliencia.

Con el fin de tener una percepción de la variabilidad anual de la precipitación en la Estación 74-20, en la Figura N°17 se muestran los acumulados anuales de precipitación. Con base en los resultados se analizaron años análogos al 2007, pues octubre corresponde junto con setiembre a los meses más lluviosos en la zona.

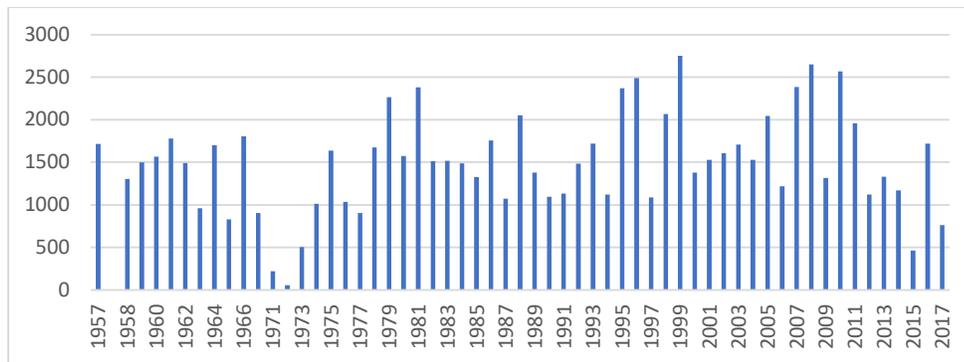


Figura 17. Precipitación acumulada anual (mm) para la Estación 74-20.

Fuente: Elaboración propia.

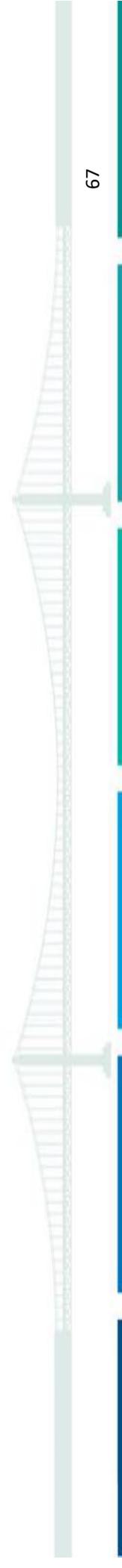
De acuerdo con la metodología de evaluación de años análogos, se procedió a revisar como referencia los datos de las estaciones descritas en el Tabla N°12. Sin embargo, para efectos de determinar la frecuencia para el cálculo de la probabilidad en este estudio, como se indicó antes, solamente se procesan los datos de la Estación 74-20, ya que el resto de las estaciones no cuentan con los mismos períodos de registros. En la Tabla N°14 se muestra una ficha técnica de descripción de los eventos que cumplen con el umbral de 300 mm de precipitación entre 5 y 8 días. En el Anexo N°11, se presenta la descripción documentada de los efectos de eventos climáticos que han ocasionado algún efecto a la altura del puente.

Tabla 14. Eventos de precipitación de inundación, referencia y efectos.

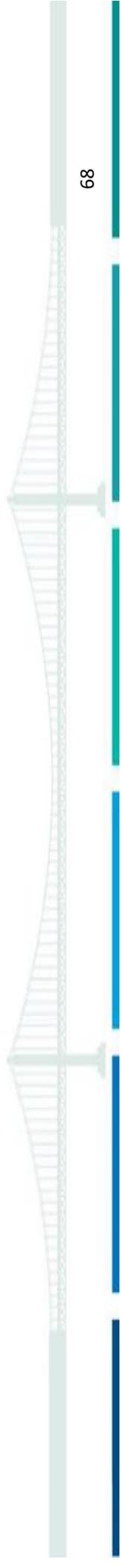
Año	Mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Eventos Relacionados			ENOS
					Ciclón Tropical	Otro evento	Efectos	
1981	Junio	01	05	303,1		Sistema de baja presión que se mantuvo estacionaria sobre el Mar Caribe frente a la costa norte de Costa Rica	Del 30 de mayo al 08 de junio se registró un temporal sobre la vertiente Pacífica, como consecuencia se generaron crecidas y desbordamientos en algunos ríos de Guanacaste debido a la saturación del suelo después de una semana de lluvias continuas. (Fuente: Bolefín Meteorológico IMN- Junio 1981)	Niña débil
1982	Mayo	22	27	328,6		Sistema de baja presión en el Golfo de Honduras	Del 22 al 29 de mayo se registró un fuerte temporal en todo el Pacífico afectando en mayor grado a Guanacaste. En Filadelfia el río Tempisque se desbordó, amenazando con aislar al caserío de Bolsón. (Fuente: Bolefín Meteorológico IMN- Junio 1982, periódico La Nación / 27-5-82/ P-4A)	Transición de Niña débil a Niño Fuerte
1986	Mayo	23	30	463,6		Sistema de baja presión sobre la costa Caribe de Honduras	Temporal, que generó crecidas en el río Tempisque, no se reportan desbordamientos. (Fuente: La Nación/Nacionales/28-5-86/P-12A	Paso de Niña débil a Niño Moderado a finales de año

1986	Junio	03	07	361,4		Succión de masas de aire húmedo desde el Pacífico hasta el Atlántico	Temporal y fuertes lluvias generaron desbordamiento del río Tempisque Guinea (59 personas evacuadas en La Guinea). Daños a las plantaciones de caña de azúcar. (Fuente: La Nación/7-6-86/	Paso de Niña débil a Niño Moderado a finales de año
1995	Octubre	03	08	311,4	<p>Huracán Opal Evolución Set-27 - Depresión Tropical Oct-3 -Huracán</p> <p>Huracán Roxana Evolución Oct-7-9 - Depresión Tropical No.9 Oct-9 - Tormenta Tropical Oct-10 – Huracán</p>	<p>Aguaceros que provocaron inundaciones debido a la fuerte inestabilidad atmosférica originada por el Huracán Opal, esto altera la posición habitual de la Zona de Confluencia intertropical (ZCIT). En Guanacaste un sistema de baja presión al noroeste de Nicaragua generó un temporal los días 05, 06 y 07 de octubre catalogado como el más intenso desde 1960.</p> <p>El día 08 de octubre el sistema de baja presión alcanzó el grado de depresión tropical, el 09 octubre se convirtió en Tormenta Tropical, para transformarse en Huracán Roxana el 10 octubre.</p> <p>Se requirió refugiar personas en Filadelfia, se presentaron afectaciones en carreteras y puentes. (Fuente: La Nación/EI País/8-10-95/P-4-5-6 A Boletín Meteorológico IMN-Octubre 1995</p>	Niña Moderada	

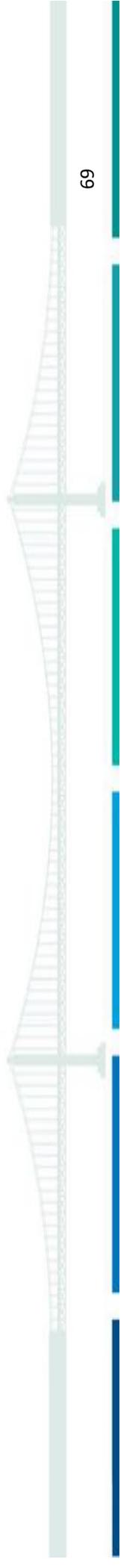
1999	Septiembre. I	13	17	459,5	<p>Huracán Floyd Evolución 7-Set al 17-Set</p>	<p>Temporal debido al efecto del Huracán Floyd a partir del día 14 setiembre, provocando desbordamiento del río Tempisque, deslizamientos sobre Carretera Interamericana, la estación Liberia reporta en un solo día 203 mm. Las zonas inundadas se mantuvieron entre los días 16 y 17 setiembre, con afectación en el poblado de Filadelfia. Antes de este huracán ya la región había percibido las lluvias del Huracán Dennis y la séptima tormenta tropical de la temporada. (Fuente: La Nación/Sucesos/15-9-99/P- 10A/ Al Día/Sucesos/16-9-99/P-11 / Al Día/Sucesos/16-9-99/P-10 / Boletín Meteorológico IMN- Setiembre 1999</p>	Niña Fuerte
------	------------------	----	----	-------	---	--	-------------



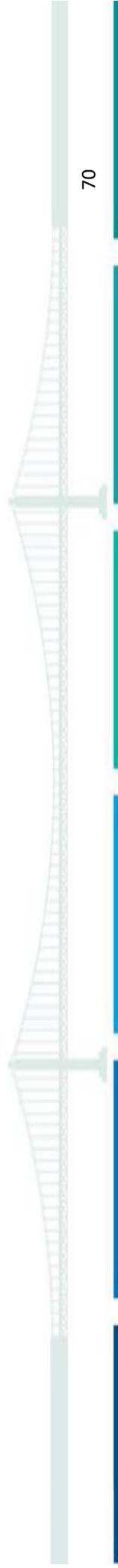
1999	Septiembre. II	26	30	543,8	Sistema de baja presión en el Mar Caribe	El temporal inicia desde el día 25 de septiembre, los aguaceros de mayor intensidad se presentaron en Guanacaste y San Carlos. Lo que provoca estos temporales es un sistema de baja presión en el Caribe que se fue desplazando muy lentamente hacia México. Para el día 26 de septiembre se supera el récord histórico de precipitación según lo registrado en la estación de Liberia. En Guanacaste se habilitaron Refugios donde se albergó a 1270 personas, se registraron 173 casas afectadas y 31 puentes afectados. Por el Desborde del río Tempisque se ven afectados los poblados de la Palma y Filadelfia, entre otros. (Fuente: La República/Sucesos/1y2-10-99 / P-8A/ Boletín Meteorológico IMN-Septiembre 1999	Niña Fuerte
------	-------------------	----	----	-------	--	---	-------------



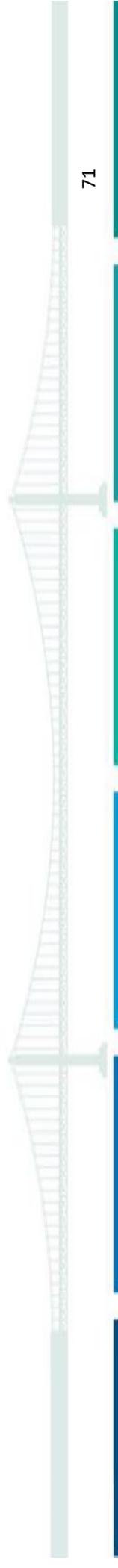
2000	Septiembre- Octubre	28	01	300,1	Huracán Keith	<p>Tercer huracán más intenso de la temporada de huracanes del año 2000. El 28 de setiembre se desarrolló como una tormenta tropical, el 29 de setiembre como tormenta tropical, y se intensifica a huracán categoría 4 el 30 de setiembre. Este fenómeno provocó un temporal que se prolongó durante 3 días en Guanacaste, acumulando cantidades de lluvia de hasta 200 mm por encima del promedio del mes. En esta zona del país, la mayor parte de los ríos crecieron o se desbordaron. Boletín Meteorológico IMN- Setiembre - Octubre 2000.</p>	Niña Débil
------	------------------------	----	----	-------	---------------	---	------------



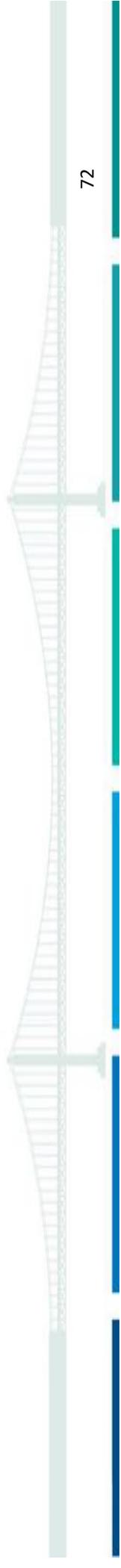
2005	Septiembre	21	25	356,8	Huracán Rita Evolución 17-Set al 25-Set	La duración del temporal fue entre los días 19 y 25 del mes, para una duración de 6 días donde se presentó la mayor cantidad de lluvias registrada en el mes, según la estimación satelital de lluvia en esta zona se presenta un acumulado entre los 200 y 300 mm. El temporal fue ocasionado por la intensificación de las corrientes monzónicas asociadas a la gran circulación ciclónica asociada con el huracán Rita y a la Zona de Convergencia Intertropical. En Filadelfia de Carrillo en Guanacaste se realizaron evacuaciones debido al crecimiento del río Tempisque. Bolefin Meteorológico IMN- Septiembre 2005	Paso de Niño a Niña débil
------	------------	----	----	-------	---	---	------------------------------



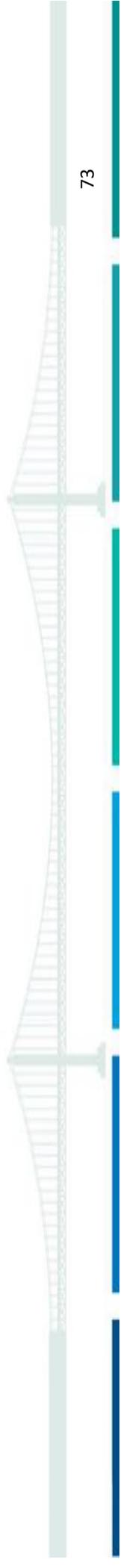
2007	Octubre	15	19	358,2	Sistema de baja presión	<p>El sistema de baja presión afectó al país del 7 al 14 de octubre, generando un temporal de grandes impactos en el Pacífico Norte y el Pacífico Central. Esto provocó uno de los meses de octubre más lluviosos de los últimos años en Liberia. El 15 de octubre, el río Tempisque se desborda afectando a comunidades como Guardia y Filadelfia, el Puente en Guardia se ve afectado por la crecida del río, además se cancelaron vuelos en el Aeropuerto de Liberia. La afectación del temporal fue a lo largo de todo el país con víctimas mortales, afectación en varios puentes y carreteras, además de caídas de diques. Bolefin</p> <p>Meteorológico IMN-Octubre 2007</p>	Niña Fuerte
------	---------	----	----	-------	-------------------------	--	-------------



2008	Septiembre	2	6	335,2	<p>Huracán Hanna Evolución 28-Agos Tormenta tropical 04-set Huracán</p> <p>Huracán Ike Evolución 28-Agos Onda tropical 01 -set Depresión tropical 03- set Huracán</p>	<p>El Huracán Hanna produjo un severo temporal en el Pacífico Norte, especialmente en Guanacaste, entre el 02-05 de septiembre. Con acumulados de precipitación en Liberia de 184 mm y 121 mm para los días 3 y 4. Los efectos climáticos se sintieron con mayor intensidad en Guanacaste principalmente en los poblados de La Cruz, Santa Cruz, Liberia y Nicoya. Los efectos sobre el país fueron provocados por una combinación de los ciclones donde la mayor afectación fue de Hanna e Ike. Boletín Meteorológico IMN- Septiembre 2008</p>	Niña Fuerte
------	------------	---	---	-------	---	---	-------------



2008	Octubre	12	16	370,8	Depresión tropical No. 16	La depresión tropical No. 6 ocasionó condiciones de temporal en el litoral Pacífico del 13 al 17 de octubre, el sistema indujo un aumento en las precipitaciones desde que era un sistema de baja presión. Se reportaron 486 comunidades afectadas con inundaciones, deslizamientos, afectación en puentes, carreteras, infraestructura y otros. Boletín Meteorológico IMN- Octubre 2008	Niña Fuerte
------	---------	----	----	-------	---------------------------	--	-------------



2017	Octubre	2	6	485	Tormenta Tropical Nate	<p>En la primera semana de octubre se formó la tormenta tropical Nate, la cual posteriormente se intensificaría a huracán, el 07 de octubre en el golfo de México. Sin embargo, antes de llegar a intensificarse como tormenta tropical, siendo todavía depresión tropical (la número 16 de la temporada de huracanes), dejó abundantes precipitaciones en el país, ocasionando un fuerte temporal a lo largo de la Veriente del Pacífico y el Valle Central</p> <p>Entre la noche del 04 de octubre y madrugada del 05 de octubre, fue cuando mayor cantidad de lluvia cayó, coincidiendo con el período en que Nate se intensificó de depresión tropical a tormenta tropical. En ese período se registraron lluvias de 301.4 mm en Liberia.</p> <p>Los daños ocasionados por este sistema lo convierten en uno de los más dañinos que se han registrado en Costa Rica en la última década, incluso por encima del huracán Otto en noviembre de 2016. Bolefín Meteorológico IMN-Octubre 1999</p>	Niña débil
------	---------	---	---	-----	------------------------	---	------------



Como se indicó anteriormente, el proceso de investigación para definir los eventos de precipitación que cumplen con el umbral establecido, se basó en 11 estaciones meteorológicas (Tabla N°12) para un período estándar de 37 años (de 1980 a 2017). En la Tabla N°15 se muestra el listado de las estaciones con los respectivos valores de precipitación para los casos en los que se alcanzó el valor del umbral, tomando como referencia los datos de la estación 74-20 para el estudio. En las celdas en color rojo se muestran las fechas sin registro, en color amarillo, los registros con una magnitud de precipitación acumulada menor a la establecida en el umbral, y en color verde, aquellos que cumplen con la magnitud de precipitación acumulada establecida en el umbral.

Tabla 15. Registros de los eventos de precipitación por estación meteorológica.

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	-	-	-	-	-

Fuente: IMN y elaboración propia.

De acuerdo con los registros de la estación meteorológica 74-20, el umbral de precipitación de inundación se ha presentado 13 veces en 37 años (1980 y 2017). Para la mayoría de estos eventos se tiene evidencia documental de algún tipo de afectación sobre la infraestructura del puente.

En la Figura N°18, se presenta un gráfico de distribución de los acumulados de precipitación de los eventos significativos, específicamente para la Estación 74-20, la cual fue la utilizada para el proceso de investigación.

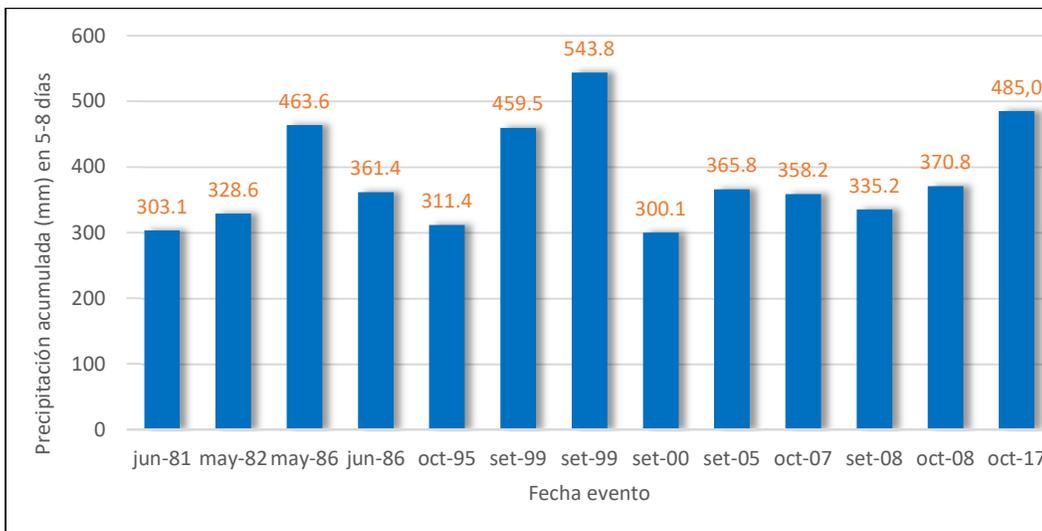


Figura 18. Acumulados de precipitación ≥ 300 mm en cinco a ocho días continuos. Estación 74-20.

Fuente: IMN y elaboración propia.

De los resultados se determinó que los meses con mayor cantidad de eventos son setiembre y octubre que suman un total de 9 eventos. La mitad de los eventos se registraron entre la tercera década de setiembre y la segunda década de octubre, los restantes eventos se presentan entre mayo y junio, con dos eventos en cada mes, los cuales se registraron en la década entre 1980-1990.

En el 54% de los casos, la causa del evento se debió a los efectos de ciclones tropicales (en diferentes categorías) y el restante 46% a sistemas de baja presión, haciendo hincapié en que los ciclones tropicales se originan de sistemas de baja presión.

Según los registros de los eventos identificados para el presente estudio (Tabla N°14), en su totalidad estos se presentaron durante fases de La Niña, sin considerar la intensidad o bien si en el año se presentó una transición. Sin embargo, es importante mencionar que los eventos de mayor acumulado de lluvia se presentaron durante fases de La Niña fuerte.

De acuerdo con IMN (2008) específicamente en la región del Pacífico Norte de Costa Rica, durante los meses de setiembre y octubre se produce el mayor aporte de lluvia, el cual está asociado a una mayor influencia de eventos ciclónicos, además durante este mismo período, la fase fría o La Niña, tiene un 60% de probabilidad de producir un escenario lluvioso en la región.

Por otro lado, según Retana y Solano (SF), en la región de estudio, durante la fase fría de La Niña, existe una tendencia general a que el acumulado de las lluvias al final del año excedan el promedio histórico, siendo que el exceso tiene altas probabilidades de presentarse entre los meses de setiembre y octubre. Otra característica importante del comportamiento de las precipitaciones en esta región durante años La Niña, es la alta incidencia de inundaciones. Un análisis de estos eventos en la Región Chorotega desde 1949 hasta 1999, revela que el 71% de los casos de las inundaciones registradas, corresponde a años La Niña. En cuanto a los meses donde se presentan más recurrentemente este tipo de fenómenos, se encuentra que el 50% de los casos de inundación en estas zonas, se dan durante el mes de octubre tal y como se presenta en la Figura N°19.

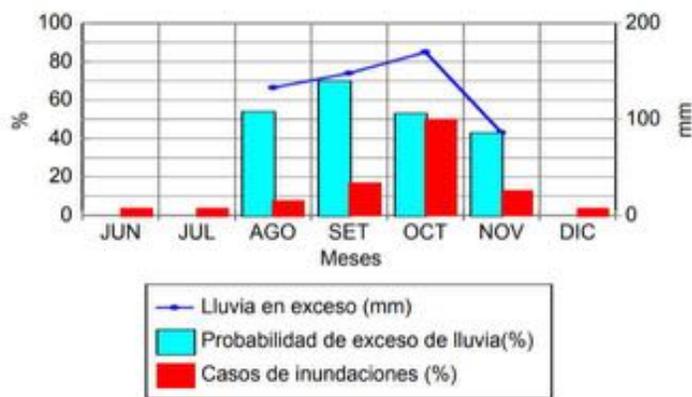


Figura 19. Inundaciones en la región Chorotega durante años con influencia del fenómeno La Niña.
Fuente: Retana y Solano, SF.

De los eventos de inundación analizados en el estudio de Retana y Solano (SF), los mismos se presentaron entre los meses de setiembre, octubre y noviembre, el mayor número de casos se da entre la tercera década de setiembre y la primera década de noviembre. A pesar de que setiembre es el mes que presenta mayor probabilidad de tener excesos de precipitación durante años La Niña.

En Costa Rica, los tres fenómenos océano-atmosféricos que causan mayor impacto por lluvias son los sistemas de bajas presiones, el impacto indirecto de huracanes del Caribe y los frentes fríos. Cada uno de estos tres eventos tiene un espacio geográfico de afectación, mientras que los frentes fríos impactan sobre las regiones Norte y Caribe y ocasionalmente la Central, los sistemas ciclónicos que se producen en el Caribe (desde bajas presiones, tormentas tropicales y huracanes tropicales) normalmente impactan sobre el litoral Pacífico de Costa Rica, los sistemas de bajas presiones, pueden presentarse tanto en el mar Caribe como en el Océano Pacífico, afectando a las vertientes correspondientes (IMN, 2008 y Retana, 2012).

En la Tabla N°16 se presentan algunas estadísticas de estos tres fenómenos que generan eventos lluviosos extremos.

Tabla 16. Características de eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos.

Fenómeno	Número de eventos promedio por año	Aporte de lluvia con relación al promedio anual (%)	Meses de mayor frecuencia	Regiones climáticas más afectadas	Tiempo de afectación promedio (días)
Frente frío	4	3,4	De diciembre a enero	Caribe, región Norte y valle Oriental	2,8
Baja presión	2	4,9	De abril a noviembre	Pacífico Norte, Pacífico Central, valle Occidental	2,9
Huracán tropical del Caribe	1	6,5	De septiembre a noviembre	Pacífico Central, Pacífico Norte y región Norte	4,0

(Fuente: Retana, 2012)

De acuerdo con Benichevich y Lizano (1998), en años precedentes a La Niña o años Niña, se da una intensificación de la actividad ciclónica en el Caribe y una desactivación en el Pacífico oriental. Estos hechos están principalmente correlacionados a la temperatura superficial del océano y a la dirección de los ciclos convectivos de los vientos.

Respaldando lo anterior, Goldenberg y Shapiro (1996), Bell y Chelliah (2006) citados por Sáenz y Durán (2015); entre otros, determinaron una disminución en la intensidad de los ciclones del Atlántico durante los eventos cálidos de El Niño.

Otro hallazgo, en ese mismo sentido, corresponde al estudio realizado por Alfaro y Quesada (2010) en el que se determinó que de los 344 ciclones tropicales observados durante 1948-2007, los años en los que se presentaron pocas ocurrencias (1 o 2) o bien nulas, fueron identificados en fases cálidas de El Niño.

Considerando que los ciclones tropicales, en el área de estudio son generadores de aumento en las lluvias, es importante recalcar lo establecido en la investigación de Alfaro, Quesada y Solano (2010) sobre los impactos específicos para Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007, pues según citan a Taylor y Alfaro, 2005; Alvarado y Alfaro, 2003 y Lizano, 1996; el impacto de un ciclón en las comunidades en Costa Rica no está necesariamente relacionado con su intensidad, sino que también está en función de su posición y permanencia en la cuenca del Mar Caribe con respecto al sitio de interés o velocidad de avance. Un ejemplo de ello fue la depresión tropical N°16 en el año 2008 que ocasionó condiciones de fuerte temporal en el litoral Pacífico del 12 al 17 de octubre, donde se reportaron muchas comunidades afectadas con inundaciones, principalmente en la provincia de Guanacaste, evento que está contabilizado en el análisis de probabilidad actual.

Por otro lado, Alfaro y Quesada (2010) con los registros de la base de datos HURDAT, realizaron un análisis de tendencia de las series anuales de ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y de los que tuvieron una trayectoria cerca de las costas del istmo centroamericano (radio de 7 grados), para el periodo 1948-2007. Dentro de los resultados se determinó que no hay evidencia estadística suficiente, para afirmar que el número total de ciclones tropicales está aumentando tanto en el Mar Caribe como cerca del istmo. Lo anterior concuerda con lo hallado por el IPCC (2007) que indica que no hay una clara tendencia en el número anual de ciclones tropicales. Por su parte, Landsea et al. (2010), señalan que el periodo y el área de estudio elegidos pueden ser aspectos importantes en la detección de tendencias a largo plazo en la actividad anual de los ciclones tropicales. Por otro lado, diferentes estudios han determinado que si bien no se ha percibido un cambio en la frecuencia de huracanes en el Atlántico, sí existe una tendencia creciente en la magnitud de la intensificación rápida de los huracanes al menos en el Atlántico Centro-Este, en las últimas tres décadas (Elsner et al., 2008; Emanuel (2005); Knutson et al. (2010); Sobel et al. (2016); Webster et al.(2005) citados por Balaguro et. al. (2018); Emanuel (2017)).

En la Figura N°20 se muestra la trayectoria de ciclones tropicales en la cuenca del Mar Caribe para el periodo 1842-2017.



Figura 20 Trayectoria Histórica de Huracanes en el Mar Caribe 1842-2017.

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Historic Hurricanes. <https://coast.noaa.gov/hurricanes/>

Con respecto a la frecuencia mensual de ocurrencia de ciclones tropicales cerca de la costa Caribe de América Central (Figura N°21), se observa una distribución bimodal con un máximo relativo en junio y otro absoluto en setiembre. Además, se nota que durante el trimestre de agosto-setiembre-octubre, es cuando es más probable (70%) encontrar ciclones tropicales, lo que coincide también con los meses de mayor frecuencia de ciclones tropicales en el Caribe (Taylor y Alfaro, 2005 citados por Alfaro y Quesada, 2010). Esta figura muestra también una disminución de los ciclones tropicales cercanos al istmo durante el mes de julio, lo cual podría explicarse con el aumento del cortante vertical del viento provocada por la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe, que tiene su máxima intensidad también durante el mes de julio (Amador, 2008 citados por Alfaro y Quesada, 2010), específicamente durante la sequía de medio año o canícula.

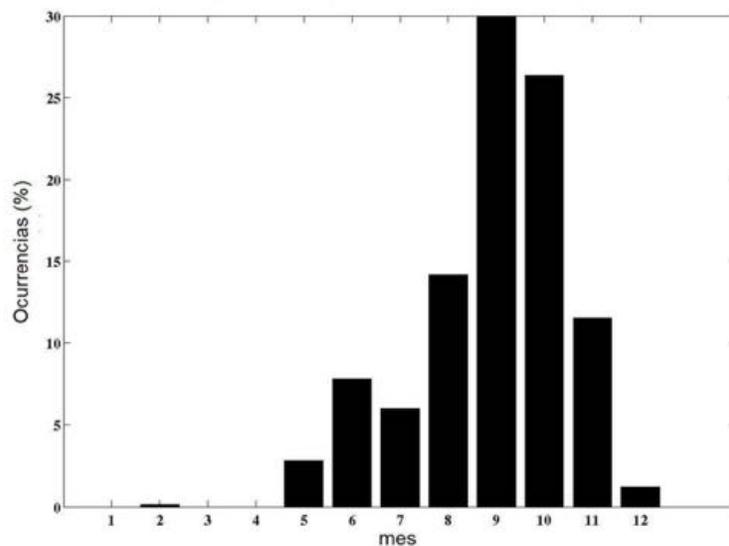


Figura 21. Porcentaje mensual del número total de posiciones de ciclones tropicales en un radio de 7° a partir de algún punto de la costa Caribe de América Central. Período 1948-2007.

Fuente: Alfaro y Quesada, 2010

Continuando con el análisis de las evidencias de eventos lluviosos extremos, en la Figura N°22, se observa el historial del número de días por año, en los que la precipitación diaria de la Estación 74-20 fue igual o superior a los 100 mm. Se puede observar una línea de tendencia positiva, lo que implica un aumento en el número de días con acumulados superiores a 100 mm a lo largo del período de análisis comprendido entre 1957 y 2017.

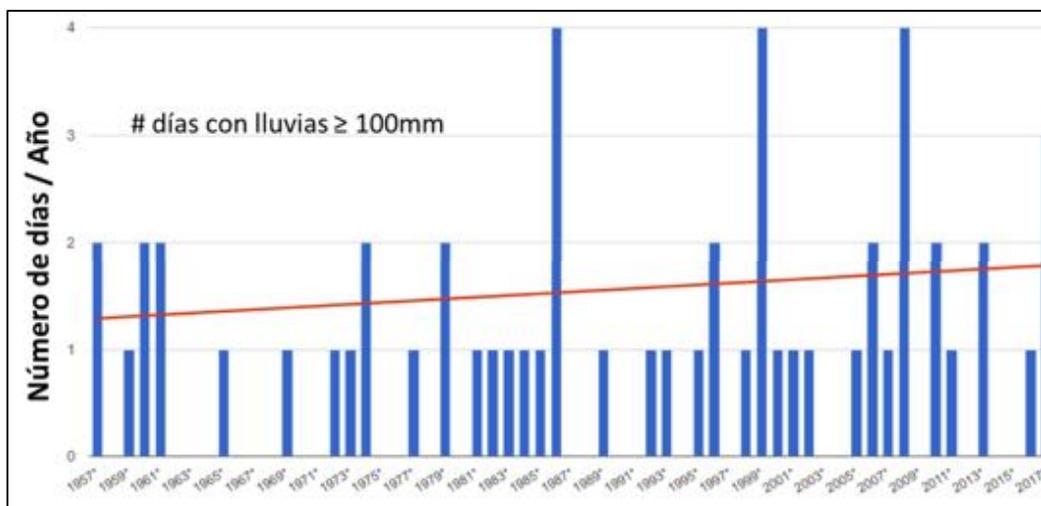


Figura 22. Número de días por año con precipitaciones ≥ 100 mm. Estación meteorológica 74-20 (AIDO). Años (*) implican series incompletas.
Fuente: IMN

En la Tabla N°17 se muestran los datos de precipitación diaria mayores o iguales a 100 mm para la Estación 74-20 (AIDO), incluyendo fecha de ocurrencia y período de retorno. De los registros se puede determinar la variabilidad de los datos de precipitación, considerándose eventos extremos que van desde los 2 años de probabilidad de ocurrencia hasta 100 años.

Tabla 17. Datos de precipitación ≥ 100 mm. Estación 74-20 (AIDO).

Año	Mes	Día	Lluvia	TR
1999	9	30	294.30	112
2017	10	4	252.60	43
1959	10	17	231.10	26
1986	5	26	203.00	14
1979	9	10	196.70	12
1999	9	14	194.90	12
2008	9	3	184.20	9
2000	9	28	173.70	7
2002	5	25	163.30	6
1957	8	4	152.40	5
1957	5	13	150.50	5
1979	6	5	148.90	4
2017	10	5	148.60	4

Tabla N°17 (cont.). Datos de precipitación ≥ 100 mm. Estación 74-20 (AIDO)

Año	Mes	Día	Lluvia	TR
2011	10	10	145.50	4
2013	6	5	144.70	4
2001	11	1	144.40	4
1986	6	4	140.90	4
1982	5	23	139.60	4
1986	5	27	137.70	4
2005	9	22	133.00	3
2013	8	16	133.00	3
2010	8	20	127.80	3
1983	9	4	127.30	3
1961	11	5	127.20	3
1996	5	14	125.30	3
1960	10	28	124.20	3
1995	10	6	123.70	3
1974	9	8	123.10	3
2008	9	4	121.10	3
1960	7	15	120.00	3
2008	10	15	119.70	3
1992	9	27	119.60	3
2016	11	24	117.10	2
1998	11	2	116.00	2
2006	6	6	115.70	2
1993	9	15	114.70	2
2006	10	22	114.70	2
1986	6	5	113.70	2
2017	5	8	111.60	2
1981	6	1	110.60	2
1999	9	16	110.50	2
1999	9	15	109.80	2
1961	11	6	106.70	2
1996	7	28	106.60	2
2007	10	19	104.20	2
1985	10	30	103.50	2
1989	5	24	102.30	2
1984	9	21	101.90	2
1977	9	24	101.40	2
2010	4	27	100.5	2
2008	8	28	100.3	2

En la Tabla N°18 se presentan los datos de precipitación por duración y periodo de retorno, en donde los datos se obtienen como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable en 24 horas para cada periodo de retorno, con una diferencia porcentual de este valor según los tiempos de lluvia adoptados, de acuerdo con la metodología expuesta por D.F. Campos A. 1978.

Tabla 18. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias (Período 1957-2017).

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	122.71	167.28	196.80	234.09	261.75	289.21	352.66
18 hr	X18 = 91%	111.67	152.23	179.09	187.27	238.19	263.18	320.92
12 hr	X12 = 80%	98.17	133.83	157.44	187.27	209.40	231.37	282.13
8 hr	X8 = 68%	83.44	113.75	133.82	159.18	177.99	196.66	239.81
6 hr	X6 = 61%	74.85	102.04	120.05	142.79	159.67	176.42	215.13
5 hr	X5 = 57%	69.94	95.35	112.17	133.43	149.20	164.85	201.02
4 hr	X4 = 52%	63.81	86.99	102.33	121.73	136.11	150.39	183.39
3 hr	X3 = 46%	56.45	76.95	90.53	107.68	120.41	133.04	162.23
2 hr	X2 = 39%	47.86	65.24	76.75	91.29	102.08	112.79	137.54
1 hr	X1 = 30%	36.81	50.19	59.04	70.23	78.53	86.76	105.80

Fuente: Elaboración propia con datos de IMN

En la Figura N°23 se muestran las Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (CIDF) de la Estación 74-20 (AIDO), para un período máximo de una hora, actualizadas con período de 1957 a 2017, y en la Tabla N°19 los datos específicos.

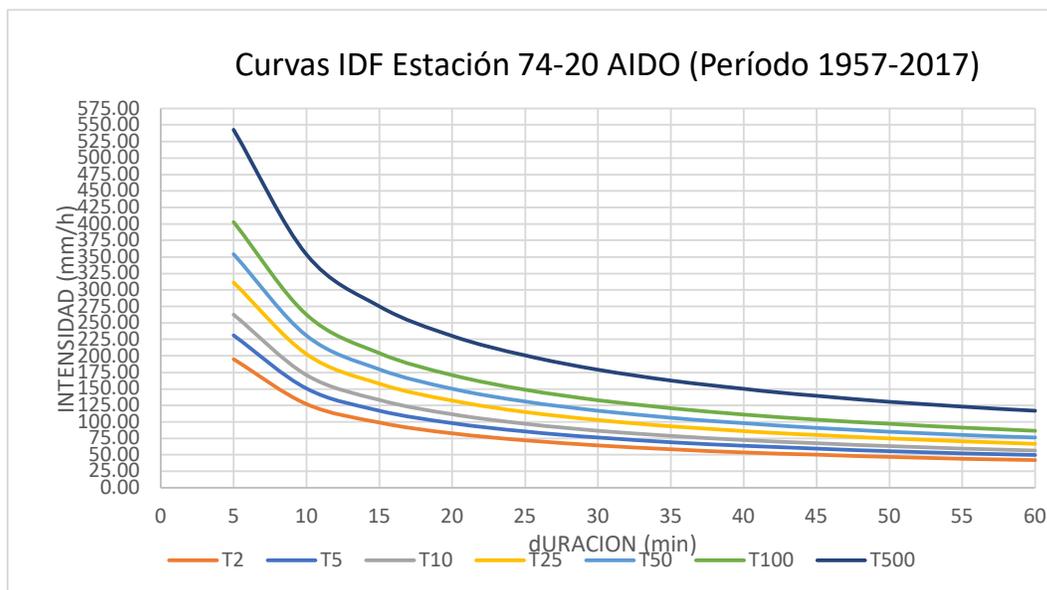


Figura 23. Curvas IDF. Estación 74-20 (AIDO) actualizadas a 2017.

Fuente: Elaboración propia con datos de IMN

Tabla 19. Datos de intensidades y períodos de retorno (Período 1957-2017).

TR años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	194.90	126.92	98.75	82.65	71.99	64.31	58.46	53.82	50.04	46.88	44.19	41.88
5	231.01	150.43	117.05	97.96	85.33	76.22	69.29	63.79	59.31	55.56	52.38	49.63
10	262.72	171.08	133.11	111.40	97.04	86.68	78.79	72.55	67.45	63.19	59.57	56.45
25	311.40	202.78	157.78	132.05	115.02	102.74	93.40	85.99	79.94	74.90	70.61	66.91
50	354.13	230.61	179.43	150.17	130.80	116.84	106.21	97.79	90.91	85.18	80.30	76.09
100	402.73	262.25	204.05	170.78	148.75	132.88	120.79	111.21	103.39	96.86	91.32	86.53
500	542.86	353.50	275.06	230.20	200.51	179.11	162.82	149.90	139.37	130.57	123.09	116.64

Fuente: Elaboración propia con datos de IMN

Para analizar el comportamiento de la intensidad de lluvia se realizaron CIDF para el período 1957-1990, en la Tabla N°20 se muestran los datos de la precipitación máxima, por tiempos de duración y en la Figura N°24 el gráfico de las CIDF, mientras que en la Tabla N°21 se presentan las intensidades de lluvia y períodos de retorno.

Tabla 20. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias (Período 1957-1990).

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24	X24	117.80	158.44	185.36	219.36	244.58	269.62	327.48
18	X18 = 91%	107.20	144.18	168.67	175.49	222.57	245.35	298.01
12	X12 = 80%	94.24	126.76	148.28	175.49	195.67	215.70	261.98
8	X8 = 68%	80.10	107.74	126.04	149.16	166.32	183.34	222.69
6	X6 = 61%	71.86	96.65	113.07	133.81	149.19	164.47	199.76
5	X5 = 57%	67.15	90.31	105.65	125.03	139.41	153.68	186.66
4	X4 = 52%	61.26	82.39	96.38	114.07	127.18	140.20	170.29
3	X3 = 46%	54.19	72.88	85.26	100.90	112.51	124.03	150.64
2	X2 = 39%	45.94	61.79	72.29	85.55	95.39	105.15	127.72
1	X1 = 30%	35.34	47.53	55.61	65.81	73.37	80.89	98.24

Elaboración propia con datos de IMN

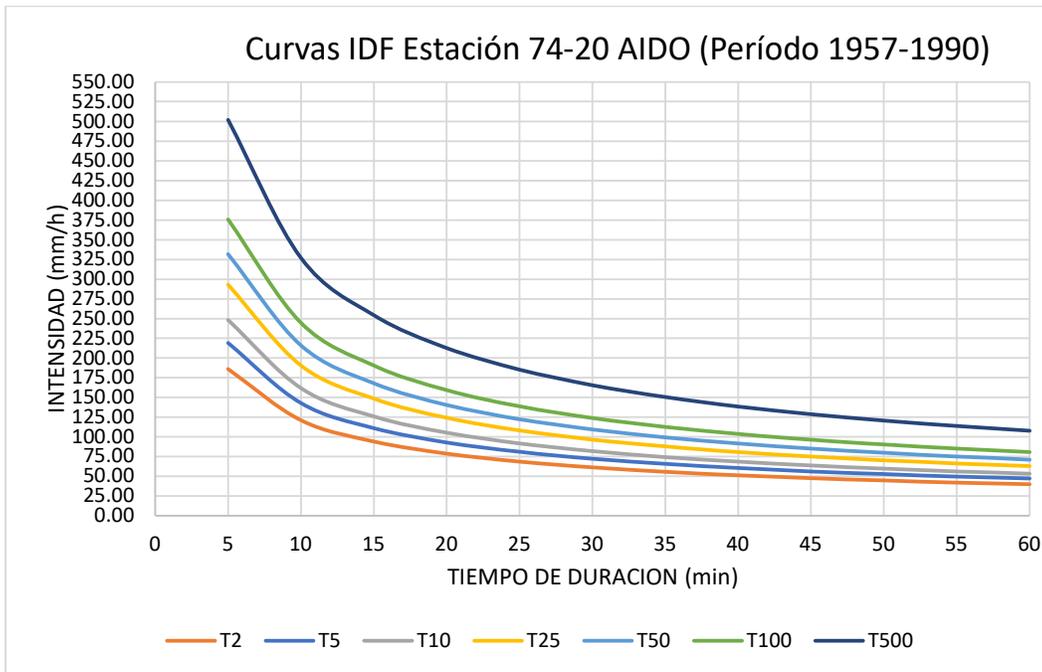


Figura 24. Curvas IDF. Estación 74-20 (AIDO) actualizadas a 1990.
Fuente: Elaboración propia con datos de IMN

Tabla 21. Datos de intensidades y períodos de retorno (Período 1957-1990).

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia Años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	185.86	121.03	94.17	78.81	68.65	61.32	55.74	51.32	47.72	44.70	42.14	39.93
5	219.17	142.72	111.05	92.94	80.95	72.31	65.73	60.52	56.27	52.71	49.69	47.09
10	248.27	161.67	125.79	105.28	91.70	81.92	74.46	68.56	63.74	59.71	56.29	53.34
25	292.76	190.64	148.34	124.15	108.13	96.60	87.81	80.84	75.16	70.42	66.38	62.90
50	331.64	215.96	168.04	140.63	122.49	109.42	99.47	91.58	85.14	79.77	75.20	71.26
100	375.68	244.64	190.35	159.31	138.76	123.95	112.68	103.74	96.45	90.36	85.18	80.72
500	501.83	326.79	254.27	212.80	185.35	165.58	150.51	138.57	128.83	120.70	113.79	107.82

Elaboración propia con datos de IMN.

De acuerdo con los resultados de este análisis, para el período 1957-1990 y 1957-2017, se determinó un aumento proyectado de la intensidad de lluvia para los datos más actualizados, esta situación debe tomarse en cuenta en el diseño ya sea de construcción o bien de rehabilitación del puente.

Con base en evidencias y la documentación en torno a los eventos meteorológicos que se encuentran relacionados con el parámetro climático de lluvia de inundación, se determinó que la frecuencia de los registros dentro del umbral definido, es de 0.35, que corresponde a la frecuencia de 13 eventos en 37 años. De esta manera, se determina una probabilidad actual en la escala de 5, es decir "Probable- Frecuente" según la Tabla N°13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0.

3.7.2.2 Análisis comparativo de probabilidad actual con registros de caudales extremos

Debido a que se cuenta con datos de caudal de la estación (AyA-190302) que se ubica en la margen derecha del puente en análisis, generados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE-19-1) con registros de hidrogramas desde 1995 hasta 2008, se procedió a realizar un análisis para determinar una posible relación de los eventos lluviosos en análisis y el caudal de descarga y nivel de agua en el cauce del río, al menos para el período en el que se tienen datos.

Se inició con la revisión del hidrograma del 15 de octubre del 2007 (día del evento que se ha tomado como base para el análisis), condición meteorológica relacionada con el decreto de emergencia 34045-MP (Ver Anexo N°12 con declaración de estado de emergencia nacional por la situación provocada por condiciones de temporal y paso de una onda tropical) en donde se presentó un caudal pico de 993 m³/s (Figura N°25), con un registro de altura en la escala de 9,27 m. Tomando este valor como referencia, se procedió a realizar una revisión de los demás hidrogramas correspondientes a los otros eventos de lluvia de inundación, para tener una referencia del comportamiento del cauce ante eventos extremos.

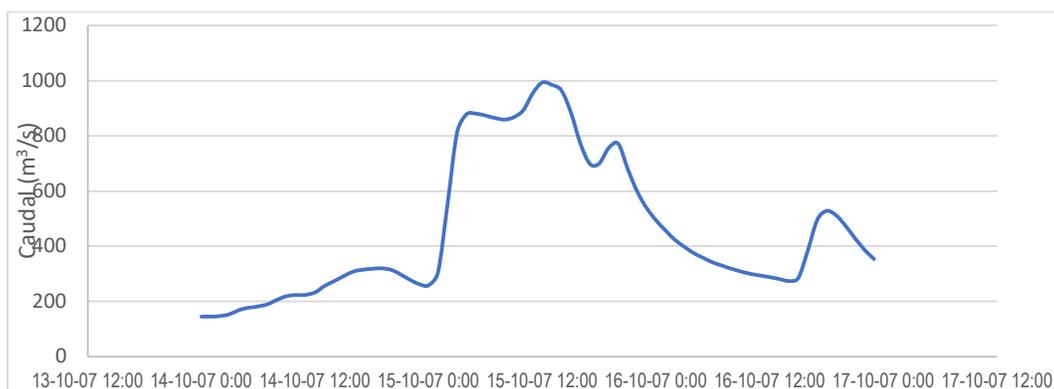


Figura 25. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007.

Fuente: ICE

En la Tabla N°22 se presentan los valores de caudal y nivel de agua en el cauce del río Tempisque para todos los eventos que fueran similares o superiores al del 15 de octubre de 2007.

Tabla 22. Registro de caudales máximos y escalas máximas obtenidos de los hidrogramas.

Valores máximos de hidrogramas similares o superiores al 15 de octubre 2007			Evento hidrometeorológico lluvioso
Fecha	Q	Esc.	
	m ³ /s	m	
04-11-98	1141	10,11	Huracán Mitch (22-Oct al 5-Nov)
27-09-99 (*)	1273	10,82	Sistema Baja Presión
02-11-01	1116	9,97	H. Michelle (28 - Oct al 5 -Nov)
02-10-05	1106	9,91	Huracán Stan (1-3 de octubre)

Fuente: ICE

Tabla N°22 (cont.). Registro de caudales y escalas máximos obtenidos de los hidrogramas. Estación Guardia 19-1, período 1995-2008.

Valores máximos de hidrogramas similares o superiores al 15 de octubre 2007			Evento hidrometeorológico lluvioso
Fecha	Q	Esc.	
12-10-05	1355	11,25	Huracán Vince (Oct-9 al Oct-11) y Huracán Wilma (Oct-14 al Oct-25)
15-10-07 (*)	993	9,27	Sistema Baja Presión
04-09-08 (*)	1019	9,42	Huracán Gustav (25-Ago al 04-Set) Huracán Hanna (29-Ago al 8-Set)
15-10-08 (*)	1263	10,77	Depresión Tropical No. 16

(*) Registros que concuerdan con los eventos extremos para el análisis de probabilidad

A partir de los eventos recopilados en la Tabla N°15, es importante considerar que algunos de los registros no están relacionados con los eventos de lluvia de inundación que se han analizado dentro de los parámetros climáticos conglomerados en este estudio. Sin embargo, se tiene conocimiento que estos picos están relacionadas con la existencia de algún evento lluvioso, pero el acumulado de precipitación no alcanza el umbral establecido dentro del parámetro.

A pesar, de la condición anterior, se procedió a investigar si existen registros de afectación del puente por estos eventos, con el fin de comparar los eventos que no estaban contemplados en las estadísticas del presente estudio. Esta investigación se llevó a cabo mediante la revisión de artículos de noticias, boletines e información de internet. La evidencia documental se muestra en el Anexo N°11 acerca de la afectación por eventos lluviosos extremos en la zona donde se ubica el puente.

De las evidencias mostradas, la afectación que ha sufrido la infraestructura del puente por el aumento en el nivel de agua del río, está ligada principalmente al desempeño operativo y funcional, no tanto al estructural, pues la infraestructura solamente ha tenido mantenimiento preventivo, pues no se han presentado daños mayores. Si se analizan los efectos de las inundaciones en la región, se determina que los albergues en caso de inundación están ubicados, en su mayoría, en Liberia (margen izquierda) y la mayoría de los evacuados provienen de los poblados de Filadelfia, Palmira y Comunidad (margen derecha).

El acceso terrestre a estos poblados son el Puente en Guardia Ruta 21 y el Puente La Amistad Ruta 18, ubicado a más de 68 km aguas abajo, por lo que un cierre del puente en Guardia, desde el punto de vista funcional, afecta no solo el tránsito normal en la zona y el comercio, sino que además afecta el trabajo y pone en riesgo la actuación de las entidades encargadas de brindar apoyo ante situaciones de emergencia y evacuación en la zona producto de las inundaciones.

Probabilidad futura

En este punto es importante recapitular que los eventos de precipitación de inundación identificados en el presente estudio están relacionados con sistemas de baja presión y ciclones tropicales en el Caribe. Por otro lado, se debe considerar que los ciclones tropicales son una evolución de los sistemas de baja presión, a partir de la disminución relativa de la presión en el centro de estos.

Según los estudios de Emanuel (2005), con respecto a la variabilidad de ciclones tropicales en el Atlántico Norte, existe una oscilación interanual e interdecadal en la frecuencia de las tormentas ligada con el fenómeno climático regional El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

Banichevich y Lizano (1998) citados por Alvarado y Alfaro (2003), encontraron que al darse la transición de la fase cálida El Niño a la fase fría La Niña, es cuando se dan interconexiones entre el Atlántico occidental y el Pacífico oriental cerca de Centroamérica, donde es más probable que sistemas ciclónicos atraviesen el istmo, principalmente a través del paso de Nicaragua (del Caribe hacia el Pacífico). En su investigación también hallaron una notable disminución en la frecuencia de huracanes en el Caribe durante las fases cálidas del ENOS y un aumento durante las fases frías.

Con respecto, a los efectos del cambio climático sobre el comportamiento del ENOS, Fasullo, Otto-Bliesner y Stevenson (2018), mediante un modelo climático que genera eventos de ENOS realistas, realizaron proyecciones hasta el año 2100, utilizando datos de entrada ligeramente modificados, pero con el mismo aumento de gases con efecto invernadero. Los resultados de los dos modelos que examinaron tienen cambios proyectados muy diferentes en ENOS. Uno predice un aumento de la varianza, con máximos más altos (El Niño) y mínimos más bajos (La Niña), y el otro con menos varianza. No obstante, ambos indicaron que un evento de El Niño o La Niña de una fuerza dada produciría impactos más extremos en el futuro.

De acuerdo con los estudios de proyección climática del fenómeno de ENOS para el siglo XXI, realizado por Power et al. (2013), los cambios forzados por el hombre en el sistema climático de la Tierra, los cuales parecen inevitables, podrían generar cambios en las características del ENOS. Sin embargo, existe poco consenso sobre los cambios futuros para este fenómeno, aparte de la expectativa de que ENOS continuará siendo una fuente dominante de variabilidad año a año.

Según Emanuel (2005) con base en la teoría y la modelación, se predice que la intensidad de los huracanes podría incrementar con el aumento de la temperatura media global. A pesar de que este estudio no analiza específicamente la tendencia en la generación de este tipo de eventos, dentro de los resultados se sugiere que un futuro calentamiento global puede conducir específicamente a una tendencia creciente del potencial destructivo de los huracanes.

Desde 1975 el aumento en la temperatura media de la superficie en el trópico, ha estado relacionada al calentamiento global, lo que sugiere que un aumento en el índice de disipación del poder de los ciclones tropicales está parcialmente relacionado a efectos antropogénicos (Emanuel, 2005).

En el 2018, se publicaron los resultados del estudio "Proyección de la intensidad e intensificación de ciclones tropicales en un Modelo de clima global", desarrollado por Bhatia, Murakami y Vecchi. En esta investigación se utiliza el Modelo HiFLOR, que modela la distribución de la intensificación de los ciclones tropicales debido a cambio climático.

En este estudio, se realizaron tres análisis, en el primero de control HiFLOR CTL que es representativo del período 1986-2005, el cual fue validado con dos bases de datos de registros observacionales, que corresponden a IBTrACS y ADTHURSAT, siendo que para este estudio se determinó que IBTrACS, es el más confiable para describir el comportamiento de los ciclones tropicales. A pesar de que la distribución de la simulación de la intensidad de los ciclones tropicales por HiFLOR es comparable con los datos observados, es importante considerar que este modelo generó entre 15% -25% más de eventos de ciclones tropicales y huracanes que las observaciones globales.

Una segunda parte del estudio analiza los resultados de HiFLOR CTL para comprender cómo la intensidad de la distribución de los ciclones tropicales evolucionará durante el siglo XXI. Para ello, en el experimento de control se realizaron las proyecciones a partir de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (SST) y del forzamiento radiactivo atmosférico para 2016-2035 o 2081-2100 (bajo el escenario RCP4.5).

Zhang et al. (2016), citado por Bhatia et al. (2018), demostró que HiFLOR es capaz de representar muchos aspectos de la variabilidad climática interanual y su influencia en los ciclones tropicales. Sin embargo, la conexión entre las variaciones climáticas de baja frecuencia (ENSO, Oscilación multidecadal Atlántica (AMO), etc.) y su relación con la evolución de los ciclones tropicales debido a cambio climático no se considera en estas modelaciones. En su lugar, se usan las tres simulaciones de HiFLOR para entender la media respuesta de los ciclones tropicales durante 1986–2005, 2016–2035 y 2081–2100.

De acuerdo con los resultados, la frecuencia, la intensidad y la distribución de intensificación de los ciclones tropicales cambiaría a valores más altos a partir del siglo XXI. Adicionalmente, estudios recientes (Emanuel et al. 2008, 2013; Korty et al. 2017; Zhang et al. 2017 citados por Bhatia et al. 2018) utilizando un esquema estadístico-*downscaling* han predicho un aumento en la frecuencia global de los ciclones tropicales, en respuesta a un calentamiento de la temperatura superficial del mar y al aumento de las tasas de CO₂ en la atmósfera, situación que también fue recalcada por Emanuel (2005).

En la Figura N°26 se presenta una comparación de la frecuencia anual de los ciclones tropicales y el porcentaje que se convierte en huracanes mayores, su distribución espacial y la probabilidad de densidad de 6 a 24 horas de cambios en la velocidad del viento y la distribución espacial de las tasas de intensidad.

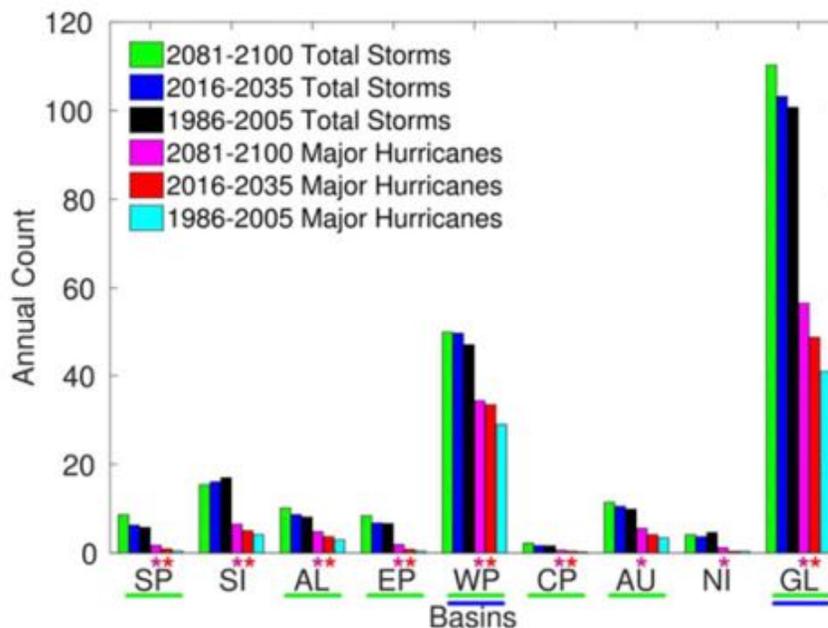


Figura 26. Frecuencia anual de ciclones tropicales y huracanes mayores en 1986–2005, 2016–2035 y 2081–2100 (simulaciones de HiFLOR).

Fuente: Bathia et. al. 2018.

En la Figura 26, los histogramas se trazan para la frecuencia global, así como para cada cuenca. En el eje x se muestra el identificador de la cuenca, donde está subrayado en verde para los casos en los que la frecuencia de ciclones tropicales para el período 2081-2100 es significativamente mayor que la frecuencia de ciclones tropicales anual de la simulación de los años 1986-2005, mientras que los subrayados en azul corresponden a los casos en los que para 2016-2035 es mayor. Un asterisco magenta o rojo en la esquina superior derecha del identificador de la cuenca indica respectivamente 2081-2100 o 2016-35 simulaciones HiFLOR con significativamente más huracanes mayores que la simulación de control de HiFLOR. Las siglas en inglés para las cuencas son: South Pacific (SP) -South Indian (SI) -Atlantic (AL) -East Pacific (EP) -West Pacific (WP) -Central Pacific (CP) - Australian (AU) -North Indian (NI) -Global (GL).

En la Figura N°27 se muestran los histogramas globales y por cuencas, del número de huracanes de gran intensidad divididos por el número total de ciclones tropicales. La cantidad normalizada se grafica para cada simulación de HiFLOR y destaca de manera sucinta que esta simulación proyecta un mayor porcentaje de tormentas que podrían alcanzar el grado de huracanes intensos debido al cambio climático. Cada cuenca muestra un aumento en el porcentaje de huracanes mayores, pero las cuencas que inicialmente tienen un porcentaje menor en su línea base, parecen ser las más afectadas por el cambio climático. Los resultados de la simulación indican que habrá más ciclones tropicales en un clima más caliente y las tormentas más intensas ocurrirán más frecuentemente que las observadas al final del siglo XX. El número al final de cada leyenda corresponde al número de huracanes intensos en cada simulación.

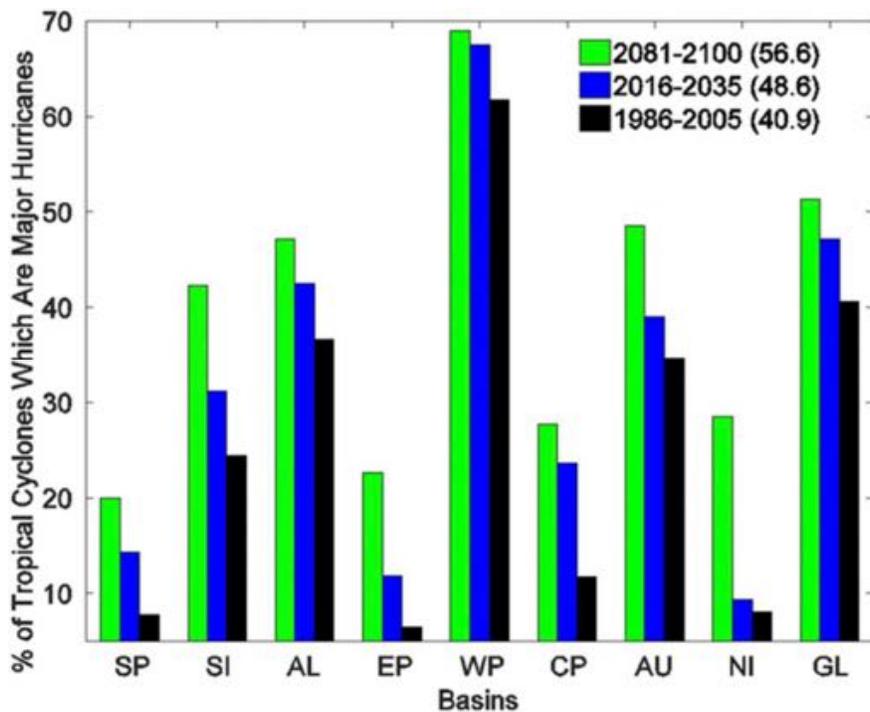


Figura 27. Porcentaje de ciclones tropicales que alcanzan a convertirse en huracanes intensos, según las simulaciones de HiFLOR.

Fuente: Bathia et. al. 2018.

Cada cuenca muestra un aumento en el porcentaje de huracanes mayores, pero las cuencas que inicialmente tienen un porcentaje menor parecen ser más afectadas por efectos del cambio climático, según los resultados de HiFLOR.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones mediante HiFLOR, los ciclones tropicales podrán alcanzar velocidades de viento que están muy por encima de la categoría 5 (umbral de 137 nudos), dando a entender que la escala Saffir-Simpson podría extenderse para incluir categorías más altas a principios del siglo XXI.

A manera de resumen, las simulaciones realizadas mediante HiFLOR exhiben un incremento del número de ciclones tropicales, para los períodos 2081–2100 y 2016–2035, especialmente en huracanes mayores en comparación con el período de línea base de simulación 1986-2005.

Respaldo lo anterior, Emanuel (2017) sugiere a partir de su investigación, que una incidencia de tormentas que se intensificarán rápidamente justo antes de tocar tierra podría aumentar sustancialmente para finales de este siglo.

Con respecto a las proyecciones en la tendencia de los ciclones tropicales a futuro, el Quinto Informe de IPCC indica que es probable que la frecuencia global de los ciclones tropicales disminuya o se mantenga prácticamente sin cambios, de conformidad con un probable aumento de los valores medios de la velocidad máxima del viento y de la intensidad de las precipitaciones de los ciclones tropicales. Es probable que la influencia

de un futuro cambio climático en los ciclones tropicales varíe según la región, pero existe un nivel de confianza bajo en las proyecciones específicas para cada una de ellas. Las proyecciones señalan precipitaciones más extremas cerca del centro de los ciclones tropicales que toman contacto con tierra firme en América Central, con un nivel de confianza medio (IPCC 2013).

Considerando el período histórico, diferentes estudios confirman lo establecido por IPCC (2013), respecto a que la frecuencia de ciclones tropicales se ha mantenido aproximadamente constante en las últimas décadas. Sin embargo, existe evidencia de que la proporción de ciclones tropicales que se han convertido en huracanes intensos es significativamente creciente (Emanuel, 2005; Wang et al. 2017 citados por Bhatia, et al. 2019, Balaguro et al. 2018).

Respaldando la indicación anterior, de acuerdo con PhD. Erick Alfaro Martínez, investigador de CIGEFI-UCR, si bien no hay evidencia estadística de que esté aumentando el número de ciclones tropicales cerca de América Central, cabe destacar que cada año se reportan más impactos por la ocurrencia de este tipo de fenómenos hidrometeorológicos en la región. Por consiguiente, la conclusión del PhD. Alfaro es que la explicación de esa tendencia positiva no es solo física, sino socioeconómica y ambiental³.

Por otro lado, con base en los datos históricos de los meses de agosto, setiembre y octubre de la Estación AIDO, con el apoyo de CCHIP, se generaron las respectivas proyecciones de la precipitación mediante un escenario pesimista RCP 8.5 para el período 2020, 2050 y 2080 y un análisis de la tendencia de la precipitación histórica con efecto de crecimiento a lo largo del periodo (ver Figuras 28 y 29).

³ Declaración tomada de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/12/20/nate-no-puede-atribuirse-al-cambio-climatico.html>

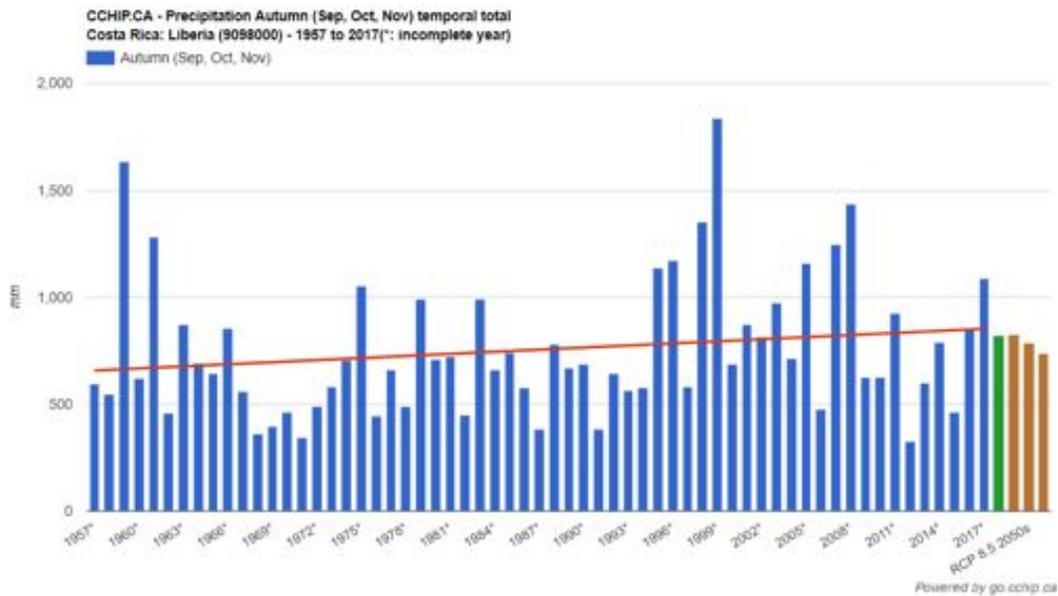


Figura 28. Análisis de tendencia de la precipitación ASO, proyecciones según el Ensamble AR5 para los períodos 2020, 2050, 2080.
Fuente: ccchip.ca

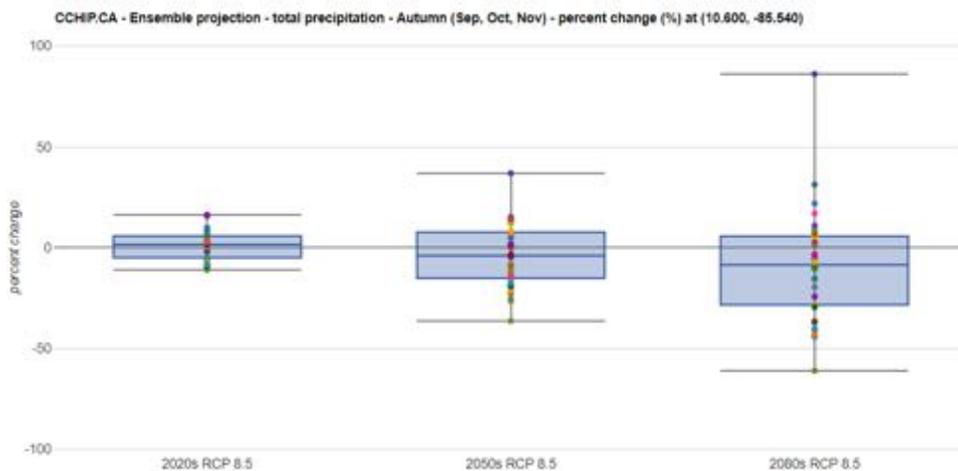


Figura 29. Proyección de precipitación según RCP 8.5 para ASO.
Fuente: ccchip.ca

En la Figura N°28 a pesar de la incertidumbre, por tratarse de reducción de escala de modelos de circulación global, para el período 2080 se observa una disminución de la precipitación para el período de ASO. De esta manera esta información se tomará como referencia ya que muchos modelos globales aún no capturan los procesos climáticos importantes (por ejemplo, ENOS, tormentas tropicales, chorro de bajo nivel en el Caribe, sequía de mediados de verano o canícula, oscilación multidimensional en el Atlántico, etc.), factores que influyen la variabilidad climática del país.

Con base en la información indicada anteriormente respecto a la tendencia en la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales, en proyecciones climáticas globales y regionales del IPCC, así como de estudios mediante procesos de simulación de escenarios globales de cambio climático, a futuro se considera la idea de un posible incremento en la frecuencia y magnitud de las precipitaciones intensas que generan este tipo de eventos, conforme un aumento en la temperatura media global en superficie, la cual según IPCC (2013) en relación con 1850-1900, las proyecciones apuntan a que es probable que, para el final del siglo XXI (2081-2100), la misma sea superior a 1.5 °C para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (nivel de confianza alto), es probable que dicha temperatura sea superior en 2 °C para los escenarios RCP6.0 y RCP8.5 (nivel de confianza alto), y más probable que improbable que sea superior en 2 °C para el escenario RCP4.5 (nivel de confianza medio), pero es improbable que sea superior en 2 °C para el escenario RCP2.6 (nivel de confianza medio - Figura N°30).

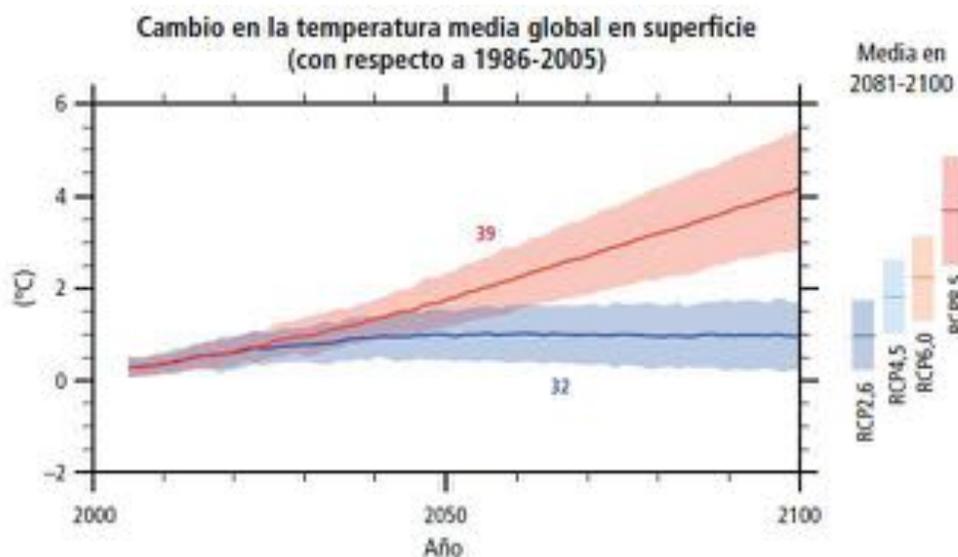


Figura 30. Cambio en la temperatura media global en superficie de 2006 a 2100 determinados por simulaciones multimodelos.
Fuente: IPCC, 2013

En la Figura 30, todos los cambios son en relación con 1866-2005. Las series temporales de las proyecciones y la medición de la incertidumbre (sombreado) se muestran en relación con los escenarios RCP2.6 (azul) y RCP8.5 (rojo). Las incertidumbres medias y asociadas, promediadas entre 2081 y 2100, figuran en todos los escenarios de RCP indicadas con barras verticales de colores en el margen derecho de cada gráfico. Se indica el número de modelos de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) utilizados para calcular la media multimodelos.

Por otro lado, considerando los resultados de la generación de escenarios de cambio climático para Centroamérica, con base en las proyecciones producidas por la reducción de escala del modelo Eta en una resolución de 8 km, para el período de 30 años entre 2021 y 2050, con una línea base de 1961-1990, realizados por Imbach et. al. (2018), específicamente en lo concerniente a las tendencias climáticas extremas, se

evaluó el comportamiento del índice de precipitación que excede los 50 mm/día (R50mm), lo que representa lluvias intensas, además del comportamiento del índice de precipitación del percentil 90 (R90p) que también refiere precipitaciones extremas. De acuerdo con los resultados el índice R50mm muestra cierta similitud con el R90p, pero este último tiene una señal mucho más fuerte.

R90p se refiere a precipitaciones extremas, lluvias más fuertes que R50mm, que ocurren con menos frecuencia. El indicador R90p muestra un fuerte aumento en el Caribe y Zona Norte de Costa Rica, mientras que la costa del Pacífico muestra una tasa creciente menor.

Para la zona de estudio ambos índices prácticamente se mantienen constantes o bien con una ligera disminución. Cabe destacar que, de acuerdo con los autores, las simulaciones subestiman la precipitación durante la estación lluviosa, debido al sesgo en este período de análisis con los dos conjuntos de datos de observación satelital CRU y CHIRPS, que corresponden a los usados como línea base (ver Figura 31).

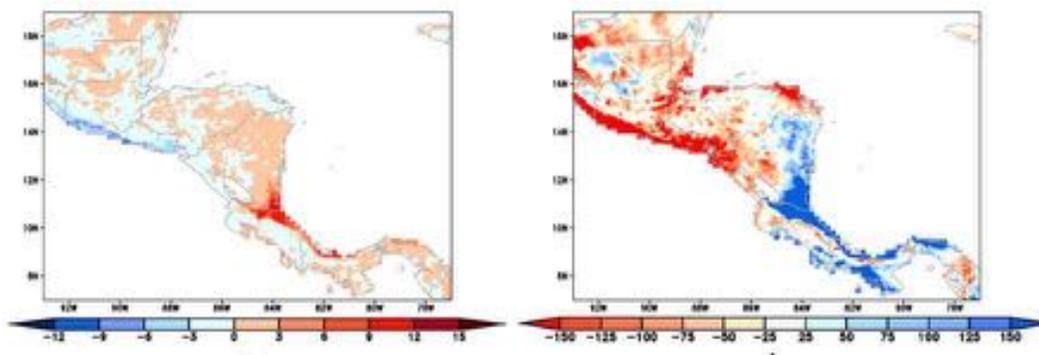


Figura 31. Tendencia de indicadores climáticos extremos -Derecha R50mm (días) – Izquierda R90p (mm).
Fuente: Imbach, 2018

Con base en las evidencias recabadas a partir de diferentes estudios de modelación de los efectos del cambio climático para la generación de ciclones tropicales y sobre patrones de precipitación intensa, se determina un aumento en la probabilidad a futuro para la lluvia de inundación, por consiguiente, fue ajustada del valor histórico de 5 a un valor de 6, descrito como “Probable / Frecuente”, de acuerdo con la Tabla N°13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0.

3.7.3 Viento, ráfagas máximas diarias ≥ 89 km/h

3.7.3.1 Definición

De acuerdo con la Escala de Beaufort, ráfagas de 89 km/h o más, pueden arrancar árboles, generar daños a las estructuras de las construcciones, así como daños en objetos que se encuentran a la intemperie (Anexo N°13 Escala de Beaufort).

3.7.3.2 Análisis de probabilidad

Probabilidad actual

De acuerdo con los registros de ráfagas máximas diarias de la Estación AIDO, para el período de 1988-2017, se presentaron 12 eventos de ráfagas de esa magnitud o mayores (ver Tabla 23).

Tabla 23. Registros de ráfagas Estación 74-20 (Período 1988-2017).

Ráfaga (km/h)	Fecha	Fenómeno ENOS
91.8	9/2/1989	Niña Fuerte
91.8	24/2/1990	Neutro
95	25/1/1995	Niño moderado
90	3/3/1995	Niño moderado
92.2	16/2/1997	Niño muy fuerte
90	23/2/1997	Niño muy fuerte
91.8	25/2/1997	Niño muy fuerte
90	7/3/1997	Niño muy fuerte
102.6	8/3/1997	Niño muy fuerte
90	11/2/2001	Niña débil transición a neutro
89.3	18/2/2001	Niña débil transición a neutro
91.62	8/1/2015	Niño muy fuerte

Fuente: Elaboración propia

Los eventos que se registran en la Tabla N°23, se han presentado entre enero y marzo, coincidiendo con el período en el que se presentan incursiones de masas de aire frío "Nortes", definidos como vientos fríos e intensos con componente norte o noreste muy pronunciada, que se presentan entre fines y principios de año (durante el invierno boreal) y que afectan desde México hasta el norte de Suramérica (Zárate, 2014).

Este viento con componente del noreste pasa a través de las llanuras al norte de nuestro país y se proyecta hacia el Pacífico Norte, convirtiéndose en una corriente en chorro al frente del Golfo de Papagayo, tal como muestra en la Figura N°32 (Lizano, 2007).

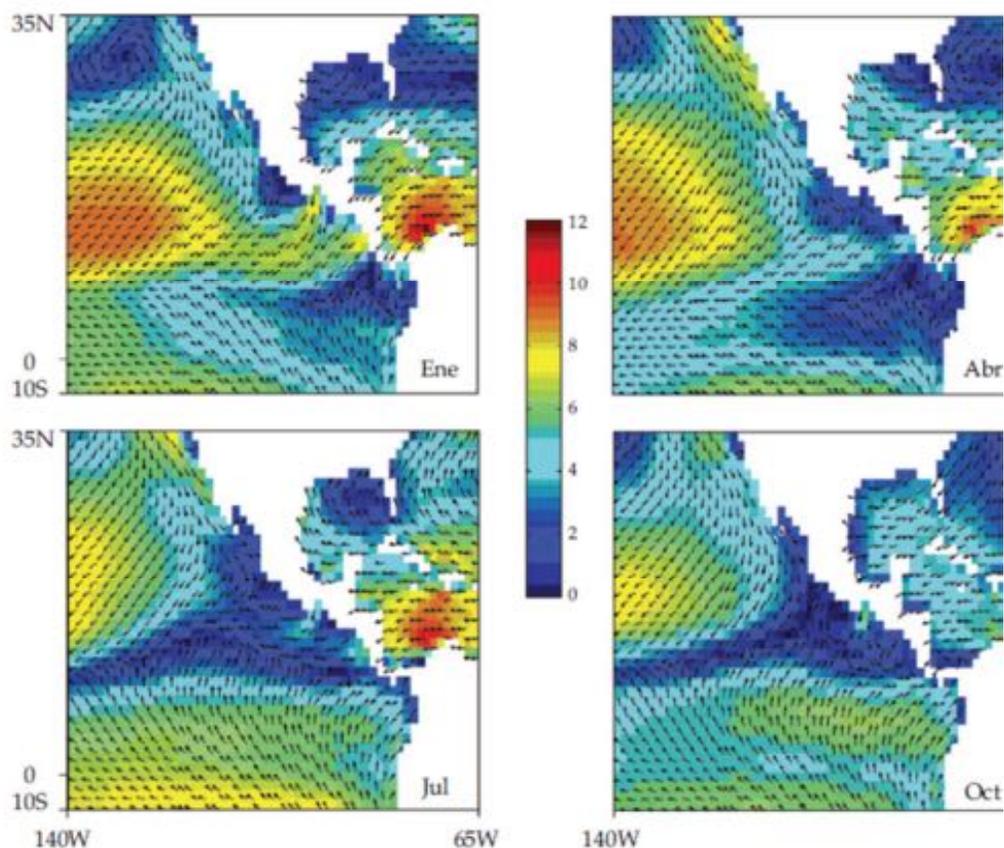


Figura 32. Distribución espacial de la magnitud (m/seg) y dirección del viento en el Caribe y Pacífico Tropical del Este según climatología mensual elaborada de los registros de NCEP-NOAA.

Fuente: Lizano, 2007.

Durante esos meses, se intensifican las lluvias en la vertiente del Caribe costarricense y parte de la zona Norte, ya que esos vientos vienen cargados de humedad al recorrer el océano Atlántico y el mar Caribe y al encontrarse con el sistema montañoso de la Cordillera de Talamanca y la sierra Volcánica Central; depositan su humedad, pasando a la Vertiente del Pacífico como vientos secos y con una alta velocidad, principalmente en Guanacaste y el Valle Central (IMN, SF) La velocidad media de los vientos alisios, en superficie, es inferior a 15 km/h; en enero y febrero alcanzan velocidades superiores a 30 km/h con ráfagas de 80 km/h (Fallas y Oviedo, 2003).

Estas incursiones de masas de aire frío invernal hasta el Pacífico Tropical Nororiental, Centroamérica y el Caribe han sido estudiadas ya desde hace décadas, tanto en forma regional como localmente, utilizando diferentes enfoques. DiMego, Bosart & Enderson (1976), Grandoso, Zárata y Vega (1982), Reding (1992), Frutos (1996), Schultz, et al. (1997), Schultz, Bracken & Bosart (1998) y González (1999) citados por Zárata (2014), utilizaron el concepto de frente frío en los estudios de las penetraciones de masas de aire frío hasta el sur del Golfo de México, Centroamérica y el Caribe.

De esta manera, se considera que los eventos de ráfagas de viento ≥ 89 km/h determinados para este estudio están relacionados con los efectos del viento alisio del noreste durante el invierno boreal del hemisferio norte, desde donde grandes masas de aire polar (frentes fríos) se desplazan desde América del Norte en dirección hacia el sur buscando latitudes más bajas.

De los 12 eventos registrados en la Tabla 23, se determina que dos terceras partes de los eventos de ráfagas máximas de viento ≥ 89 km/h se presentaron en años que coinciden con eventos cálidos de El Niño, condición que se respalda con lo establecido por Schultz et al., 1998, Magaña, 1999 y Pérez et. al. 2014, quienes presentaron resultados que respaldan la hipótesis de que durante eventos cálidos de ENOS aumenta la cantidad de oleadas de frío que penetran en México y Centroamérica.

Así, un aumento en la frecuencia del régimen de vientos del noreste en condiciones de El Niño implica una respuesta a la intensificación del flujo de viento a través del Golfo de México, lo que sugiere un incremento de las intrusiones de aire frío. Esto se respalda con los hallazgos de Schultz et al. (1998); que determinaron un número anormalmente mayor de fuertes frentes fríos en Centroamérica durante eventos de El Niño.

Durante años con fase cálida El Niño, la rama sur de la corriente en chorro subtropical del Pacífico Norte (Figura N°33) se vigoriza y es arrastrada hacia el sur, de tal manera que, durante fuertes empujes fríos en México y América Central, esta confluye en un patrón positivo sobre el Golfo de México y sureste de Estados Unidos. Por lo tanto, podría esperarse que una anomalía de gran cantidad de fuertes oleadas de frío en México y Centroamérica ocurriría durante los años El Niño, cuando la corriente en chorro es más probable que se localice sobre el golfo de México. Para comprobar esta hipótesis Schultz et al. 1998, con base en los datos de Klaus 1973, analizaron un registro de 60 años de frentes fríos al sur de México, considerando un rango de variabilidad entre 0 y 27 eventos entre setiembre y abril. Los resultados indican que tras un año El Niño es probable que se tenga aproximadamente el doble de frentes fríos que en una temporada fría de un año de La Niña. Por lo tanto, en años El Niño se verifica un número por encima del promedio de frentes fríos, lo que daría lugar a vientos más fuertes, un proceso que Bjerknes (1969) y Wyrski (1975), han señalado como un papel integral en ENOS.

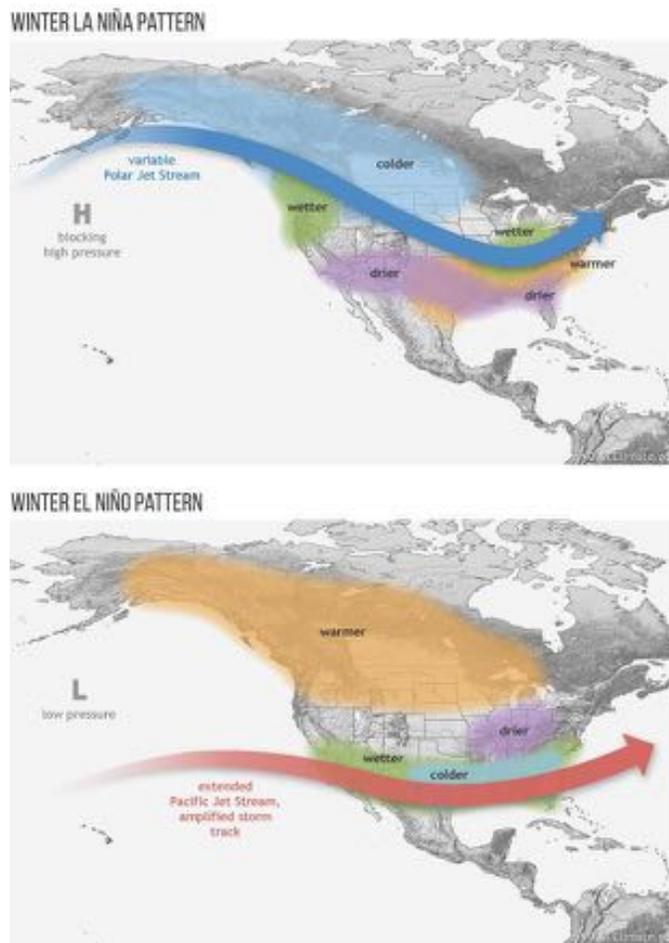


Figura 33. Ubicación de la corriente a chorro subtropical durante años El Niño y años La Niña.
Fuente: [NOAA Climate.org](http://NOAA.Climate.org)

Las masas de aire frío que incursionan hasta el Pacífico Tropical Nororiental, Centroamérica y el Caribe durante el invierno boreal, causan cambios significativos en la intensidad del Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ por sus siglas en inglés) por espacios de 1 a 4 días, de 1 a 30 días y estacionales de 120 días (noviembre-febrero). Durante estos periodos el máximo del CLLJ se debilita y se desplaza transitoriamente de su posición típica en el Caribe Occidental, a otra posición localizada en la rama del Pacífico Tropical Nororiental (Zárate, 2014).

Amador (2000) determinó la respuesta dinámica de la CLLJ durante el verano boreal del hemisferio norte, considerando condiciones oceánicas y atmosféricas determinadas por el ENOS. En términos generales se encontraron diferencias cuando se encuentra asociada a eventos cálidos, eventos fríos o condiciones normales. El viento zonal aumenta para eventos de El Niño (anomalías negativas indican este aumento), en Centroamérica y Sur de México principalmente, el flujo alisio (componente zonal) aumenta de manera significativa sugiriendo condiciones más estables en la región del Pacífico y una mayor interacción orográfica en la parte Caribe de la misma. El viento

zonal asociado a la corriente disminuye cuando está en desarrollo un evento La Niña (anomalías positivas indican esta disminución), mientras que no existe un patrón definido para lo que se ha denominado condiciones normales de ENOS.

Con respecto a los efectos de los vientos durante el Huracán Otto en el área del puente en estudio, el 25 de noviembre de 2016 (Anexo N°13 Escala de Beaufort), según la Estación 74-20 AIDO, la ráfaga máxima del día fue de 63.75 km/h, dato que no supera el umbral establecido en el parámetro de viento de ≥ 89 km/h. Ante esta situación es importante considerar lo establecido por Retana (2012), quién concluye que a pesar de que los sistemas ciclónicos generan vientos de gran velocidad (desde 118 a 249 km/h), el impacto que se percibe en Costa Rica es indirecto, por lo que el efecto que se produce es básicamente la gran cantidad de agua precipitada.

Considerando un registro de 12 eventos de ráfagas máximas diarias ≥ 89 km/h, se determinó una frecuencia de 0.001, que corresponde a una probabilidad actual de 1, que se describe como "Poco Probable/ Improbable" de acuerdo con la Tabla N°13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0.

Probabilidad futura

Eichelberger et.al. (2008), realizaron modelaciones mediante 14 ensambles de GCM (Global Circulation Model), para determinar los efectos del cambio climático en la velocidad del viento a nivel global y superficial, específicamente para los escenarios de gases efecto invernadero A2 (*business as usual*) y B1 (*sustainable development*). Este estudio se realizó para una línea base de 1991-2001, y una resolución horizontal de aproximadamente 200 a 450 km, lo cual limita el estudio a gran escala, pues no es posible considerar efectos locales. De acuerdo con los resultados, se determinó una proyección de incremento a nivel anual de las velocidades del viento para 2050, usando el escenario A2, dado que el patrón espacial de los cambios de velocidad del viento predichos es muy similar para los escenarios de emisión A2 y B1. Los resultados solo se mostrarán para el escenario de emisión A2. En la Figura N°34 se muestra un mapa global del porcentaje de simulaciones GCM que predicen un aumento de los valores de la velocidad del viento en la superficie media anual, no la magnitud del cambio esperado, específicamente para el período 2046-2055. Sobre una base anual, se prevé que el cambio climático causará valores de velocidad del viento en la superficie más fuertes en las regiones boreales del hemisferio norte, incluyendo gran parte de Canadá, Siberia y el norte de Europa, y en regiones tropicales y subtropicales en África, Centroamérica y Suramérica.



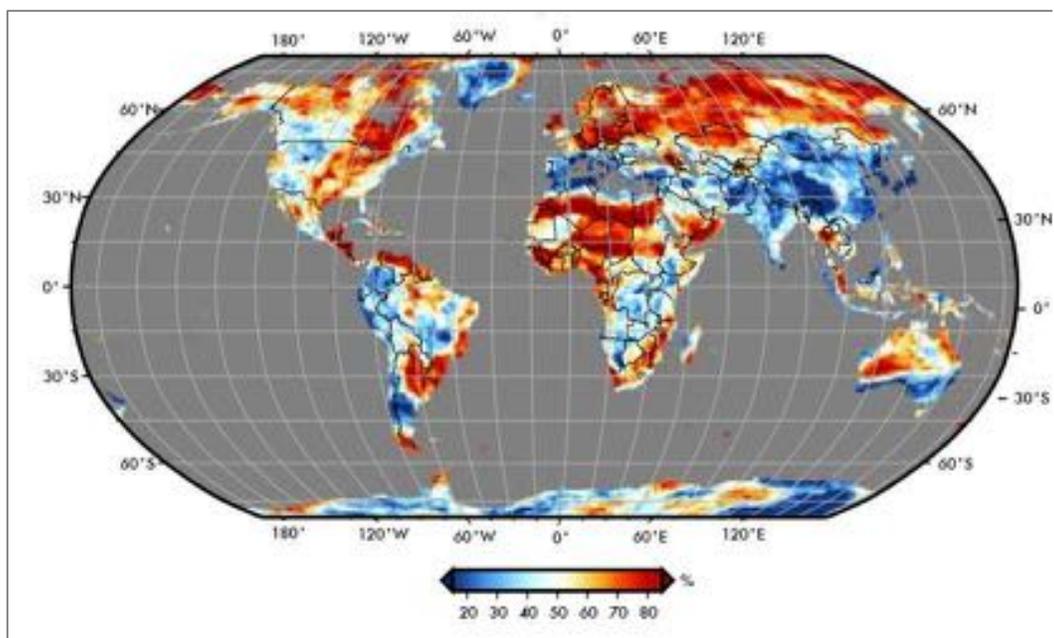


Figura 34. Porcentaje de modelos climáticos globales que muestran un aumento en los valores de la velocidad media anual del viento en 2050.

Fuente: Eichelberger et.al. 2008

Considerando el análisis realizado para la probabilidad actual de este parámetro, se determinó según diferentes fuentes, que un aumento en el número de frentes fríos que penetran México y Centroamérica está relacionado muy probablemente con un incremento en el número de eventos de fase ENOS cálido (El Niño).

Según Pérez et. al. (2014), el fenómeno ENOS como una condición de entrada en el análisis de proyección de clima a futuro da lugar a circulaciones atmosféricas anormales del oeste sobre mares interamericanos (IAS), que favorece la propagación de más (y más rápidas) oleadas de frío en los trópicos.

Con respecto a simulaciones sobre la respuesta de ENOS a calentamiento global, los modelos difieren fuertemente, por lo tanto, definir una tendencia a futuro es altamente incierta. Algunos modelos simulan un aumento en la amplitud de ENOS, otros una disminución, y otros prácticamente ningún cambio. Sin embargo, algunos cambios interesantes en ENOS se pueden inferir a partir de observaciones y de la integración de modelos (Latif y Keenlyside, 2008).

Investigaciones anteriores sugirieron fuertemente que la respuesta atmosférica a ENOS se intensificaría sobre el océano tropical a medida que el mundo se calienta, se sugiere que en el futuro no solo veremos un aumento en la intensidad de los impactos de ENOS sobre el océano, sino que estos impactos de La Niña y El Niño se sentirán en un área de tierra más extensa, incluso en Australia, el Suramérica y África.

Las evidencias sugieren que existe una relación de causa-efecto entre El Niño y el cambio climático: el cambio climático incrementa las probabilidades de que se produzca un "súper" El Niño. Este fenómeno, a su vez, exacerba los efectos del cambio climático al liberar gran cantidad de calor del océano Pacífico. Se estima que cuanto más suba la temperatura de los océanos por efectos del cambio climático, las probabilidades de que se produzca un "súper" El Niño se duplican.

De acuerdo con Cai et al. (2018), se considera que la frecuencia y la intensidad de los fenómenos del Niño y su impacto en América aumentará en las próximas décadas por motivo del cambio climático. Teniendo este efecto en cuenta, la investigación concluye que el aumento de la temperatura de la capa más superficial del océano es evidente. Esto provoca mayor actividad convectiva y los efectos en cascada que se producen en todo el planeta. No se sabe si el ENOS puede cambiar en el futuro. El calentamiento del efecto invernadero se desconoce, debido a la falta de un acuerdo entre modelos sobre la respuesta de la temperatura media superficial (TSM) del Pacífico ecuatorial oriental a dicho calentamiento. Se encuentra un aumento robusto en la futura variabilidad SST (temperatura de la superficie del mar) de ENOS entre los modelos climáticos CMIP5 que simulan los dos regímenes ENOS. Se muestra que el patrón de anomalía de SST de ENOS y su centro difieren enormemente de un modelo a otro y, por lo tanto, no pueden estar bien representados por un solo "índice" de SST en el centro observado. Sin embargo, aunque las ubicaciones de los centros de anomalías difieren en cada modelo, se encuentra un aumento robusto en la variabilidad de la TSM en cada centro de anomalías en la mayoría de los modelos considerados. Este aumento en la variabilidad se debe en gran medida a la intensificación de la estratificación del océano superior inducida por el calentamiento de efecto invernadero en el Pacífico ecuatorial, lo que mejora el acoplamiento océano-atmósfera. Un aumento en la varianza de SST implica un aumento en el número de eventos "fuertes" de El Niño (correspondientes a grandes anomalías de SST) y eventos climáticos extremos asociados.

En esta etapa de comprensión simplemente tenemos que afirmar que se desconoce cómo afectará el calentamiento global al Pacífico tropical. En términos de una visión probabilística, cualquier resultado es más o menos igualmente probable. Esto, sin embargo, no significa que los cambios fuertes no puedan ocurrir.

Por otro lado, a futuro se deben considerar eventos de ráfagas intensas debido a los efectos de ciclones tropicales, ya que es probable que la frecuencia a nivel mundial de los ciclones tropicales disminuya o permanezca sin cambios, sin dejar de lado la probabilidad de un aumento de la velocidad máxima media del viento de los ciclones tropicales asociados a ellos, aunque existe un nivel de confianza menor en las proyecciones de frecuencia e intensidad para cada una de las regiones (IPCC, 2013).

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se determina que para el año 2075, se podría interpretar un aumento en la probabilidad de casos en los que las ráfagas de viento superen el umbral determinado en este parámetro. De esta manera, con base en la Tabla N°13. Escala de probabilidad del Protocolo PIEVC versión 10.0, la probabilidad futura aumenta a 2 descrita como "Remotamente Posible".



Capítulo 4

Valoración del riesgo

4 PASO 3: VALORACIÓN DE RIESGO

El Paso 3 permitió al equipo de trabajo identificar la respuesta de la infraestructura ante los eventos climáticos extremos, a través de la valoración del riesgo.

Con la información detallada en el capítulo 3, se preparó la lista de estos eventos y las tendencias climáticas relevantes para el análisis.

Se evaluó la interacción de los parámetros climáticos con los componentes de la infraestructura detallada en la sección 2.3 mediante un proceso iterativo de valoración en tres etapas:

1. Análisis Sí/No: para cada componente de la infraestructura (es decir, para cada fila de la matriz), se evaluó si existía o no interacción con el evento climático en estudio (es decir, con cada columna de la matriz). En aquellos casos donde la respuesta fue negativa, se descartó del análisis subsiguiente, mientras que en los casos donde la respuesta fue afirmativa, se tomó en cuenta la interacción para la siguiente etapa.
2. En los casos donde sí se identificó interacción, esta se analizó en términos de cuánto ha sido la afectación experimentada hasta el momento en relación con el evento climático analizado, asignando un puntaje de acuerdo con la evidencia existente y el criterio de quienes conocen esas afectaciones. Esto es lo que el Protocolo PIEVC identifica como la severidad de la interacción. De la misma manera, utilizando la información mostrada 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 brindó el valor del riesgo en el escenario climático actual.
3. Luego, el proceso se repitió para la expectativa del clima futuro, evaluando cuánto será la afectación con esas nuevas condiciones y cuál es la probabilidad de ocurrencia de los eventos climáticos en el futuro. La multiplicación de ambos puntajes dio como resultado el valor del riesgo al cambio climático en el escenario futuro.

Con los resultados obtenidos mediante las matrices de riesgos, se pudieron identificar y priorizar las medidas de adaptación a tomar, según el rango definido para el umbral del riesgo.

4.1 Criterios de desempeño

Se establecen tres criterios de desempeño para evaluar el puente: estructural, operacional y funcional.

El nivel estructural se refiere a la influencia directa sobre la estructura del puente, los daños que esta ha sufrido o podría sufrir.

A nivel operacional se hace referencia a la intervención del personal de operación y mantenimiento o de expertos externos para garantizar la continuidad del servicio. Es

decir, este criterio establece un requerimiento de participación humana para poder brindar o reestablecer el servicio si se ha visto interrumpido.

Finalmente, el nivel funcional se refiere a si la infraestructura está en capacidad de brindar el servicio para el cual fue creada, en este caso, la conexión entre las márgenes del río.

4.2 Criterios de severidad

En la Tabla N°24 se muestra la justificación construida por el equipo de trabajo, para cada uno de los puntajes de severidad posibles, de manera que quienes participaron en la evaluación de riesgos pudieron identificar, de una manera más sencilla, el puntaje correspondiente a una interacción determinada. En el caso del puente, se utilizaron puntajes de 0, 1, 3, 5 y 7.

Se considera el primer nivel de valoración cuando no se produce afectación en los elementos del puente. Se asigna un puntaje de cero a esta condición dado que no hay daños en la estructura, no requiere reparaciones y opera normalmente.

Para la severidad menor, con puntaje de uno, se considera una interrupción parcial del servicio, es decir, el puente sigue brindando conexión entre las márgenes del río pero con una capacidad inferior a la que normalmente funciona, por ejemplo, con cierre de un carril o paso regulado.

Para la severidad moderada, con puntaje de tres, se considera la interrupción total del servicio, es decir, el puente no puede brindar el servicio de conexión entre las márgenes del río por espacios de tiempo hasta un máximo de tres horas.

Para la severidad mayor, con puntaje de cinco, se considera la interrupción total del servicio, es decir, el puente no puede brindar el servicio de conexión entre las márgenes del río por espacios de tiempo superiores a tres horas y hasta un máximo de 72 horas (3 días).

Para la severidad catastrófica, con puntaje de 7, se considera la interrupción total del servicio, es decir, el puente no puede brindar el servicio de conexión entre las márgenes del río por espacios de tiempo superiores a tres 3 días.

Un aspecto importante es que el PIEVC permite establecer criterios de severidad adicionales para aspectos de diversa índole, tales como aguas, seguros, efectos sociales, efectos ambientales, aspectos económicos, entre otros, los cuales no fueron abarcados en este estudio. Para poner un ejemplo, en el caso del criterio de severidad económico, según información de los dueños de la infraestructura (MOPT y CONAVI), el presupuesto de operación y mantenimiento no contempla labores por conceptos climáticos. Para eventuales intervenciones del puente, esto se hace mediante solicitudes de presupuestos extraordinarios asignados para procesos de licitación específicos, los cuales se incorporan al presupuesto nacional cuando es necesario. En un futuro, ambas instituciones podrían considerar eventualmente los riesgos asociados a posibles afectaciones económicas de infraestructuras por eventos climáticos sobre el presupuesto institucional, de manera que, si evalúan las interacciones entre los componentes y los parámetros climáticos, de acuerdo con el riesgo resultante puedan

priorizar la inclusión de ciertas partidas presupuestarias en sus números. Esto puede aplicarse también para el tema de seguros.

Tabla 24. Criterios de severidad para valoración de riesgo.

Severidad	Estructural	Operacional	Funcional
0 Sin efecto	Sin daños en la estructura.	No requiere reparaciones, únicamente mantenimiento.	Operación normal.
1 Menor	Se puede solventar a través de la implementación de un plan de mantenimiento periódico. Sin impacto sobre el plan de operación y mantenimiento.	Requiere reparaciones menores que pueden ser realizadas por los operadores de la institución. Podría requerir evaluaciones adicionales para su solución.	Se interrumpe parcialmente el servicio, pero se continúa brindando conexión entre las márgenes del río.
3 Moderado	Requiere reparaciones moderadas adicionales al plan de operación y mantenimiento.	Podría requerir personal especializado para hacer la reparación. Podría requerir inspección con aporte de expertos externos a la institución.	Se interrumpe el servicio por espacios de tiempo menores a 3 horas.
5 Mayor	Pérdida parcial de componentes. Pérdida funcional de uno o varios activos, o de algunos de sus componentes críticos. Requiere reparaciones importantes y posiblemente la sustitución completa de componentes.	Requiere evaluaciones e intervenciones detalladas por parte de personal experto externo a la institución.	Se interrumpe el servicio por espacios de tiempo superiores a 3 horas pero inferiores a 72 horas (3 días). Se deben buscar medidas alternativas para brindar el servicio.
7 Catastrófico	Pérdida total de infraestructura. Requiere el reemplazo completo de una cantidad importante de activos y de componentes críticos.	Podría tener impacto sobre la integridad de las personas y la seguridad pública.	Se interrumpe el servicio de por más de tres días. Se deben buscar medidas alternativas para brindar el servicio. Podría tener impacto sobre la prestación de otros servicios hacia la sociedad (salud, educación, servicios básicos).

Fuente: Elaboración propia

4.3 Umbrales de tolerancia al riesgo

El equipo de trabajo realizó una división con cuatro intervalos para los criterios de riesgo. La intención era contar con una delimitación amplia y segregada que permitiera una priorización específica de las posibles acciones a tomar según el análisis que se realizó.

Los cuatro intervalos que definen las categorías de riesgo son:

Bajo: se define para un puntaje máximo de 7. El valor se obtiene al multiplicar una ocurrencia muy probable (>99% o > 1 en 1.01 según la Tabla N°13) con puntaje de 7 y una severidad menor con puntaje de 1. En esta categoría no es necesario tomar ninguna acción para prevenir el riesgo.

Medio: se define para valores entre 8 y 21. El límite inferior se obtiene sumando una unidad al límite superior del rango bajo. El límite superior se obtiene de multiplicar una ocurrencia muy probable (>99% o > 1 en 1.01 según la Tabla N°13) con puntaje de 7 y una severidad moderada con puntaje de 3. En esta categoría se podría considerar conservar las interacciones para un análisis posterior ya que podrían requerirse algunas acciones.

Alto: se define para valores entre 22 y 35. El límite inferior se obtiene sumando una unidad al límite superior del rango medio. El límite superior se obtiene de multiplicar una ocurrencia muy probable (>99% o > 1 en 1.01 según la Tabla N°13) con puntaje de 7 y una severidad mayor con puntaje de 5. Para esta categoría se requiere alguna acción prioritaria que se debe considerar en la toma de decisiones.

Extremo: es la categoría de riesgo máxima posible y se define para valores entre 36 y 49. El límite inferior se obtiene sumando una unidad al límite superior del rango alto. El límite superior se obtiene de multiplicar una ocurrencia muy probable (>99% o > 1 en 1.01 según la Tabla N°13) con puntaje de 7 y una severidad catastrófica con puntaje de 7. Finalmente, esta categoría identifica acciones inmediatas que se deben considerar en la toma de decisiones a la hora de intervenir el puente.

En la Tabla N°25 se resume la escala de colores según los umbrales de riesgo.

Tabla 25. Umbrales de riesgo.

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

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°35 se muestra una visualización del mapa de calor posible en la matriz según la distribución de los rangos de riesgo establecida. Se consideran las probabilidades asignadas según la valoración aportada por el IMN (Tabla N°13) y la magnitud de los daños en el puente según la severidad asignada (Tabla N°24).

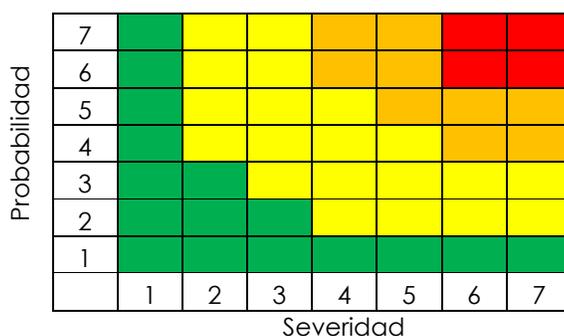


Figura 35. Mapa de calor posible para umbrales de riesgo definidos.

Fuente: Elaboración propia.

Para las interacciones extremas con severidad muy alta y probabilidad muy baja o severidad muy baja con probabilidad muy alta, donde el valor da como resultado un riesgo bajo, el PIEVC normalmente sugiere tratar esas interacciones como casos especiales. No obstante, el equipo de trabajo determinó que en este puente no es necesario profundizar en el análisis. Esto porque los eventos que son muy comunes, pero de baja severidad, han demostrado no provocar afectación a la infraestructura en ninguno de los tres ámbitos considerados: estructural, operacional o funcional, según la experiencia de las instituciones. De forma similar, por la misma razón antes mencionada, aquellos eventos que podrían causar daños y pérdidas catastróficas, pero que su probabilidad de ocurrencia es baja, tampoco se consideró necesario analizarlos.

4.4 Umbrales climáticos

Según el desarrollo de la información climática del capítulo 3, se resume a continuación el umbral considerado para realizar el análisis de afectación en el puente.

4.4.1 Precipitación de inundación

Se estableció un período de cinco a ocho días con un acumulado de precipitación mayor o igual a 300 mm para que se produzcan crecidas que afecten la operación y/o funcionalidad del puente. A la fecha, no se reportan daños estructurales con estas crecidas.

Los efectos relevantes que afectan el desempeño funcional u operacional son los siguientes:

- a. Cierres parciales del puente por días u horas debido a las crecidas extraordinarias del río Tempisque y que amenazan con afectar la infraestructura del puente.
- b. Cierres totales, preventivos del puente debido a las crecidas extraordinarias del río Tempisque, sumado a las condiciones climáticas donde se registran lluvias intensas durante tres o más días, causando que las condiciones de riesgo se mantengan.
- c. Cierres en el puente donde solo se permite el paso de peatones en caso de trasbordo o en caso de evacuaciones, como medida preventiva a partir de un seguimiento del nivel de agua en el río, debido a las condiciones climáticas lluviosas.

Según el análisis de eventos climáticos registrados, se encontraron 12 eventos en 37 años, para una frecuencia por método B de 0.32, la cual se clasifica como probable y frecuente para un puntaje de 5 de acuerdo con la Tabla N°13.

4.4.2 Viento

En cuanto a la afectación por ráfagas de viento se establecieron máximas diarias iguales o superiores a 89 km/h. Se utilizó la Escala de Beaufort para definir este rango con un número de Beaufort de 10, el cual establece un rango de velocidades entre 89 km/h y 102 km/h. Los efectos en tierra se definen como árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones y daños mayores en objetos a la intemperie.

A la fecha, no se reportan daños estructurales. Como efectos relevantes que afectan el desempeño funcional u operacional se consignaron los siguientes:

- a. Afectación en la señalización vertical del puente, la cual está incluida dentro de las componentes del análisis.
- b. Posible caída de árboles en los rellenos de aproximación que provocarían cierres totales o parciales para su remoción.

Según el análisis de eventos climáticos registrados, se encontraron 12 eventos en 10950 días, para una frecuencia por método B de 0.001, la cual se clasifica como poco probable para un puntaje de 1 de acuerdo con la Tabla N°13.

4.4.3 Caudales de sobrecarga

Se tomó como referencia la crecida del 15 de octubre de 2007 con un caudal de 900 m³/s y se identificó que los efectos relevantes son los mismos que para la precipitación de inundación.

Con base en este criterio, el grupo de trabajo decidió no contemplar el caudal de sobrecarga como un evento climático de análisis, por no ser en sí un evento climático, sino más bien una de las consecuencias directamente relacionadas con el parámetro de lluvia de inundación, siendo que uno de sus efectos es, precisamente, el aumento de caudal en el río.

Sin embargo, sí fue de interés del equipo conocer el comportamiento de la sección bajo el puente en relación con estos caudales de sobrecarga.

De esta forma, se decidió realizar un levantamiento batimétrico para la sección actual, con el fin de establecer una base preliminar de apoyo para una futura modelación de la cuenca y lograr estimar el nivel del río para condiciones climáticas futuras, según las proyecciones que se esperan para este sitio.

4.4.3.1 Batimetría bajo la sección del puente

El MOPT puso a disposición una cuadrilla conformada por cuatro personas de la Dirección Marítimo Portuaria y cuatro personas de la Dirección de Puentes.

El levantamiento topográfico se realizó en la semana del 4 al 8 de noviembre de 2018, con curvas de nivel y detalles de las márgenes a lo largo del cauce del río para una sección de 250 m lineales, con 150 m aguas arriba del puente y 100 m aguas abajo. Adicionalmente, se confeccionaron curvas de nivel a cada 0.50 m para la misma zona.

El levantamiento horizontal consistió en tomar como referencia vértices establecidos mediante metodologías GNSS. Para el levantamiento vertical se tomaron como referencia los bancos de nivel del Instituto Geográfico Nacional para obtener datos mediante poligonación y una nivelación trigonométrica con el fin de radiar los vértices.

En la Figura N°36 se observa el plano con curvas de nivel a cada 0.50 m. Además, se cuenta con una superficie digital del terreno y un listado de coordenadas norte, este y elevación; georreferenciados al nivel medio del mar.

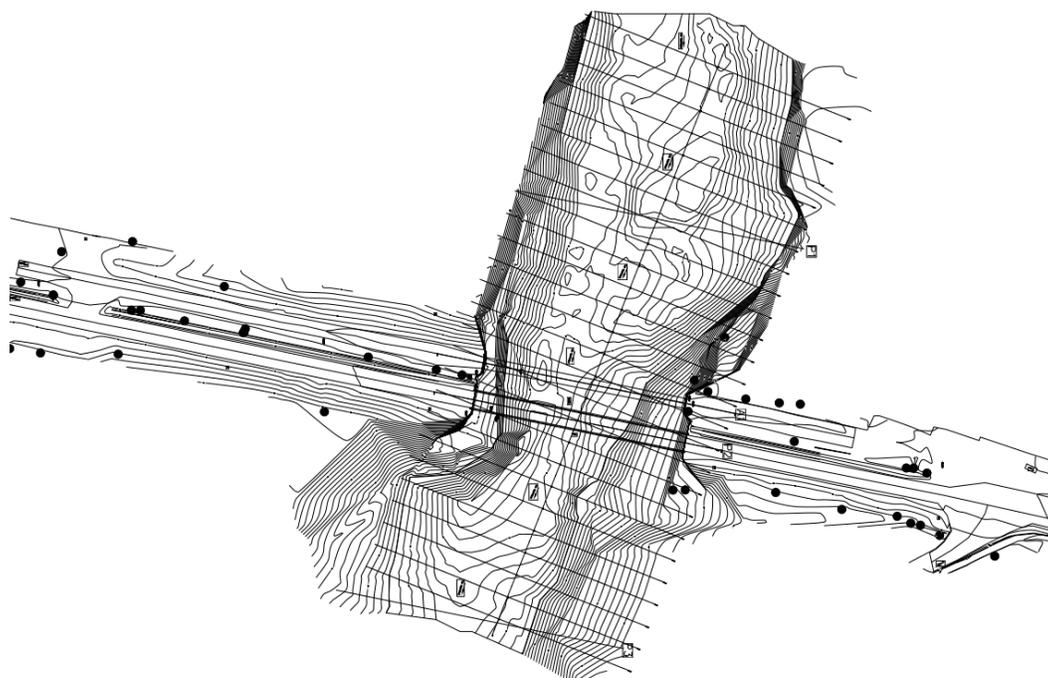


Figura 36. Vista general del plano con curvas de nivel a cada 0.50 m para la zona donde se ubica el puente.

Fuente: Elaboración MOPT

Se realizó un levantamiento batimétrico para determinar la configuración del fondo del río mediante el uso de equipo especializado de medición. Se tuvieron presentes las condiciones ambientales en el medio de medición (temperatura, nivel del espejo de agua, velocidad del sonido, entre otros).

El procedimiento se realizó mediante la instalación del equipo en una embarcación que permitiera ejecutar la ruta de trazado según el planeamiento pre-ejecución, la cual consistió en una ruta perpendicular a las orillas de la zona de estudio según el espaciamiento requerido.

El resultado obtenido del ejercicio fue una base de datos con información geoespacial (X,Y,Z) de la zona de estudio, la cual puede ser representada mediante dibujo digital.

En la Figura N°37 se observa el perfil levantado para la sección bajo el puente en noviembre de 2018. Se estableció una comparación con el perfil histórico de 1974 y se encontró una mayor profundidad en la actualidad.

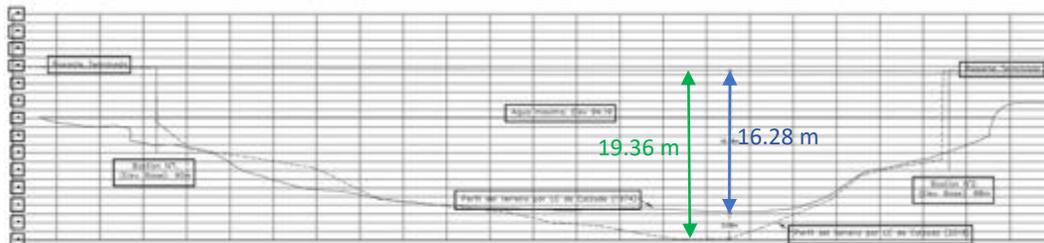


Figura 37. Perfil de la sección bajo el puente. Comparación para el nivel de terreno en 1974 (flecha azul) y 2018 (flecha verde).
Fuente: Elaboración MOPT

4.5 Análisis de riesgos

De acuerdo con la Tabla N°1 de este estudio y las definiciones específicas adoptadas en la sección 2.3.1, el desglose de los elementos estructurales analizados se muestra en la Tabla N°26.

Tabla 26. Detalle de elementos según cada sección del puente.

Accesos	<ul style="list-style-type: none"> o Rellenos de aproximación. o Calzada de acceso. o Drenajes de aproximación.
Subestructura	<ul style="list-style-type: none"> o Fundaciones. o Bastiones.
Superestructura	<ul style="list-style-type: none"> o Vigas transversales y longitudinales. o Cerchas principales. o Sistema de arriostramiento. o Losa de rodamiento. o Apoyos.
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> o Pavimento. o Drenajes. o Baranda de acero. o Juntas. o Elementos de seguridad vial.
Otros componentes	<ul style="list-style-type: none"> o Líneas de transmisión eléctrica. o Puente antiguo. o Sistema de agua potable. o Rutas alternas. o Sección hidráulica bajo el puente. o Árboles. o Torres de telecomunicación. o Estación hidrológica.
Personal de operación y mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los umbrales climáticos establecidos en las secciones 4.4.1 y 4.4.2, se procedió a ejecutar los ciclos de análisis para la evaluación de las interacciones entre elementos estructurales y los eventos climáticos, de acuerdo con el procedimiento de tres etapas expuesto al inicio del capítulo 4. En la Figura N°38 se describe de forma gráfica el proceso.



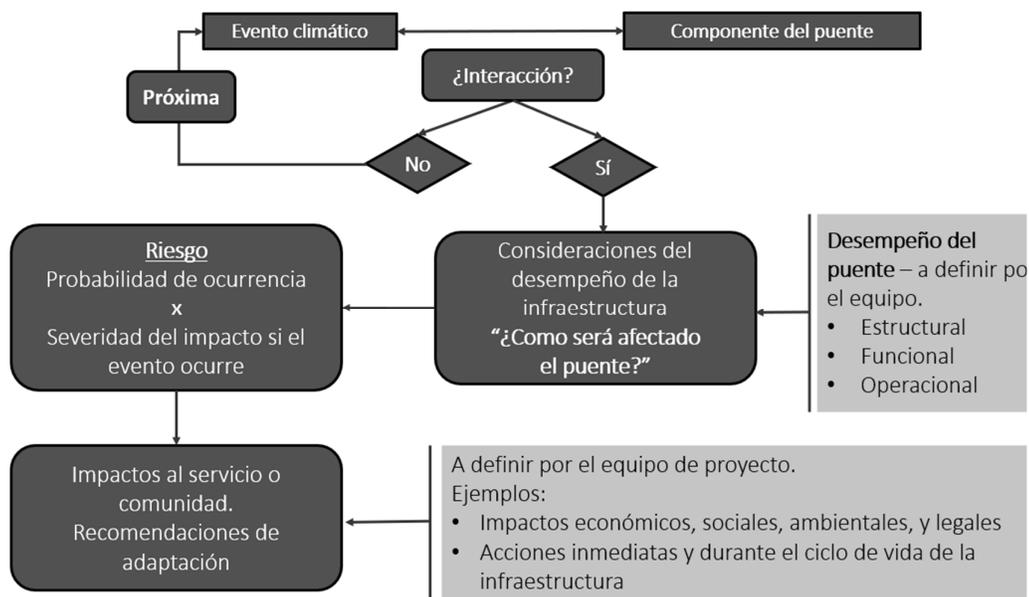


Figura 38. Procedimiento de análisis para matrices de riesgo.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.1 Interpretación del análisis

Una vez realizadas las multiplicaciones de cada interacción, se obtienen los puntajes para cada uno de los riesgos.

A manera de resumen y debido a la amplitud de la matriz resultante, en la Figura N°39 se observa la distribución de riesgos identificados por tipo, según las condiciones de clima actual y clima futuro. Destacan los cambios en los riesgos extremos y bajos de un escenario al otro.

En los casos de riesgos extremos se pasó de no tener riesgos de esa categoría en el escenario actual, a tener 35 casos para el clima futuro. De forma similar, los riesgos bajos disminuyeron de 106 a 69 cuando se consideran las condiciones de clima actual y futuro.

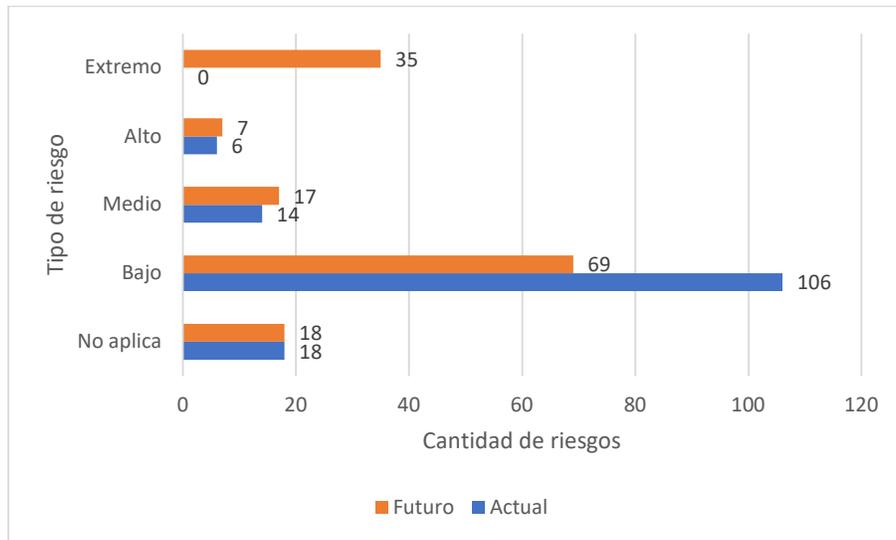


Figura 39. Comparación de riesgos identificados según climas futuro y actual.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente el detalle de estos riesgos según los dos eventos climáticos seleccionados para analizar con el puente.

4.5.1.1 Lluvia de inundación.

En el caso de la lluvia de inundación, las condiciones que han producido crecidas que afectan la operación y funcionamiento del puente se resumen en la sección 4.4.1 de este informe.

Bajo el criterio del clima actual, en la Figura N°40 se observa la distribución de los riesgos identificados, destacando seis en el rango alto que requerirían alguna acción prioritaria. No se identificaron riesgos extremos. Para todos los elementos se consideró que hay interacción y la mayoría de los riesgos son de bajo impacto (52 ocasiones).

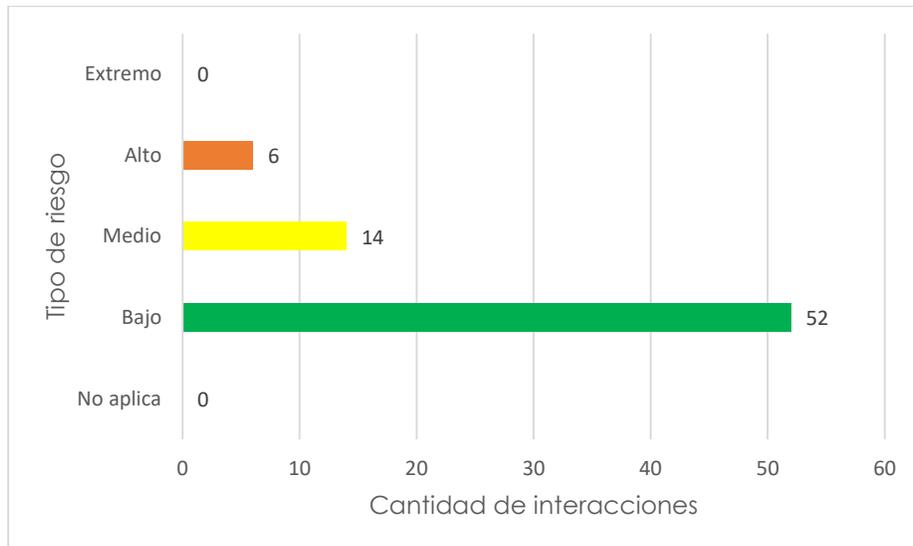


Figura 40. Identificación de riesgos para lluvia de inundación según clima actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°41 se observa la distribución de los riesgos altos según el criterio de desempeño, con igual porcentaje de afectación estructural que operacional, 50% para cada uno. En este apartado, no se encontraron riesgos altos a nivel funcional.

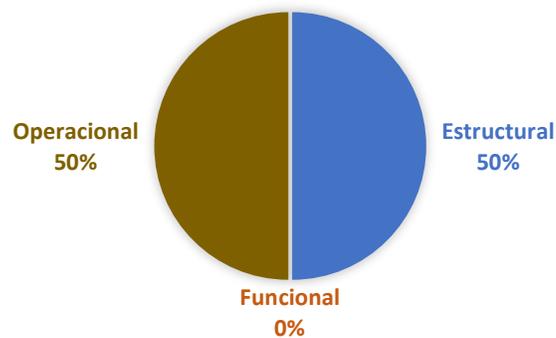


Figura 41. Porcentaje de riesgos altos por criterio de desempeño para lluvia de inundación según clima actual.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el criterio del clima futuro, en la Figura N°42 se observa la distribución de los riesgos identificados, destacando siete en el rango alto y 35 considerados extremos que requerirían alguna acción inmediata. En todos los elementos se consideró que hay interacción ("no aplica" indica cero interacciones).

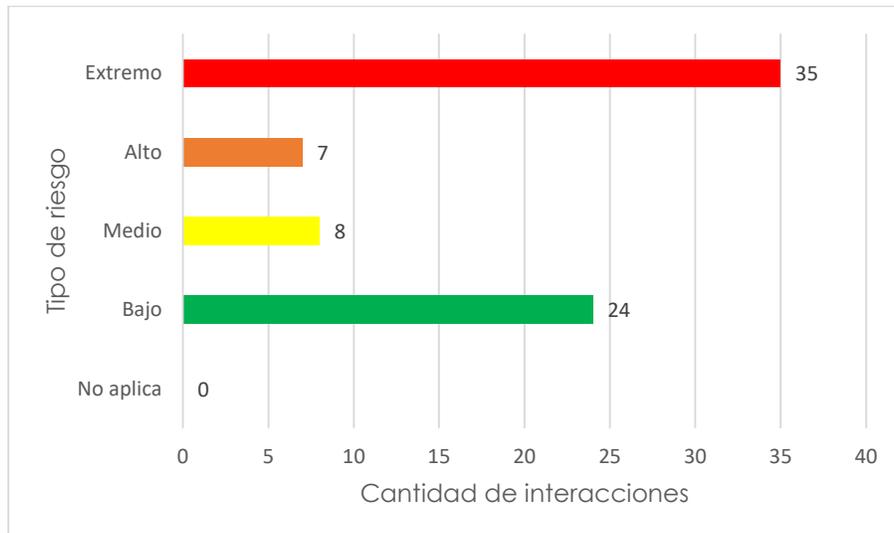


Figura 42. Identificación de riesgos para lluvia de inundación según clima futuro.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°43 se observa la distribución de los riesgos altos y extremos según el criterio de desempeño, con igual porcentaje de afectación estructural que funcional, 36% para cada uno y un 28% a nivel operacional.

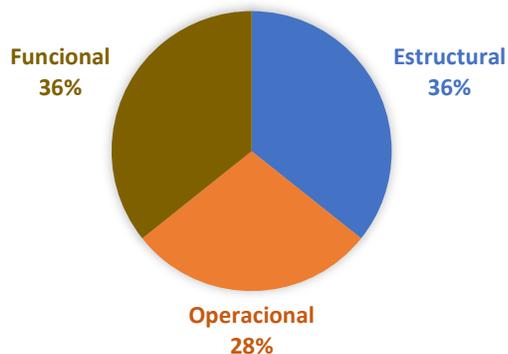


Figura 43. Porcentaje de riesgos altos y extremos por criterio de desempeño para lluvia de inundación según clima futuro.

Fuente: Elaboración propia.

Destacan dos elementos a destacar. En primera instancia, la afectación esperada en el futuro ya no solo se limitó a nivel estructural y operacional, sino también a nivel funcional, lo cual implica que, a futuro, la infraestructura no estaría en capacidad de brindar el servicio para la cual existe. Se debe resaltar que, con la variación de los escenarios climáticos, el equipo de trabajo aumentó la afectación sobre el puente, en caso de que se materialice el riesgo calculado. En segundo lugar, resalta el aumento de interacciones con riesgos altos y extremos, pasando de seis para clima actual a 42 según la proyección de clima futuro.

4.5.1.2 Ráfagas de viento.

Para las ráfagas de viento, las condiciones que han producido algún problema en la operación y/o funcionamiento del puente se resumen en la sección 4.4.2 de este informe.

Bajo el criterio del clima actual, en la Figura N°44 se observa la distribución de los riesgos identificados, destaca el hecho de que no hay identificación de eventos con riesgos altos o extremos y en 18 casos no se considera que haya interacción. La mayoría de los riesgos se consideran bajos, 54 en total.

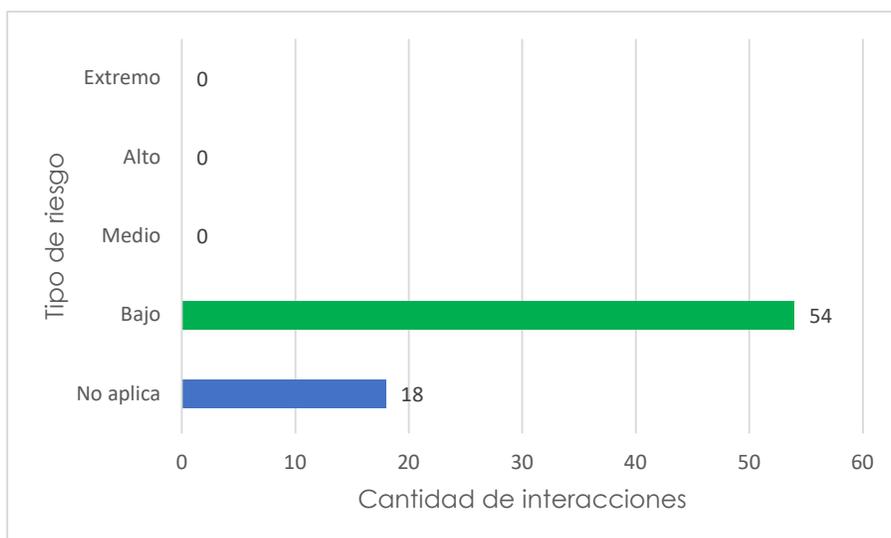


Figura 44. Identificación de riesgos para ráfagas de viento según clima actual.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el criterio del clima futuro, en la Figura N°45 se observa la distribución de los riesgos identificados, destaca la conceptualización de nueve interacciones que pasan de riesgo bajo a riesgo medio. Se mantienen los 18 casos que no aplican y se mantiene la condición de no representar riesgos altos o extremos.

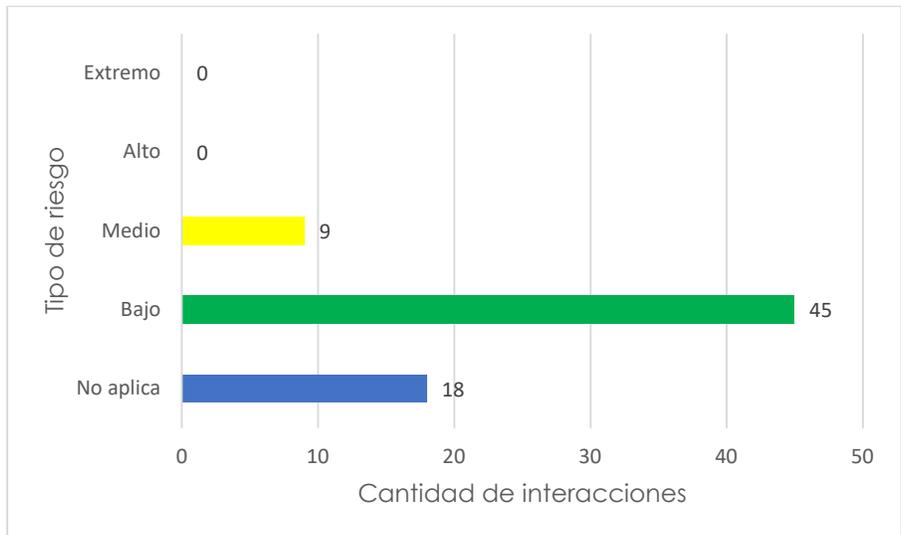


Figura 45. Identificación de riesgos para ráfagas de viento según clima futuro.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.3 Análisis de riesgos.

En la Tabla N°27 se presentan los principales elementos de la estructura que podrían verse afectados, así como el tipo de impacto a nivel de desempeño que podría sufrir.

Tabla 27. Resumen de riesgos identificados.

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 arriostamiento ○ 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

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla N°27, hay tres secciones completas (con todos los elementos que las componen) que se verían afectadas: los accesos, la superestructura y los accesorios. El razonamiento adoptado por el equipo de trabajo parte de la condición inundada que se asocia en el sitio, en el entendido de que se tiene una planicie de inundación aguas arriba del puente y, por consiguiente, la sección bajo el puente se constituye en un embudo. Adicionalmente, la existencia del puente antiguo produce características de vertedor con sus consecuencias sobre el flujo aguas abajo y la posible afectación al puente nuevo.

En el caso de que se materialice el riesgo de inundación con un nivel superior al de la losa de rodamiento del puente, es posible pensar que se perderá la infraestructura por arrastre con la escorrentía.

Con base en el párrafo anterior, vuelve a destacar la necesidad de estimar el nivel del río para los eventos climáticos futuros. Este aspecto es uno de los que podrían ser abordados a través del Paso 4 que propone el PIEVC, con un análisis más detallado. No obstante, debido al alcance del presente estudio, no se contó con el tiempo suficiente para llevarlo a cabo en el marco del desarrollo del proyecto. Sin embargo, se logró establecer una cooperación por parte del Centro de Servicios Climáticos de Alemania GERICS, institución iniciada por el Gobierno Federal Alemán en el 2009. Dicha institución estará realizando una modelación para establecer una relación entre el posible incremento en las precipitaciones extremas y el aumento de caudal del río Tempisque. La idea es construir una ficha técnica con información climática relevante que permita a los diseñadores tomar en cuenta la afectación por cambio climático para el cálculo del diseño del puente.

En la Tabla N°28 se presenta un resumen de la variación en la cantidad de los riesgos evaluados para los eventos climáticos en el estudio.

Tabla 28. Variación en la cantidad de riesgos según el escenario climático.

Riesgo	Clima		Variación
	Actual	Futuro	
No aplica	18	18	0
Bajo	106	69	-37
Medio	14	17	3
Alto	6	7	1
Extremo	0	35	35

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los riesgos que no presentaron interacción entre los elementos del puente y el clima actual se mantuvo constante para el clima futuro. La apreciación inicial de que la influencia de las ráfagas del viento podría tener algún tipo de riesgo alto o extremo desapareció.

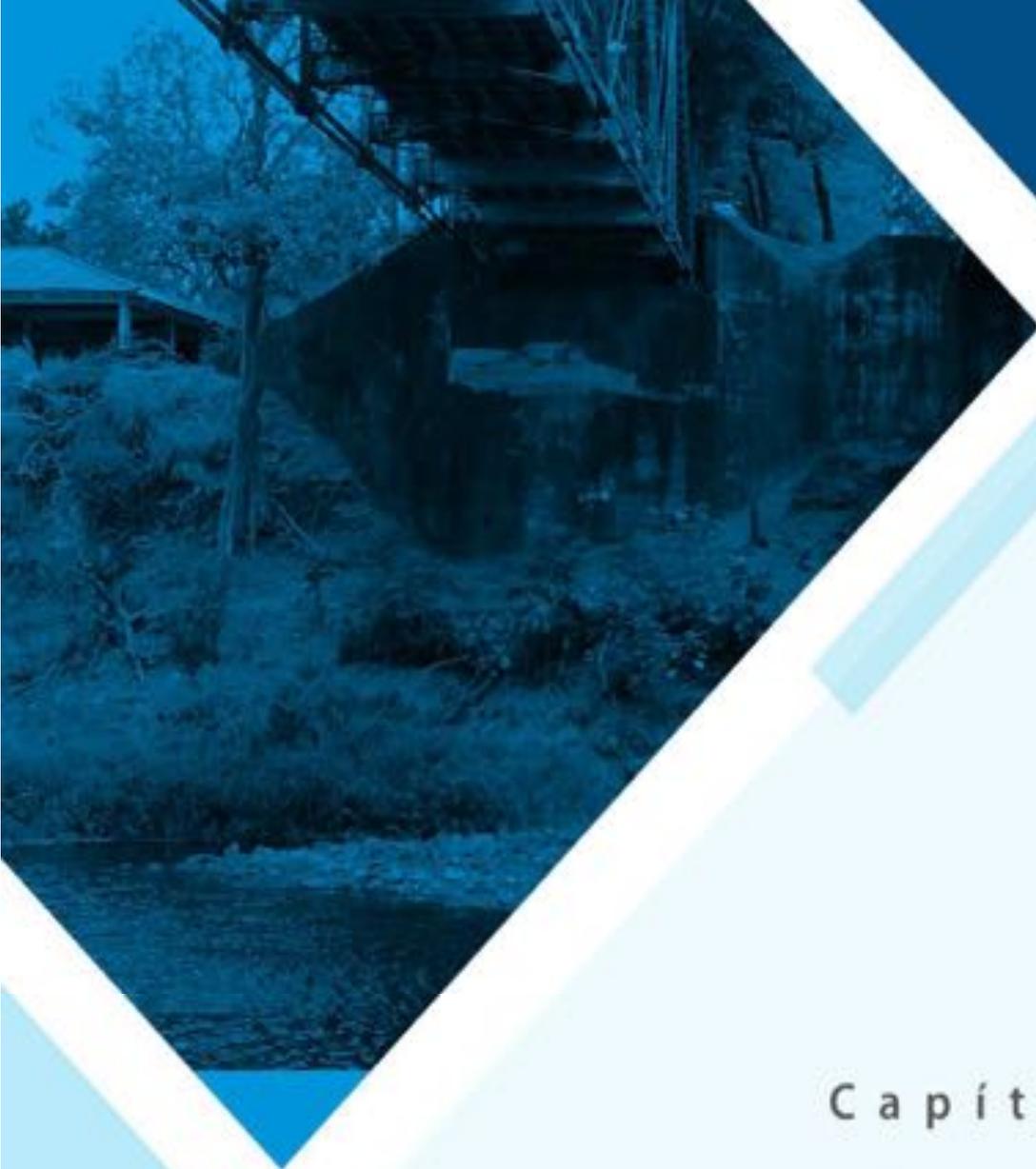


Sin embargo, en 37 valoraciones los riesgos bajos se transformaron en riesgos de mayor severidad, incluso pasando a riesgos extremos en la mayoría de los casos. Esta condición se debe a que el equipo de trabajo consideró que la condición crítica se presentará cuando el nivel del agua sobrepase el nivel de la losa de rodamiento en el puente. Si esto se materializa, los accesos, la superestructura y los accesorios se verían seriamente afectados o destruidos.

En relación con los riesgos medios, se identificó un incremento de tres valoraciones para el clima futuro. De forma similar se identificó un riesgo alto adicional para la proyección climática.

En resumen, se espera una situación de mayor riesgo para el puente según las condiciones climáticas proyectadas en relación con las condiciones actuales de clima.





Capítulo 5

Análisis de ingeniería

5 PASO 4: ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Como se comentó en secciones anteriores, el Paso 4 es de carácter opcional. Se aplica cuando el equipo de trabajo tiene dudas sobre la capacidad de la infraestructura para soportar las exigencias climáticas, y el análisis resultante del Paso 3 deja algunas dudas con respecto a ciertos riesgos.

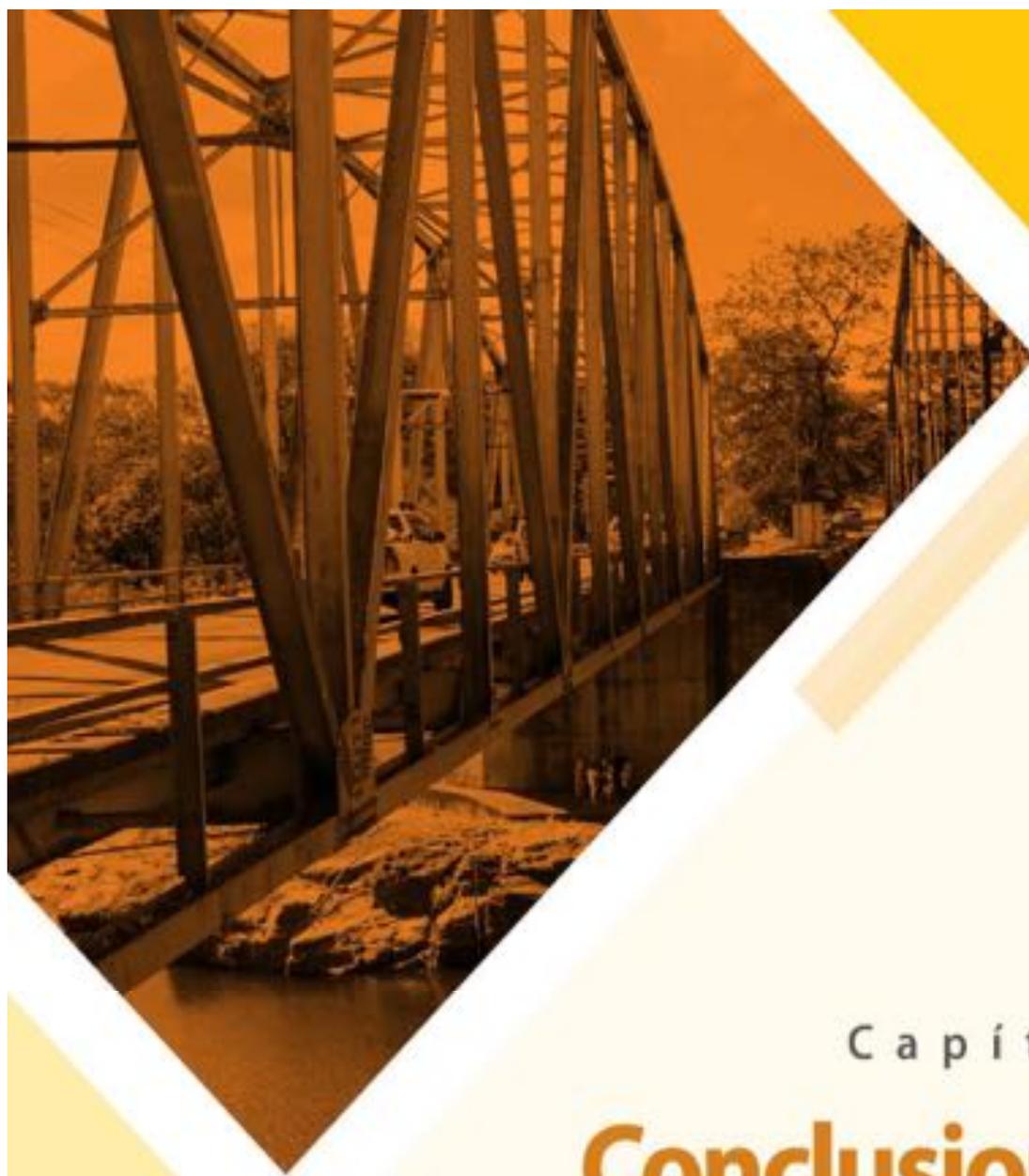
En el presente estudio no se consideró necesario realizar este paso. Aunque la valoración resultante no dejó dudas, sí se determinó la necesidad por parte de los expertos en diseño para determinar el nivel del río Tempisque según las condiciones futuras de lluvia, el cual es el dato identificado como base para la toma de decisiones en cuanto a la posible intervención del puente, independientemente de que se decida rehabilitar el existente o construir uno nuevo.

Así, tanto los representantes del MOPT como del CONAVI requieren dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuál sería, aproximadamente, el caudal esperado (que permita luego estimar el nivel seguro de rasante del puente en Guardia sobre el río Tempisque), considerando la variable de cambio climático?

Debido a que la respuesta a la interrogante es un dato específico propio de procesos de diseño de infraestructura, queda fuera del alcance de este estudio.

Por lo tanto, como se mencionó en la sección anterior, la colaboración de GERICS está orientada precisamente a realizar la estimación de ese caudal mediante un estudio científico, con el fin de que, a través de modelado y proyecciones, se pueda identificar un porcentaje aproximado de incremento en los caudales del río Tempisque, y por ende el nivel de rasante que se desea. Este estudio estará disponible al finalizar el primer cuatrimestre de 2020.



Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

6 PASO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Protocolo PIEVC brinda la siguiente definición de infraestructura:

*“Aquellas facilidades, redes y activos operando **para beneficio de la colectividad pública**, incluyendo la salud, seguridad, bienestar cultural o económico de los residentes de un país o región, operados por el gobierno y/o agencias no gubernamentales.”*

En resumen, la infraestructura existe para brindar un servicio. Es por ello por lo que la incorporación de medidas de adaptación que tomen en cuenta los efectos debidos o no al cambio climático, es necesaria para disminuir el riesgo de que el servicio se vea interrumpido ante la manifestación del riesgo al activarse el umbral de los eventos climáticos analizados.

En el caso específico del puente de Guardia y de los demás elementos comentados por el equipo de trabajo, la lista de componentes que se determinó para el análisis de riesgo presenta algunos de ellos con una larga vida útil, prácticamente la totalidad del horizonte de tiempo determinado, mientras que otros componentes tienen una vida útil muy corta, y que requieren un consumo mayor de los procesos de operación y mantenimiento.

En general, y aún con un proceso de mantenimiento que ha evidenciado no ser riguroso a lo largo del tiempo, la infraestructura existente ha soportado los embates de los eventos climáticos a los cuales se ha enfrentado. Como se pudo observar en el resultado del análisis de riesgo, existen diversos componentes para los cuales el aumento en la intensidad y la frecuencia de los eventos climáticos que le han afectado en el pasado, implican un aumento en el riesgo estructural, operacional y funcional. Por lo tanto, deben generarse medidas de adaptación que ayuden a generar resiliencia en el sistema.

6.1 Conclusiones

Las conclusiones que se detallan a continuación no se presentan según un orden de importancia específico.

- a. La subcuenca que recolecta las aguas llovidas que pasan debajo del puente en estudio es poco propensa a crecidas instantáneas, aún cuando el drenaje característico es lento según sus peculiaridades de topografía, altitud, longitud de cauce, pendientes y otros aspectos que la definen.
- b. Se determinó mediante los acumulados de lluvias mayores a 300 mm entre cinco a ocho días, que esos eventos se asocian a las principales crecidas que han afectado el funcionamiento del puente.
- c. Durante los meses de octubre se concentran con mayor frecuencia las inundaciones, lo cual podría relacionarse con la situación de que los meses de

agosto y setiembre contribuyen a saturar el suelo y aumentar el caudal de los ríos, provocando que en octubre se detona el problema.

- d. Se identificaron vacíos de información en los registros de operación y mantenimiento en el puente. No existen registros acordes con la información necesaria para el desarrollo de los análisis climáticos que se requieren. La implementación de un sistema específico para la recolección de datos pertinentes representa una oportunidad importante de mejora para el registro de información.
- e. La disponibilidad de información climática es determinante para identificar los umbrales que podrían afectar cualquier infraestructura en estudio. El fomento de convenios para compartir información entre instituciones y organismos científicos y tecnológicos, podría ser una práctica necesaria para mejorar los estudios preliminares de todo proyecto.
- f. Se lograron desarrollar capacidades en personal de instituciones públicas para la aplicación del protocolo PIEVC utilizando como caso de estudio el puente de sobre el río Tempisque a la altura de Guardia, pero sobre todo se generó un equipo capacitado para desarrollar un pensamiento desde el punto de vista de gestión del riesgo de la infraestructura, orientado hacia el cambio climático.
- g. La implementación de metodologías de análisis que incentiven la toma de decisiones con criterio técnico son determinantes en el ámbito de la infraestructura. En este caso específico, la identificación de las causas puntuales que podrían afectar el puente permite focalizar esfuerzos y reducir costos en la intervención que se haga sobre el puente.
- h. Se hizo un aporte para la toma de decisiones para intervenir el puente, siendo que se tenían dos alternativas: reforzar y reparar el puente actual o construir uno nuevo. El análisis multidisciplinario e interinstitucional fue valioso y relevante. El compromiso de las partes para mantener el servicio público que brinda el puente fue determinante para concluir que la decisión de reparar y reforzar el puente actual permite una mejor administración de los recursos públicos en el corto y mediano plazo, permitiendo una planificación adecuada para la construcción de un puente nuevo en el largo plazo.
- i. Se logró determinar y justificar técnicamente que el puente sobre el río Tempisque, localizado entre Guardia y Comunidad es vulnerable ante eventos hidrometeorológicos extremos, los cuales podrían intensificarse debido a los efectos del cambio climático, así como también por cambios en el entorno de la cuenca hidrográfica, como modificaciones en el uso del suelo en el futuro.
- j. La interrupción del paso sobre el puente debido a crecidas del río durante la época lluviosa conlleva problemas de servicio en la zona. Con el cierre temporal se identificaron al menos tres impactos directos: la imposibilidad de abastecimiento con suministros, ya sea para consumo normal o por emergencia; el traslado de colaboradores, ya sea por trabajo habitual o para atención de emergencias; y finalmente, para la salida de turistas a través del aeropuerto internacional Daniel Oduber, ya que si se encuentran del lado de la margen izquierda del río, podrían perder sus vuelos, siendo que la ruta alternativa por vía

terrestre es por el Puente La Amistad Ruta 18, ubicado a más de 68 km aguas abajo con un recorrido superior a los 200 km para llegar a este aeropuerto.

- k. Los puentes en Costa Rica se diseñan y construyen respetando las buenas prácticas de la ingeniería, así como la normativa vigente, razón por la cual se considera que los factores de seguridad y otras consideraciones ya contemplan cierta capacidad para soportar los embates del clima y por ende, a la fecha, no se han producido daños a este nivel en la estructura.

6.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se brindan a continuación no se presentan con un orden de prioridad específico.

- a. Revisar las políticas de operación y mantenimiento de la infraestructura.

Para ello, es necesario identificar cuáles son las restricciones presupuestarias y de recursos que impiden un adecuado procedimiento de gestión de activos y exponerlas a los tomadores de decisión.

Solamente a manera de referencia, existen estudios recientes respaldados por el Banco Interamericano de Desarrollo, los cuales demuestran que un proceso adecuado de planificación, operación y mantenimiento que incorpore el componente de gestión de riesgos, reduce cuatro dólares en pérdidas por cada dólar invertido. De esta manera, lo que se podría percibir en primera instancia como un gasto, es en realidad una inversión de cara a las amenazas a las que se ve expuesta la infraestructura.

- b. Mejorar el proceso de registro de información ante labores de operación y mantenimiento.

Por ejemplo, se podría valorar la generación de una herramienta, preferiblemente digital, mediante la cual se pueda sistematizar la información correspondiente a emergencias atendidas, inspecciones, tareas de mantenimiento, etc. Dicha herramienta puede ser una hoja electrónica o un archivo de texto, lo que el equipo institucional considere de mayor utilidad, donde se realicen las anotaciones más importantes de la situación que corresponda.

Es importante señalar que, aunque de las inspecciones realizadas el resultado obtenido sea que no es necesario tomar ninguna acción preventiva o correctiva, el procedimiento quede documentado, con observaciones y fotografías, pues la trazabilidad de ese tipo de eventos es necesario para análisis futuros que deba realizar la institución dueña de la infraestructura.

Se requiere desarrollar uniformidad en los procesos mediante la unificación de esfuerzos, criterios y fuentes de información; de forma que se puedan realizar análisis de riesgos, diseño, etc.; de forma medible y comparable donde corresponda.

- c. Identificar aquellos árboles que podrían afectar el acceso al puente si caen o se quiebran sus ramas.

En los procesos de mantenimiento que se realizan a la ruta, se podría incorporar un proceso de poda con una frecuencia mayor, de manera que, ante eventos de viento extremo, las ramas que puedan caer en la carretera sean removidas con mayor facilidad y disminuir el riesgo de interrupción del servicio que brinda la vía.

- d. Mejorar el acceso a la información y los servicios climáticos que se ofrecen, con un enfoque ingenieril.

Una de las dificultades mayores que señalan los tomadores de decisión, es la restricción que existe para el acceso a los datos y a servicios climáticos que se acoplen a las necesidades de quienes les requieren. El establecimiento de alianzas estratégicas con instituciones permitió completar la tarea en el marco del proyecto, pero la necesidad de las instituciones va más allá de completar las tareas desarrolladas para tal fin.

- e. Realizar un estudio hidrológico – hidráulico para la subcuenca del río Tempisque.

A través de la institución GERICS, actualmente se está desarrollando una modelación que permitirá conocer cuál sería el caudal aproximado esperado en la zona de interés del estudio, incorporando la variable de cambio climático, lo cual resulta relevante para apoyar la toma de decisiones en cuanto a la rehabilitación del puente y su nuevo diseño en el largo plazo.

Adicionalmente, más allá de resolver la interrogante que responde a una cuestión específica de diseño, y que permitirá definir el nivel seguro de rasante del puente, la aplicación de un análisis de este tipo con la incorporación de proyecciones de cambio climático pretende también que el proceso ayude en la generación de capacidades de los profesionales sobre un abordaje que sería pionero en Costa Rica, de manera que eventualmente el resultado pueda ser replicado en los procesos de planificación y diseño para otras obras de infraestructura.

- f. Coordinar con el AyA para mantener el monitoreo de los caudales del río Tempisque en el sitio de estudio.

Se requiere que la estación hidrográfica tenga un mantenimiento adecuado para garantizar su correcta funcionalidad y evitar un rápido deterioro. De esta forma, se puede lograr que los datos se generen y puedan ser utilizados para incorporarlos en los análisis que se requieran.

- g. Revisar las pautas de diseño de drenaje para el puente y considerar la posibilidad de incluir provisiones para aumentos del 4% al 8% en los datos de intensidad de lluvia para nuevas reconstrucciones.

- h. De acuerdo con la experiencia de los diseñadores de puentes, la utilidad de curvas IDF actualizadas a partir de las pautas de diseño aplicables sería un aporte muy importante como parte de los servicios climáticos que se requieren con visión ingenieril. Por lo tanto, se recomienda mantener actualizadas las



curvas IDF que se podrían solicitar al IMN, coordinando previamente con instituciones como MOPT y CONAVI para que ellos brinden lineamientos orientados a los servicios climáticos que requieren.

- i. Coordinar con la institución que corresponda, el retiro de las tuberías adosadas al puente en operación.

Actualmente, la presencia de tuberías que transportan agua a presión y que presentan fugas, potencian el deterioro de la infraestructura, al mismo tiempo que se convierten en un peligro ante eventos climáticos como los documentados, los cuales podrían provocar la ruptura de esas tuberías y la eventual interrupción de esos servicios conexos.

- j. Sensibilizar a la Municipalidad sobre el tema de regular el uso de suelo del cantón de Liberia.

La proyección que se tiene hacia la construcción del Plan Regulador en ese sector es determinante para el comportamiento futuro de la cuenca. La impermeabilización del suelo con desarrollos urbanísticos podría cambiar el patrón de escorrentía que se evidenció en este estudio.

Adicionalmente, debe evitarse el otorgamiento de permisos de construcción en zonas de riesgo (como por ejemplo la edificación que se encuentra abandonada en la margen izquierda del río hacia aguas arriba del puente).

- k. Mantener las discusiones interinstitucionales y multidisciplinarias.

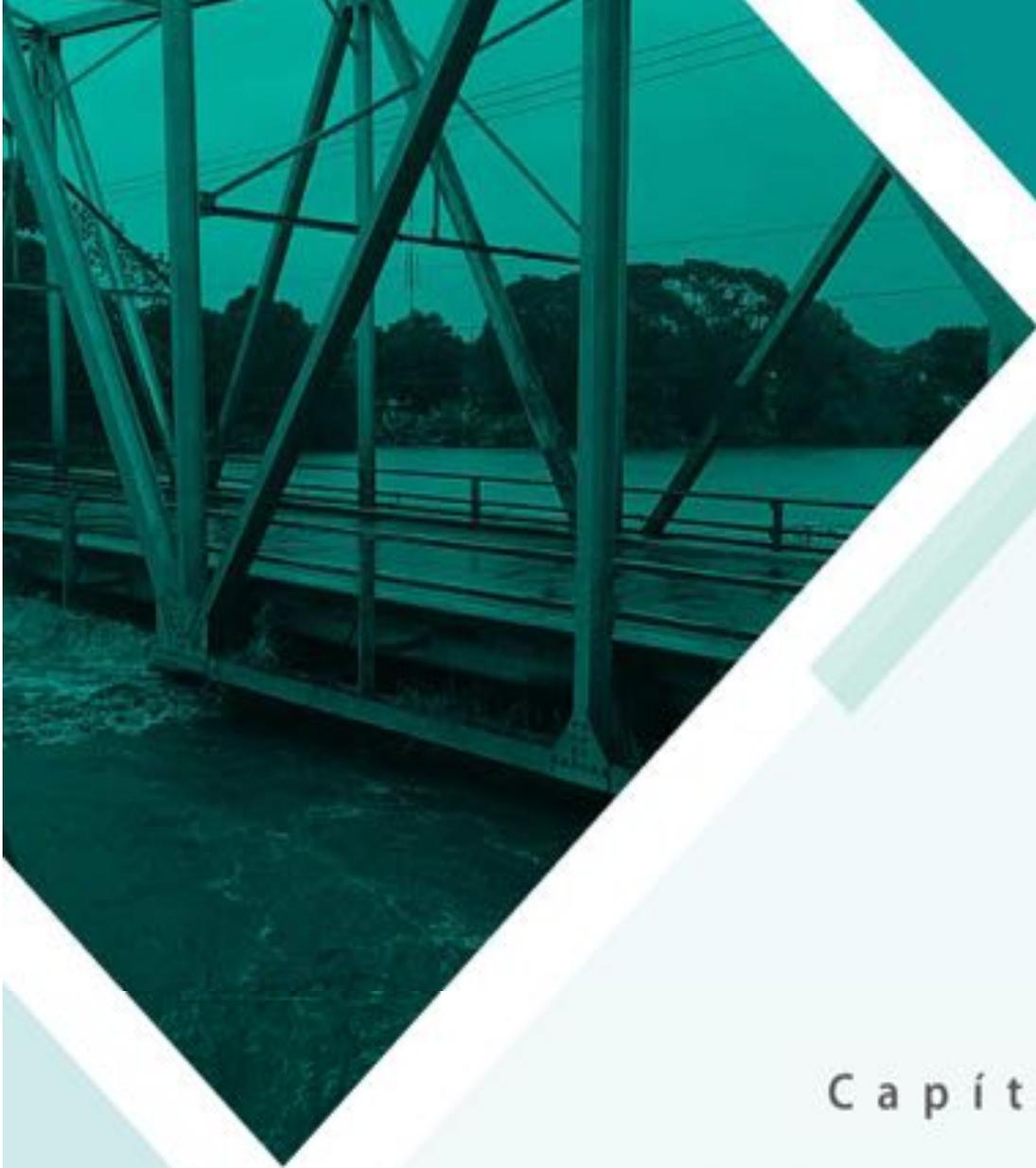
La participación de diferentes puntos de vista en el desarrollo y evaluación de proyectos de infraestructura es parte del enriquecimiento del proceso. Medidas de adaptación que consideren diversas aristas relacionadas conllevan a lograr infraestructura resiliente para las solicitudes climáticas, naturales y antropológicas.

- l. Desarrollar una metodología costarricense que contemple las necesidades de las instituciones públicas.

La aplicación del protocolo PIEVC permitió ratificar la importancia de utilizar los servicios climáticos con un enfoque ingenieril para estudios como el desarrollado.

Si bien la herramienta permite un registro y análisis sistematizado de la información sobre la infraestructura y el clima, se identificó la necesidad de que Costa Rica cuente con una metodología adaptada a las realidades y necesidades del país. Durante el 2020, se estará trabajando en una comisión interinstitucional, con el fin de hacer realidad la creación de una herramienta que satisfaga las necesidades de las diferentes instituciones dueñas de infraestructura.





Capítulo 7

Bibliografía

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, E.J; Quesada, A. 2010. Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. Intersedes. Vol. 11, N. 22. Consultado Abr. 2019. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/991>
- Alfaro, E.J.; Quesada, A.; Solano, F. 2010. Análisis del impacto en Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007. Diálogos Revista Electrónica de Historia, vol. 11, núm. 2, pp. 22-38. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Consultado Dic. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43922144002>
- Alvarado, A., Mata, R., & Chinchilla, M. (2013). ARCILLAS IDENTIFICADAS EN SUELOS DE COSTA RICA A NIVEL GENERALIZADO DURANTE EL PERÍODO 1931-2014: II. MINERALOGÍA DE ARCILLAS EN SUELOS CON CARACTERÍSTICAS VÉRTICAS Y OXÍDICO CAOLINÍTICAS. San José: Agronomía Costarricense 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 / 2014 www.mag.go.cr/rev_agr/index.html, www.cia.ucr.ac.cr.
- Alvarado, L.F; Alfaro, E.J. 2003. Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos 10 (1) 1-11. San José, Costa Rica.
- amprensa. (2018, 10 04). amprensa.com. Retrieved from <https://amprensa.com/2016/11/galeria-precaucion-rio-tempisque-se-desborda/>.
- Amador, J.A. 2000. EL ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos 7(1). San José, Costa Rica.
- Arellano, F; Vargas, A. 2001. Casos de contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros de la península de Nicoya (Costa Rica). Geológica de América Central, 25: 77-84. San José, Costa Rica. Consultado Ago 2018. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8540>
- Atlas,TEC. (2008). Archivos, GIS, Atlas del Instituto Tecnológico Nacional. Cartago.
- Balaguru, K; Leung, L.R; Foltz, G. 2018. Increasing Magnitude of Hurricane Rapid Intensification in the Central and Eastern Tropical Atlantic: Hurricanes and Rapid Intensification. Geophysical Research Letters 45(2). Consultado May. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/324927400_Increasing_Magnitude_of_Hurricane_Rapid_Intensification_in_the_Central_and_Eastern_Tropical_Atlantic_Hurricanes_and_Rapid_Intensification
- Benichevich, A; Lizano, O.G. 1998. Interconexión a nivel ciclónico-atmosférico entre el Caribe y el Pacífico centroamericano. Biología Tropical, 46 Suplemento 5. Consultado May. 2019. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/29362>
- Bhatia, K.T; Murakami, H; Vecchi, G. 2018. Projected Response of Tropical Cyclone Intensity and Intensification in a Global Climate Model. Journal of Climate. Vol 31. Consultado Abr. 2019. Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/326759021_Projected_Response_of_Tropical_Cyclone_Intensity_and_Intensification_in_a_Global_Climate_Model

Brenes, A; Saborío, V.F. S.F. Elementos de Climatología, su aplicación didáctica a Costa Rica. Serio Geografía No. 1. Editorial UNED. San José, Costa Rica. Consultado May. 2019. Disponible en https://books.google.co.cr/books?id=G-Bb7ovml3AC&pg=PA77&lpg=PA77&dq=vientos+alisios+del+hemisferio+norte+en+costa+rica&source=bl&ots=kYw2uZSirY&sig=ACfU3U0hg_pv6JO6jQUdVBornfaghmsBRA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjlp4PGsZ7iAhUH1qwKHdOHA2U4ChDoATACegQICBAB#v=onepage&q=vientos%20alisios%20del%20hemisferio%20norte%20en%20costa%20rica&f=false

Cai, W; Wang, G; Dewitte, B; Wu, L; Santoso, A; Takahashi, K; Yang, Y; Carréric, A; Mc Phaden, M. 2018. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature* 564. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0776-9>

Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). ANDISOLES, INCEPTISOLES Y ENTISOLES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO, PIRRÍS, REGIÓN DE LOS SANTOS, TALAMANCA, COSTA RICA. *Agronomía Costarricense* 35(1): 83-107. ISSN:0377-9424 / 2011, www.mag.go.cr/revagr/index.html, www.cia.ucr.ac.cr.

CNE. SF. Deslizamientos, Inundaciones, Sismos. Área de Formación y Capacitación. Consultado Ene 2019. Disponible en https://www.cne.go.cr/educacion_asesoria/7/Folleto_Deslizamientos.pdf

CNE. (2007). TEMPORAL PACIFICO CENTRAL, PACIFICO NORTE Y VALLE CENTRAL ASOCIADOS A BAJAS PRESIONES. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Datos, ICE. (2018). Higrogramas de caudal, en archivos con formato Excel, del Instituto Costarricense de Electricidad. San José.

Datos, IMN. (2018). Datos y Metadatos, archivo en formato Excel, de las estaciones medidoras de precipitación por parte del IMN. San José.

Eichelberger, S; McCaa, J; Nijssen, B; Wood, A. 2008. Climate Change Effects On Wind Speed Predicted changes in wind speeds due to global warming are expected to be modest, but are large enough to affect the profitability of wind projects. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.3tier.com/static/ttcms/us/documents/NAWP-July08.pdf>

El Independiente. (2018, 10 04). diario digital el independiente. Retrieved from <https://diariodigitalelindependiente.com/2017/10/05/guanacaste-castigado-por-tormenta-tropicalhay-muchas-comunidades-aisladas/>.

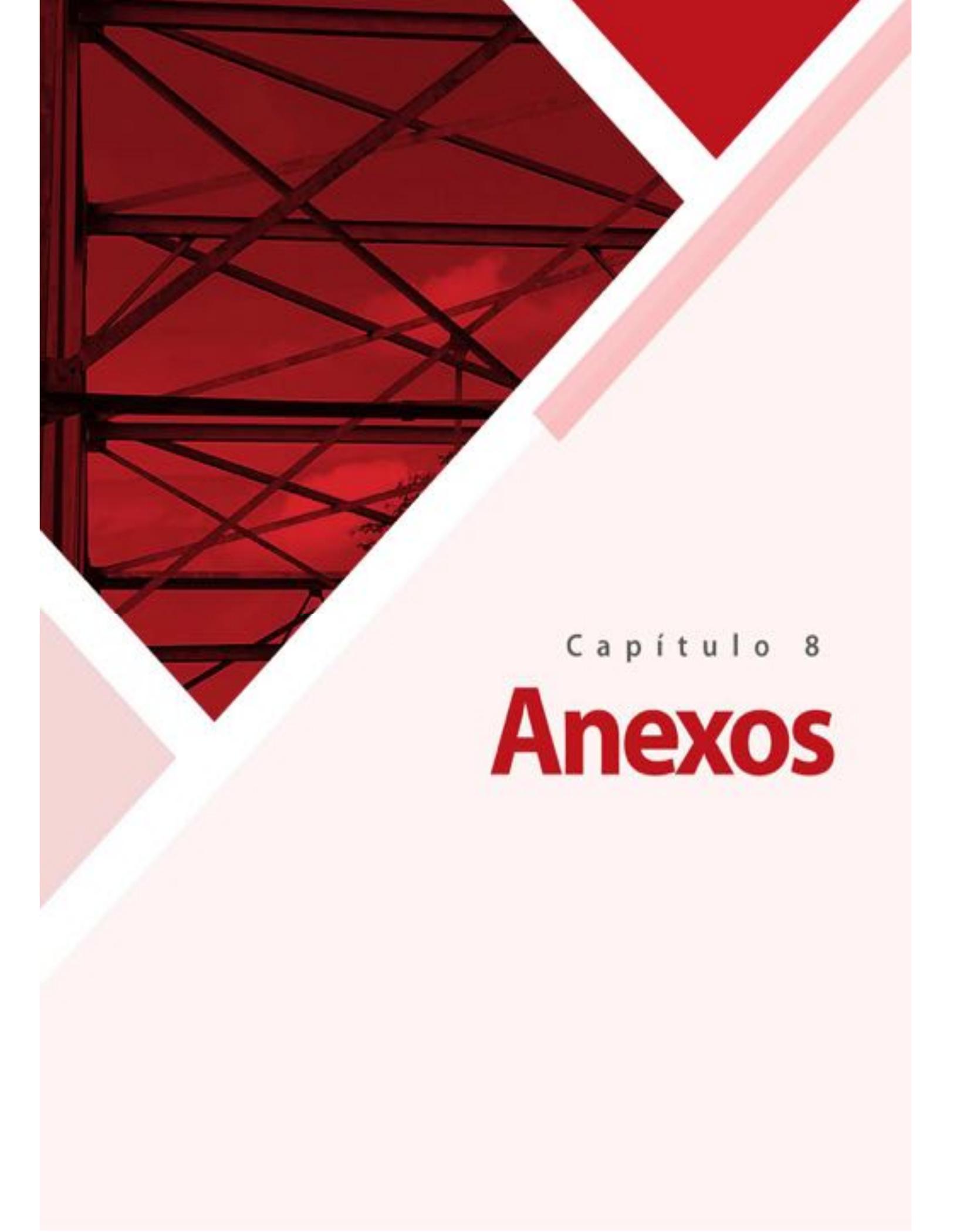
Emanuel, K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*. Vol 436 No. 4. Consultado Abr. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/nature03906>

Emanuel, K. 2017. Will global warming make hurricane forecasting more difficult? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(3). Consultado May. 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/127609348.pdf>

- Emanuelli, J. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=9lzddTJ4zq4> . Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=9lzddTJ4zq4> .
- Fallas, J.C y R. Oviedo. "Temporales". Cap. III. En: Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica
- Fasullo , J.T; Otto-Bliesner, B.L; Stevenson, S. 2018. ENSO's Changing Influence on Temperature, Precipitation, and Wildfire in a Warming Climate. Geophysical Research Letters Vol.45 No. 17. Consultado May 2019. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018GL079022>
- IMN. (2007). Boletín Meteorológico IMN del mes de Octubre del año 2007. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- IMN. (2008). Cambio Climatico, Clima, Variabilidad y Cambio Climatico en Costa Rica. San José: Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hidráulicos.
- IMN (2008). Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica (p. 75). San José, Costa Rica. Consultado Ago. 2018. Disponible en http://www.clas.ufl.edu/users/prwaylen/geo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- IMN. (2011). Estudio de la Cuenca hidrográfica del río Tempisque . San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- IMN. (2012). Atlas GIS, de Instituto Meteorológico Nacional, sobre la cobertura o uso de suelo para la subcuenca alta del río Tempisque. Instituto Meteorológico Nacional.
- IMN. (2018, 09 27). Instituto Meteorológico Nacional. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>.
- IMN. (2018, 10 11). EL ENOS OCEÁNICO-ATMOSFÉRICO COMO EVENTO PERIÓDICO. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/4-Periodicidad+del+ENOS.pdf/0d7bdb3d-2634-4218-af6d-4e5ae461be6c>.
- IMN. (2018, 10 11). ESCENARIOS DEL ENOS. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/3-Escenarios+del+ENOS.pdf/5cac5bf5-7a16-4146-a4f6-9b6ff1ac6d50>.
- IMN (SF). Sobre algunos fenómenos meteorológicos en Costa Rica. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Compendio+sobre+fen%C3%B3menos+meteorol%C3%B3gicos>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Eds. T. Stocker; D. Qin; G. K. Plattner; M. Tignor; S. Allen; J. Boschung; A. Nauels; Y. Xia; V. Bex; P. Midgley. New York, USA, 1523 p. Consultado Ago. 2018. Disponible en https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/index_es.shtml

- La Nación. (2018, 10 04). La Nación Digital. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/sin-paso-a-pueblos-de-acosta/L7IZEYQX45BXHKXP4DJ47JRAA/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). La Nación Digital. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/inundaciones-dejan-400-evacuados-en-guanacaste/3Q3I2NVBEBBLTNN6ZRX7SMQ5OQ/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). La Nación Digital. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/reparan-puente-en-guardia-de-liberia-guanacaste/M7KFXFLXGNH2BLYDGKFF4ZXLUY/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). La Nación Digital. Retrieved from <https://www.nacion.com/sucesos/1-000-evacuados-en-guanacaste-por-el-desbordamiento-de-rios/GYIFIJKU5EG5HDFKKQPPGCITY/story/>.
- La prensa libre. (2018, 10 04). laprensalibre.cr. Retrieved from <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/94248/calles-afectadas-en-zonas-de-guanacaste-por-huracan-otto->.
- Landsea, C; Vecchi, G; Bengtsson, L; Knutson, T. 2010. Impact of Duration Thresholds on Atlantic Tropical Cyclone Counts. *Journal of Climate*. Vol 23. Consultado Abr. 2019. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/doi/citedby/10.1175/2009JCLI3034.1>
- Leitón, J. (2011). Cambio en el Patrón de la Escorrentía Superficial de la Cuenca Alta del Tempisque Ante Diferentes Escenarios de Cambio Climático. San José: Universidad de Costa Rica.
- Lizano, O. 2007. Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 25(1-2). Consultado May. 2019. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/download/2215/2176/>
- MAG. (2018, 10 19). Principales Suelos de Costa Rica. Retrieved from http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html.
- Magaña, R.V. 1999. Los impactos de El Niño en México. Mexico: SEP-CONACYT. Consultado May. 2019. Disponible en <http://centro.paot.org.mx/index.php/porinstituciones/otros-organismos/73-varios/745-los-impactos-de-el-nino-en-mexico>
- Mata, A. (2018, 10 19). Riqueza y Complejidad de la Cuenca del Río Tempisque. Retrieved from <https://archive.tropicalstudies.org/images/downloads/biological-stations/palo-verde/publications/libro-cueca-tempisque/capitulo-2%20.pdf>.
- Naranjo, J.D; Stolz, W. 2013. El Índice Estandarizado de Precipitación y sus aplicaciones en Costa Rica. *Tópicos Oceanográficos y Meteorológicos* Vol. 2 No. 2 16:25. San José, Costa Rica
- Pérez, E.P; Magaña, V; Caetano, E; Kusunoki, S. 2015. Cold Surge over the Gulf of México in a warmer climate. *Frontier in Earth Science* Vol. 2. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2014.00019/full>

- Power, D; Chung, C; Kociuba, G; Keay, K. 2013. Robust twenty-first-century projections of El Niño and related precipitation variability. *Nature* Vol. 502. Consultado May. 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nature12580>
- PUPUPU12345. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>.
- Radio la Pampa. (2018, 10 04). Radio la Pampa. Retrieved from <http://www.radiolapampa.net/2017/10/liberia-carrillo-y-la-cruz-aun-no-entregan-informes-de-primeros-impactos/>.
- ReliefWeb. (2018, 10 04). ReliefWeb. Retrieved from <https://reliefweb.int/report/costa-rica/costa-rica-stan-incrementa-laborez-de-cruz-roja-en-guanacaste>.
- Retana, J. 2012. Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima. *Ambientales* 44:5:12. San José, Costa Rica.
- Retana, J; Solano, J. SF. Relación entre las inundaciones en la cuenca del Tempisque el fenómeno de La Niña y los rendimientos de arroz de secano. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/La+Ni%C3%B1a%2C%20inundaciones+y+arroz+en+Guanacaste>
- Sáenz, F; Durán, A.M. 2015. A climatology of low level wind regimes over Central America using a weather type classification approach. *Frontier in Earth Science* Vol. 3. Consultado May. 2019. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2015.00015/full>
- Schultz, D.M; Bracken,W.E; Bosart,L.F. 1998. Planetary- and Synoptic-Scale Signatures Associated with Central American Cold Surges. *American Meteorology Society*. Consultado May. 2019. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493%281998%2912%3C0005%3APASSSA%3E2.0.CO%3B2>
- Serrano, A. (2016). Notas de Clase del Curso IC0808, Hidrología. San José.
- Somarriba, E. (2003). Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Tempisque. San José.
- Viales, J. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>.



Capítulo 8

Anexos

*Dirección de Cambio Climático, MINAE
Instituto Meteorológico Nacional
Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica
Cooperación Alemana para el Desarrollo*

**Proyecto Global “Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments – CSI”
Grupo de Trabajo Costa Rica**

Selección de la obra de infraestructura por ser analizada y Perspectivas para 2018

Taller Participativo



INFORME DE RESULTADOS

Martes 30 de enero de 2018
Aula Irazú del Centro de Capacitación del CIEMI, CFIA, Curridabat, San José

CONTENIDO

1. Antecedentes	3
1.1. Criterios de Priorización y Selección	4
1.1.1. Tipo de infraestructura	4
1.1.2. Principios orientadores	5
1.1.3. Catálogo de Criterios	6
1.2. Procedimiento para la priorización y selección	9
2. Objetivos del Taller	11
3. Asistencia	11
4. Agenda del Taller	12
5. Resultados del Taller	13
5.1. Expectativas de los participantes	13
5.2. Presentación de la valoración sobre información meteorológica	14
5.3. Presentación sobre la evaluación final y ranking propuesto	16
5.4. Discusión final, acuerdos y próximos pasos	18
6. Evaluación del taller por parte de los participantes	19

Anexos:

1. Encuesta aplicada a informantes clave (versión interna)	21
2. Lista de informantes clave	26
3. Lista de abreviaturas	27

1. Antecedentes:

Costa Rica es un país que se ubica en una región del planeta ampliamente vulnerable ante los efectos actuales y futuros del Cambio Climático (CC) pues debido a la ubicación en el istmo centroamericano y a lo estrecho del país entre dos océanos el país es más vulnerable a los efectos de diferentes eventos hidro-meteorológicos. Su infraestructura muestra un altísimo riesgo ante los impactos climáticos, siendo que el daño a la infraestructura pública representa el 78% de todos los daños económicos causados por fenómenos meteorológicos extremos (INDC, 2015).

Dentro de los objetivos del Proyecto Global “*Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments –CSI*” se ha definido valorar la vulnerabilidad y proponer medidas correctivas para al menos una obra de infraestructura pública de relevancia en Costa Rica. Esta evaluación se realizará mediante la aplicación del protocolo desarrollado por *Engineers Canada* (<https://engineerscanada.ca/>) y conocido como PIEVC (*Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee*).

En Costa Rica, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) ha trabajado conjuntamente con *Engineers Canada* en la utilización y aplicación concreta de este protocolo. El PIEVC ha sido aplicado en Costa Rica a manera de experiencia piloto en el emisario submarino de aguas servidas de la ciudad de Limón. Actualmente se aplica para el análisis del diseño de construcción de los sistemas de abastecimiento de agua potable de algunos acueductos rurales que se ubican dentro del acuífero de Nimboyores en Guanacaste

De acuerdo con la experiencia adquirida por los socios del Proyecto CSI expertos en el uso del PIEVC, se considera que las capacidades locales para ejecutar este protocolo deben fortalecerse, además de ello se debe incrementar el número de personas capacitadas en su uso, ya que esta metodología tiene la característica de ser un proceso de “*learning by doing*”. De forma tal que al finalizar esta iniciativa de cooperación internacional, la creación de capacidades en el país permita que se realicen más estudios de este tipo, incluso en otros tipos de infraestructura pública.

El proyecto CSI ha suscrito un acuerdo de cooperación con *Engineers Canada* para asegurar que en los países donde este se ejecuta, a saber, Brasil, Vietnam, la Iniciativa de la Cuenca del Río Nilo y Costa Rica, el grupo experto del Canadá pueda apoyar en la ejecución de estudios de vulnerabilidad de la infraestructura. Para el caso de Costa Rica, CSI también ha suscrito un convenio de cooperación con el CFIA, de modo que pueda recurrirse a la valiosa experiencia ya ganada en el uso de este protocolo en Costa Rica.

En Costa Rica dentro de los socios estratégicos que acompañan este proceso además del CFIA, está también el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en su carácter de principal proveedor de Servicios Climáticos del país, así como la Dirección de Cambio Climático (DCC) como entidad rectora en el ámbito del CC, concretamente en el ámbito de la adaptación a éste.

Se espera con este esfuerzo hacer un aporte para una mayor resiliencia de la infraestructura ante la amenaza del CC en el país. De hecho, la infraestructura es uno de los principales ejes definidos en el Plan Nacional de Adaptación (PNA), al cual el país se comprometió en sus *Nationally Determined Contributions* (NDC) ante la UNFCCC.

Además de los socios estratégicos, este proyecto cuenta con el apoyo y facilitación por parte de la cooperación alemana para el desarrollo (GIZ); conjuntamente estas entidades han creado un grupo de trabajo del proyecto. Dentro de las funciones de este grupo están desarrollar y proponer un mecanismo para lograr una lista de posibles obras civiles por ser evaluadas con el PIEVC, sin embargo y de acuerdo con los recursos disponibles en primera instancia se seleccionará alguna estructura prioritaria, aunque se mantiene la posibilidad de ampliar el proceso a una segunda obra.

Cabe destacar, que la lista obras civiles propuestas se estableció mediante un proceso de elección transparente y objetiva. A continuación, se describe no solo el procedimiento seguido para la elaboración de esta lista sino también el esquema de criterios de priorización/selección de la obra, de forma que para todos los interesados resulte transparente y lógico este proceso

1.1. Criterios de Priorización y Selección:

1.1.1. Tipo de infraestructura:

La primera etapa para la identificación del tipo de infraestructura, inició con la primera misión del equipo de conducción del proyecto CSI en Alemania – formado por asesores de GIZ y del Servicio Meteorológico Alemán (DWD) - realizada en Costa Rica en julio de 2017. Durante esta visita , se realizaron una serie de reuniones con representantes de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), del proyecto de infraestructura vial de GIZ-InS denominado GIZ-PRVC-I MOPT/BID, entre otros, con el fin de conocer las prioridades nacionales respecto al tipo de infraestructura pública más afectada y más vulnerable frente a los efectos del CC en Costa Rica.

Seguidamente y con la idea de lograr participativamente una primera decisión respecto al tipo de infraestructura por ser considerada, se realizó un taller de planificación estratégica del proyecto el día 21 de julio de 2017. En este taller participaron representantes de las entidades socias más cercanas al proyecto como la DCC -MINAE, el IMN y el CFIA. Como producto de este taller se desarrolló una matriz para el análisis multi-criterio de diferentes clases de infraestructura. Se enlistaron diferentes tipos relevante de infraestructuras y se tomó un acuerdo sobre los criterios que serían considerados para valorar estos tipos de obras. El ejercicio elaborado participativamente en plenaria permitió definir que dentro de los tipos de infraestructura considerados, son los puentes las obras que mayor prioridad tienen, no solo por su vulnerabilidad, sino además por su significado y por la alta cantidad de ellos que resultan afectados por efectos climáticos extremos.



Resultado del Análisis Multi-criterio para la selección del tipo de infraestructura presentado por el Director de CSI Benjamin Hodick

A continuación se muestran los resultados del Análisis Multi-criterio, donde específicamente los puentes corresponden al tipo de infraestructura priorizado de manera participativa:

Tabla del Análisis Multi-criterio realizado en plenaria para la selección del tipo de infraestructura

Potential infrastructure sector/ projects	Reflection in nat. CC strategies (NDC, NADP)	Demand from infrastructure sector	Vulnerability Criteria (Exposure, sensitivity, adaptive capacity)	Expected costs, loss and damage	Data availability (climate, infrastructure etc & other)	Follow up and up-scaling potentials	Mangos benefits
Roads (MOPT)	+	++	++	++	+	++	+
Bridges (MOPT)	+	++	++	++	+	++	++
Aqueducts (AyR)	+	++	+	+	0	+	+
Sanitation (AyR)	+	++	+	+	0	+	+
Hospitals	+	0	+	0	0	0	+
Schools (MEP)	+	-	++	+	+	++	0
Electricity (CE)	+	--	+	0	--	+	--

1.1.2. Principios orientadores:

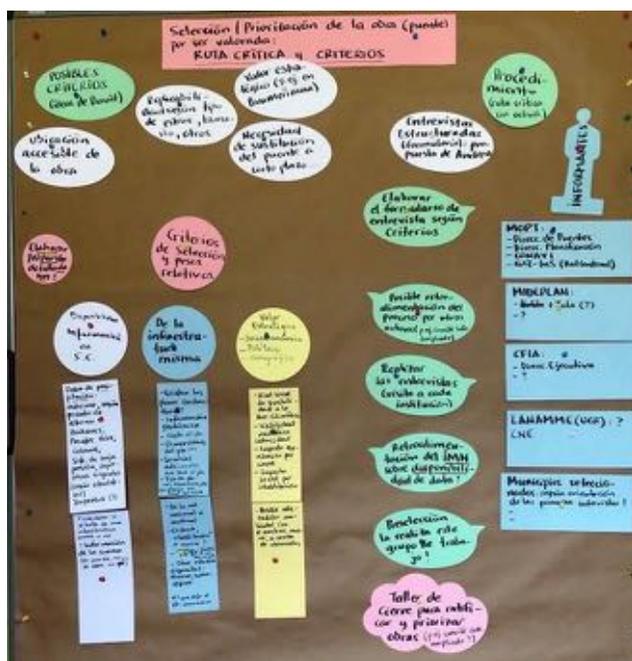
En setiembre de 2017 y con ocasión del *Global Forum* del proyecto CSI realizado en Alemania se discutió la necesidad de crear un catálogo o matriz de criterios que permitan generar una priorización (ranking) del tipo de obra seleccionada, para luego proceder con la decisión de una obra en específico, con base en una serie de criterios.

Durante este *Forum* los representantes de Engineers Canada, brindaron orientación valiosa para el proceso de selección de la obra. En este sentido, se llegó a la definición de algunos “principios orientadores” de utilidad para el posterior proceso de formulación de los criterios de priorización/selección de la obra a ser analizada. Estos principios corresponden a:

- Ubicación accesible de la obra
- Replicabilidad en razón del tipo de estructura, su modelo estructural, tamaño y otros
- Valor estratégico de la obra en función de su importancia (p.ej. ser parte de la carretera Panamericana o de una ruta internacional)
- Necesidad de sustitución de la obra (puente) a corto plazo, como criterio de oportunidad

1.1.3. Catálogo de Criterios:

Una vez definido la infraestructura tipo puente como obra prioritaria para la aplicación del PIEVC se procedió a elaborar una propuesta de matriz de criterios. Esta matriz se compone de tres grupos de criterios; a saber, los relacionados con la disponibilidad de la información climatológica (grupo 1), los que están directamente relacionados con la obra y sus características constructivas (grupo 2) y por último un grupo con aquellos criterios que calificarán el valor estratégico de la obra en términos socioeconómicos, políticos y geográficos (grupo 3). El grupo de trabajo del proyecto desarrolló una lista bastante exhaustiva de criterios, con carácter de propuesta para ser discutida y validada con otras entidades e instancias como la mesa que trabaja el tema de infraestructura, dentro del proceso de desarrollo del PNA, el CONAVI, el MOPT, el Proyecto Vial Cantonal del BID-MOPT, entre otros.



Lluvia de ideas durante la elaboración de criterios y del procedimiento

En el proceso de validación de la lista inicial de criterios se llegó a alrededor de 32 parámetros; el análisis posterior por parte del grupo de trabajo del proyecto los situó definitivamente en 28. De igual manera se definieron los valores relativos o pesos de cada parámetro, de forma que cada uno de los 3 grupos de criterios sumara 100 puntos. La asignación de pesos diferentes a los grupos de criterios, a los criterios y la calificación de cada uno de ellos, tuvo el objetivo de encauzar la calificación hacia obras que representaran más el tipo de puente que más se adecuara a los objetivos del proyecto y que permitiera una mayor replicabilidad y representatividad para las condiciones en el país. A continuación se muestra el cuadro definitivo de criterios con los pesos relativos de cada uno de ellos.

Criterios de Priorización y Selección con Pesos Relativos (*) Tipo de Infraestructura: Puente

Grupo 1: Disponibilidad de Información en Servicios Climáticos. Peso: 40%		Grupo 2: Información sobre la Infraestructura misma Peso: 40%		Grupo 3: Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso: 20%	
Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. De %)
1.1. Existen datos sobre <u>precipitación</u> en el área de cuenca (si es sobre un río)	15	2.1. Existen los <u>planos constructivos</u>	11	3.1. Al momento de tomar decisiones para intervenir una infraestructura, ¿valoran <u>criterios de Cambio Climático</u> los responsables de la obra?	10
1.2. Existen curvas de intensidad, duración y frecuencia de precipitación en la cuenca respectiva (si el puente está sobre un río)	15	2.2. Existe <u>información geotécnica a profundidad</u> , sobre fallas geológicas, información histórica sísmica	7	3.2. Grado de <u>visibilidad mediática</u> del puente	5
1.3. Existen registros históricos y continuos sobre <u>eventos hidrometeorológicos extremos</u> : huracanes, ciclones (velocidad del viento), frentes fríos, sistemas de baja presión, depresiones tropicales, tormentas eléctricas	10	2.3. Se conoce el <u>costo</u> del puente o una estimación del mismo (en USD)	9	3.3. <u>Impacto económico</u> que provoca el cierre del puente según <u>pérdidas</u> en producción (agrícola, industrial), en el turismo, en el comercio	20
1.4. Existen datos sobre <u>temperatura</u> en el sitio en que se ubica el río o el puente	10	2.4. <u>Dimensiones</u> del puente: ancho, alto, largo (mayor puntaje por cercanía al valor medio de 50 m)	9	3.4. Dimensión del <u>impacto social</u> que provoca la inhabilitación del puente (a nivel local, nacional o internacional).	20
1.5. Existe información sobre la cuenca como relieve, geomorfología, suelos, vegetación, ordenamiento territorial, zonas de vida, <u>modelaciones</u> de la cuenca	10	2.5. Brinda el puente conectividad de otros <u>servicios públicos</u> (cables de comunicación, acueducto, oleoducto, cables eléctricos)	6	3.5. Posible <u>afectación ambiental</u> (en construcciones nuevas o con cambio de ubicación)	10
1.6. Existe información <u>hidrométrica</u> (fluviométrica o fluviográfica) si el puente está sobre un río	15	2.6. <u>Tipo</u> de puente: vial, ferroviario, peatonal	3	3.6. <u>Nivel de organización</u> de los usuarios de la infraestructura o vecinos (líderes y organización local)	15
1.7. Existen <u>proyecciones de parámetros climáticos</u> para el sitio en el período de análisis (precipitación y temperatura)	15	2.7. Existe información sobre el <u>Tránsito promedio vial</u> (*1): de vehículos motorizados y no (peatones, ciclistas)	9	3.7. Existencia de <u>redundancia</u> (vías alternas) en la red vial que haga posible la comunicación en caso de salida de servicio del puente	20

Criterios de Priorización y Selección con Pesos Relativos (*) - Continuación
Tipo de Infraestructura: Puente

Grupo 1: Disponibilidad de Información en Servicios Climáticos. Peso: 40%		Grupo 2: Información sobre la Infraestructura misma Peso: 40%		Grupo 3: Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso: 20%	
Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. De %)
1.8. Existen <u>proyecciones sobre eventos hidrometeorológicos</u> extremos elaborados para el sitio	10	2.8. Es <u>obra existente</u> , por construirse o rehabilitarse completamente	9		
		2.9. Existencia de <u>financiamiento</u> en caso de obra nueva o por ser rehabilitada	12		
		2.10. Existencia de recursos para <u>mantenimiento</u> del puente	5		
		2.11. Existencia de <u>permisos</u> (para obra nueva o por ser sustituida o rehabilitada): ambientales (SETENA, Dirección de Aguas MINAE, Permiso forestal SINAC), de obras en cauce, de la municipalidad, según decreto de emergencia	9		
		2.12. Está incluido el puente dentro del sistema que prioriza la <u>intervención de la infraestructura</u> (TEC) (Dirección de Puentes-CONAVI)	6		
		2.13. Existen <u>estudios</u> técnicos realizados sobre el puente: sus materiales, mantenimiento, etc.	5		
Suma:	100 pts	Suma:	100 pts	Suma:	100 pts

(*): El valor relativo entre los grupos de criterios (40%, 40% y 20%) se enfoca en la aplicabilidad del protocolo y no mide la importancia del puente.
 (*-1): TPD máx. en 2017 de approx. 100 mil vehículos diarios (<http://mopt.opendata.junarc.com/dataviews/239211/transito-promedio-diario-tpda-2015/>)

1.2. Procedimiento para la priorización y selección:

Adicional a la tabla de criterios, para lograr una priorización o ranking de posibles obras por ser valoradas fue necesario definir el procedimiento utilizado para ello. Partiendo de que en el país existen especialistas y personas informadas, quienes conocen muy bien la situación de la infraestructura y su vulnerabilidad, se consideró que la mejor manera de llegar a una decisión es justamente identificar a estos informantes claves y solicitar de ellos la información requerida. En ese sentido, durante el taller estratégico del 21 de julio de 2017, la Sra. Directora de la DCC propuso la realización de entrevistas estructuradas para este propósito.

En otras palabras, la hipótesis que se planteó como base para este procedimiento de priorización/selección es que:

- existen informantes claves en el país,
- estos pueden ser identificados por el grupo de trabajo o con ayuda de otras instituciones,
- mediante una entrevista estructurada (orientada por la matriz de criterios definida) estos pueden proponer por su conocimiento obras concretas (puentes existentes, por ser rehabilitados completamente o en planificación del corto plazo)
- y finalmente aplicando los criterios definidos será posible disponer de una lista de puentes sujetos a ser analizados, con nivel de prioridad para cada uno (ranking).

Producto de la discusión anterior, el grupo de trabajo realizó un formulario de entrevista dirigido a los informantes clave. Para facilitar el trabajo, se realizó tanto una versión externa del instrumento de entrevista, dirigida a aquellos informantes que optaron por la posibilidad de realizar ellos mismos la entrevista y remitirla por correo electrónico y una versión interna, en la cual están visibles los puntajes de cada ítem y criterio, para uso del grupo de trabajo en el proceso de evaluación de las entrevistas y el otorgamiento de la calificación para cada puente propuesto. En el anexo 1 se muestra el formulario de entrevista completo.

Paralelamente y considerando las recomendaciones de expertos, se formuló la lista de informantes claves por ser entrevistados, constituida por 24 personas de instituciones propietarias de infraestructura, universidades, institutos de investigación, ingenieros consultores, compañías constructoras y otro proyecto de GIZ; en el Anexo 2 se muestra la lista completa con los informantes, quienes propusieron 11 puentes como candidatos. Hubo una mención repetida de tres puentes.

En vista de lo relativamente complejo del proceso y de la necesidad de lograr el ranking de puentes candidatos antes de finales de enero de 2017, el grupo realizó un cronograma de las actividades del proceso, con plazos y responsables de ejecución, según se muestra a continuación.

Cronograma para el proceso de selección/priorización (situación final)

	Actividad	Responsable	Plazo
1.	Elaborar el formulario de entrevista según los criterios propuestos	FC con el grupo de trabajo	25.10.17
2.	Retroalimentar el proceso con otros actores (mesa de infraestructura NAP, CNE, Mideplan, MOPT, CONAVI) respecto a: <ul style="list-style-type: none"> • Criterios, • Informantes clave 	Grupo de trabajo	31.10.17
3.	Levantar la lista, contactar a los informantes clave y programar las entrevistas	Grupo de trabajo con apoyo logístico de GIZ	08.11.17
4.	Realizar las entrevistas <i>face-to-face</i> visitando a los informantes clave o por correo electrónico	Grupo de trabajo (repartir las entrevistas)	18.01.18
5.	Consolidar una lista inicial de obras propuestas (tabularlas)	Grupo de trabajo con apoyo logístico de GIZ	17.01.18
6.	Verificar la disponibilidad real de la información climática relevante para las obras propuestas	NR (IMN)	24.01.18
7.	Elaborar una preselección de las obras propuestas en reunión de grupo de trabajo con puntajes para cada caso	Grupo de trabajo	25.01.18
8.	Realizar un taller de cierre del proceso para ratificar la priorización y selección de las obras con informantes clave y otras autoridades	Grupo de trabajo	30.01.18 de 8:30 a 11 am
9.	Presentación de resultados del proceso al CTICC	ID (DCC)- Grupo de Trabajo	Por definir

2. Objetivos del taller:

- Mostrar el concepto y procedimiento seguidos para la identificación de un ranking de puentes prioritarios, dentro de los cuales esté la obra por ser analizada respecto a su vulnerabilidad ante el Cambio Climático con el protocolo PIEVC, como parte del paquete de trabajo 3 (WP3) del proyecto CSI.
- Presentar, discutir y validar con el grupo los resultados de esta labor de identificación de la obra que será analizada. Lograr de esta manera una “devolución” a los informantes claves entrevistados en este proceso.
- Tomar acuerdos respecto a los pasos siguientes, incluyendo la conformación del grupo de trabajo que llevará a cabo el proceso de aplicación del protocolo en la obra priorizada.
- Informar al grupo, enfocando en los usuarios de servicios climáticos, sobre la próxima realización de una encuesta sobre la demanda de estos servicios, como parte de la línea base del paquete de servicios 1 (WP1) del proyecto CSI.

3. Asistencia:

Según se muestra en la tabla, asistieron un total de 24 personas, representantes de todos los sectores relacionados, tales como el de gobierno (dueños de la infraestructura, planificadores, formuladores de políticas públicas en cambio climático), de la academia (UCR y TEC), consultores privados en ingeniería e hidrología, proveedores de servicios climáticos (IMN), del CFIA y de la cooperación alemana. A continuación se muestra la lista completa de asistencia, con los detalles de contacto.

Lista de Asistencia

	Nombre	Institución/Organización	Medio de contacto
1	Ing. Steven Oreamuno Herra	Presidente del CFIA	presidenciacia@cfia.cr
2	Ing. Olman Vargas	Director Ejecutivo CFIA	ovargas@cfia.cr
3	Andrea Meza	Directora DCC	andrea.mezamurillo@gmail.com
4	Roberto Villalobos	Subdirector IMN	rvilla@imn.ac.cr
5	Sandra Spies	Directora Proyectos de GIZ	sandra.spies@giz.de
6	Ing. Luis Villalobos P.	Diseño de Vías y Puentes CONAVI	luis.villalobos@conavi.go.cr
7	Andrea Soto Rojas	Planificación CONAVI	andrea.soto@conavi.go.cr
8	Ing. Esteban Villalobos Vega	Coordinador puentes LANAMME	esteban.villalobos@ucr.ac.cr
9	Ing. Joseph Jiménez E.	Consultor diseño estructural-DSI	jjimenez@dsicr.com
10	Ing. Rolando Arias	Planificación CONAVI	rolando.arias@conavi.go.cr
11	Ing. Carlos Gamboa	Empresa constructora Puente Prefa	cgamboa@puenteprefa.cr
12	Ing. Alberto Serrano-Pacheco	UCR/Consultor	saborio.javier@gmail.com
13	MScE. Maikel Mendez	Water Resources -TEC	mamendez@itcr.ac.cr
14	Ing. Giannina Ortiz Quesada	CIVCO -TEC	gortiz@itcr.ac.cr
15	Ing. Vladimir Naranjo	Subjefe Gestión Proyectos CFIA	vnaranjo@cfia.cr

Lista de Asistencia (continuación)

	Nombre	Institución/Organización	Medio de contacto
16	Luis Castro	Inspector Gestión Proyectos CFIA	lcastro@cfia.cr
17	Ing. Freddy Bolaños	CFIA,, Dirección Ejercicio Profesional	fbolanos@cfia.cr
18	Ing. Gabriela Muñoz	Dirección de Puentes MOPT	gmuñospe@mopt.go.cr
19	Arq. Carlos Murillo Gómez	Jefe Gestión de Proyectos CFIA	cmurillo@cfia.cr
20	Ing. Nazareth Rojas	IMN, Grupo de Trabajo CSI	nrojas@imn.ac.cr
21	Ing. Francinie Fuentes	CFIA, Grupo de Trabajo CSI	ffuentes@cfia.cr
22	Iván Alonso Delgado P.	DCC, Grupo de Trabajo CSI	encc2021@gmail.com
23	Rainer Schwark	GIZ-CR, Grupo de Trabajo CSI	rainer.schwark@giz.de
24	Ing. Federico Corrales	GIZ-CR, Grupo de Trabajo CSI	federico.corrales@giz.de

4. Agenda del Taller:

El programa desarrollado puntualmente fue el siguiente:

Hora	Tema	Responsable
8:30 – 8:40	Palabras de Bienvenida por parte del CFIA	Olman Vargas (CFIA)
8:40- 9:00	Palabras de introducción por parte de la DCC, IMN y GIZ	Andrea Meza (DCC), Roberto Villalobos (IMN), Sandra Spies (GIZ) Facilita Iván Delgado (DCC)
9:00- 9:20	Presentación de los participantes y sus expectativas	Facilita Federico Corrales (GIZ)
9:20- 9:35	Breve introducción al Protocolo PIEVC; preguntas y repuestas	Luis Castro (CFIA)
9:35 a 10:15	Descripción breve del proceso de selección de la infraestructura; evaluación de las entrevistas hechas a informantes clave	Federico Corrales (GIZ), Rainer Schwark (GZ) y Nazareth Rojas (IMN)
10:15 a 10:30	Pausa de café	
10:30 a 11:00	Presentación y discusión de los resultados del proceso de selección	Facilita Federico Corrales (GIZ)
11:00 a 11:20	Pasos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> conformación del equipo de trabajo del WP3, integración según interés WP1: Situación de la línea base, encuesta a usuarios de Servicios Climáticos 	Federico Corrales (GIZ) y Nazareth Rojas (IMN)
11:20 a 11:30	Evaluación del taller por parte de los participantes	Facilita Federico Corrales (GIZ)
11:30	Palabras de cierre	Freddy Bolaños (CFIA)

5. Resultados del Taller

5.1. Expectativas de los participantes: como parte de la ronda de presentación personal al inicio del taller los presentes externaron las siguientes expectativas que tenían respecto al mismo:

Expectativas de los(as) Participantes

Nombre	Institución Organización	Expectativas respecto al taller
Ing. Steven Oreamuno Herra	CFIA	Mayor conocimiento y convencimiento del proyecto en beneficio para Costa Rica y el mundo
Ing. Olman Vargas	CFIA	Conocimiento del proyecto CSI
Roberto Villalobos	IMN	Me interesa ser parte de la solución a un problema que es de todos
Sandra Spies	GIZ	Conocer el proceso de selección y los actores
Ing. Luis Villalobos P.	CONAVI	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación entre instituciones • Compartir criterios y experiencias • Conocer detalles del análisis realizado a los puentes propuestos
Andrea Soto Rojas	CONAVI	Conocer el resultado sobre el puente seleccionado y que CONAVI pueda formar parte del grupo de trabajo
Ing. Esteban Villalobos Vega	LANAMME	Explicación de la escogencia del puente que va a ser analizado como parte del protocolo
Ing. Joseph Jiménez E.	DSI Ing. Estructural	Cambio climático es responsabilidad de todos
Ing. Rolando Arias	CONAVI	Conocer sobre el protocolo aplicado en una estructura a cargo de CONAVI
Ing. Carlos Gamboa	Puente Prefa	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir al proyecto • Intercambio de ideas • Aprender
Ing. Alberto Serrano-Pacheco	UCR/Consultor	<ul style="list-style-type: none"> • Información básica para estudios de puentes • Descripción de modelos de evaluación al cambio climático
MScE. Maikel Mendez	TEC	Que fluyan los datos
Ing. Giannina Ortiz Quesada	TEC	¡Que realmente se analice el problema de forma global y articulada (sin islas)!
Ing. Vladimir Naranjo	CFIA	Participación activa en el proyecto: equipo CFIA
Luis Castro	CFIA	Continuar con el desarrollo y aplicación del protocolo del PIEVC en Costa Rica
Ing. Freddy Bolaños	CFIA	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura validada • Iniciar a la brevedad posible
Ing. Gabriela Muñoz	MOPT	Conocer aspectos por considerar en las diferentes etapas para infraestructura de puentes en este tema
Arq. Carlos Murillo Gómez	CFIA	Apoyo del equipo técnico del CFIA

Expectativas de los(as) Participantes (continuación)

Nombre	Institución Organización	Expectativas respecto al taller
Ing. Nazareth Rojas	IMN	Decidir el puente en consenso con los informantes y generar un buen grupo de trabajo
Ing. Francinie Fuentes	CFIA	Dar a conocer el proyecto CSI y la aplicación del protocolo
Rainer Schwark	GIZ	Satisfacción con el ranking
Ing. Federico Corrales	GIZ	Dar el arranque para empezar la aplicación participativa del PIEVC

Las palabras de bienvenida de parte del CFIA en su calidad de anfitrión fueron pronunciadas por su director ejecutivo, Ing. Olman Vargas, quien recalcó la importancia que esta iniciativa tiene para el colegio federado y la manera en que estos esfuerzos calzan en las labores de proyección social del mismo. La Sra. Andrea Meza, directora de la DCC se refirió a la importancia del tema y a la correspondencia de éste con el esfuerzo nacional en el ámbito de la adaptación al CC. Por su parte, el Sr. Roberto Villalobos, Subdirector del IMN mencionó el apoyo que este instituto está brindando a este tipo de proyectos, en relación con el papel que el IMN juega como principal proveedor de Servicios Climáticos en Costa Rica. Finalmente la Sra. Sandra Spies mencionó las distintas iniciativas que GIZ apoya en el país en el ámbito de CC, tanto en mitigación como en adaptación, entre los que se encuentra CSI.

A continuación se realizó una presentación corta sobre el protocolo PIEVC por parte de Luis Castro del CFIA; la que incluyó algunos detalles sobre la aplicación actual de dicho protocolo, dentro del marco del Fondo de Adaptación, en un proyecto de agua potable en Guanacaste. Una presentación breve sobre el proceso de elaboración del ranking de puentes propuestos y los criterios usados para ello fue realizada por Federico Corrales; esta información se detalla en el apartado de Antecedentes del presente informe.

5.2. Presentación de la valoración sobre información meteorológica:

En vista de que según la tabla de criterios elaborada, el grupo de criterios correspondiente a disponibilidad de información climática (grupo 1) para el puente en cuestión representa 40% del total de la calificación de cada candidato y considerando además que los informantes clave no necesariamente están informados con detalle sobre la disponibilidad de esta información meteorológica requerida para la aplicación del protocolo PIEVC, Nazareth Rojas del IMN realizó para cada uno de los puentes propuestos por los informantes clave una verificación de la existencia de esta información, según lo que tiene disponible dicho instituto. Con esta verificación se llevó a cabo la evaluación del grupo de criterios 1 y la respectiva calificación del 40% del puntaje total que estos representan.

Se muestra a continuación la tabla resultante de esta labor.

Calificación de la disponibilidad de información en Servicios Climáticos para cada puente propuesto

Grupo I:	Disponibilidad de Información en Servicios Climáticos. Puntaje: 40%									
Criterios	Pres. Salinas (pón. de 300)	Río Barranca (Panamericana Norte)	Quebrada La Fuente (San Rafael Abajo)	Río Vieja (Huelmo Superior)	Río Torres (Najón Lederos)	Río María Aguilar (Carrizal)	Río Chiriquí Atalayas (Bata 17 Mueha Entrab)	Río Grande de Miraba (Poblar Norte Sur)	Río Soledad (Pueblo Mirasol)	Río Soledad (Pueblo Mirasol)
1.1. Existen más de 300 días de datos al día	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.2. Existen 3000 de observación de datos y frecuencia de precipitación en la zona	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.3. Existen registros históricos y consistentes sobre cambios de temperatura, humedad, velocidad del viento, presión, etc., superiores de tres puntos, departamentos, regiones, provincias, etc.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.4. Existen más de 300 días de datos al día y 3000 de observación de datos y frecuencia de precipitación en la zona	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.5. Existen información sobre la calidad (pH, oxígeno, conductividad, etc.), temperatura, humedad, etc., superiores de tres puntos, departamentos, regiones, provincias, etc.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.6. Existen información sobre la calidad (pH, oxígeno, conductividad, etc.), temperatura, humedad, etc., superiores de tres puntos, departamentos, regiones, provincias, etc.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.7. Existen información sobre la calidad (pH, oxígeno, conductividad, etc.), temperatura, humedad, etc., superiores de tres puntos, departamentos, regiones, provincias, etc.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.8. Existen información sobre la calidad (pH, oxígeno, conductividad, etc.), temperatura, humedad, etc., superiores de tres puntos, departamentos, regiones, provincias, etc.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Total	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Promedio	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

5.3. Presentación sobre la evaluación final y ranking propuesto:

Seguidamente Rainer Schwark (GIZ) se refirió al proceso de evaluación de cada una de las entrevistas y al puntaje otorgado a cada uno de los puentes propuestos. Mostró para ello la versión interna de la encuesta a informantes clave (ver anexo 1), en la cual se detalla la manera de otorgar el puntaje en cada criterio. Comentó que se recibieron postulaciones repetidas para algunos puentes, y que como era de esperar, por las diferencias de conocimientos y opiniones de los informantes clave, el puntaje recibido por un mismo puente en distintas entrevistas resultó ser diferente. En estos casos se realizó un promedio entre las notas otorgadas al mismo puente propuesto por varios informantes clave.

Aun cuando no se entró en el detalle de la calificación de cada puente propuesto, si se mostró la tabla con la cual se realizó este ejercicio y que se muestra en la página siguiente.

Seguidamente se mostró a los presentes el ranking definitivo, mediante tarjetas en metaplan. En esta lista se presentó el nombre del río y del puente (de existir), el puntaje obtenido, la ubicación, así como alguna información gráfica que permitiera una mejor ubicación de los puentes de la lista.

A continuación se muestra la lista con todos los puentes propuestos según el puntaje obtenido, que permite ubicarlos como ranking.

1. Río Liberia: 73.6 pts
2. Bajo Los Ledezma: 70.5
3. Río Sixaola: 64.0
4. Río María Aguilar: 60.6
5. Río Virilla (Sapriosa): 59.6
6. Río Chirripó: 59.3
7. Río Barranca: 56.6
8. Quebrada Seca: 54.2
9. Río Grande de Térraba: 53.8
10. Río Sucio: 47.8
11. Quebrada La Fuente: 47.0

Presentación del ranking de puentes propuestos

No	Puente/Río	Puntaje Final	Ubicación
1	Río Liberia	73.6	Ruta Nacional 21 - Liberia Guanacaste
2	Bajo Los Ledezma	70.5	Río Torres, calle 86 ^a San José
3	Río Sixaola	64.0	Ruta Nacional 36 Talamanca Limón
4	Río María Aguilar	60.6	Ruta Nacional 2 - Curridabat San José
5	Río Virilla (Sapriosa)	59.6	Ruta Nacional 32 Heredia
6	Río Chirripó	59.3	Ruta Nacional 32 Matina, Limón
7	Río Barranca	56.6	Ruta Nacional 1 Puntarenas
8	Quebrada Seca	54.2	Ruta Nacional 144 - San Antonio Belén
9	Río Grande de Térraba	53.8	Ruta Nacional 2 - Palmar Puntarenas
10	Río Sucio	47.8	Ruta Nacional 32
11	Quebrada La Fuente	47.0	Ruta Nacional 132 San Rafael, Alajuela

5.4. Discusión final, acuerdos y próximos pasos:

Seguidamente se realizó una discusión abierta con todos los participantes respecto a la calificación de las estructuras propuestas. Esta produjo los siguientes acuerdos y resultados:

- En general los presentes se mostraron de acuerdo con la evaluación presentada. Se acordó de que en caso de ser requerido, cualquier proponente (informante clave) puede solicitar el detalle de la evaluación de su candidato y revisarla.
- Para el caso del puente en la primera posición (sobre el río Liberia) se observó que existía cierta confusión, toda vez que no está claro si es a este puente que se refiere lo anotado en la entrevista remitida al grupo de trabajo. Se acordó solicitar a la proponente una revisión de la información dada y con ello verificar el puntaje obtenido por este puente.
- Se acordó que el ranking obtenido sirve como instrumento para dirigir la escogencia del puente por ser evaluado con el protocolo. Esto quiere decir, que si el primero por alguna razón resulta imposible de considerar, se toma el segundo y así sucesivamente. Esto tiene importancia también porque de ser posible, se buscará evaluar más de un puente; el ranking siempre permitirá disponer de un puente por ser valorado, si ya se trabaja en uno anterior con mejor calificación.
- Al proceder con la valoración del puente con mayor puntaje, se acordó analizar aspectos logísticos sobre la estructura en detalle, tales como el acceso al puente, la posibilidad de inspeccionarle de cerca, incluso en la subestructura, aspectos logísticos, entre otros.
- De igual forma, antes de proceder con el análisis del puente seleccionado, se acordó verificar con detalle la información que se tenga respecto al financiamiento requerido para su intervención.
- Se externó la preocupación sobre la validación y consideración de la incertidumbre en la modelación de escenarios climáticos y sobre la manera de hacerlo. Se comentó que el colega de GIZ en Brasil, Pablo Borges, quien también colabora con CIS en ese país, podría ser un interlocutor interesante respecto a este tipo de interrogantes técnicas. Se acordó establecer comunicación con él en el momento en que el grupo lo considere conveniente. Los colegas de Brasil han manifestado ya su disposición a colaborar en estos temas como modelos climáticos e información meteorológica global.
- Se discutió bastante en detalle el problema urbano que producen alcantarillas y puentes con baja capacidad hidráulica, que ante eventos climáticos más o menos extremos conducen a inundaciones serias y frecuentes en zonas de alta densidad de población. En este sentido, se observó la conveniencia de que pudieran analizarse y compararse los escenarios tanto urbano como rural para este tipo de infraestructuras. Se acordó, que en la medida de lo posible y considerando el limitante presupuestario de que dispone el proyecto para apoyar esta labor, se buscará evaluar con el protocolo un puente de tipo rural y uno de tipo urbano. Se observó que dichosamente en el ranking elaborado, se encuentran propuestos puentes de ambos tipos.
- En relación con los próximos pasos y la conformación del grupo de trabajo que ejecutará el protocolo en el puente(s) escogido(s), se acordó lo siguiente:

- Conformar un grupo de trabajo operativo (Grupo WP3, según la nomenclatura de los paquetes de trabajo de CSI). Este grupo operativo debe incluir los siguientes actores: dueño de la infraestructura, operador, experto en PIEVC, proveedor de servicios climáticos (IMN), diseñador y constructor de la obra. En vista del convenio suscrito con el CFIA, este aportará un grupo de expertos que acompañarán el proceso.
- Para este caso particular, el grupo operativo está constituido como sigue:
 - CONAVI (Luis Villalobos y una persona adicional por asignar)
 - TEC (Giannina Ortiz o Maikel Méndez)
 - MOPT (María Ramírez o Gabriela Muñoz)
 - LANAMME (por ser definido)
 - Consultores y asesores: Alberto Serrano y Joseph Jiménez
 - Integrantes del grupo de trabajo de DCC, IMN, CFIA y GIZ
- En caso de que el dueño de la infraestructura por analizar no esté en este grupo, se deberá asegurar su integración al mismo.
- Se acordó convocar a este grupo próximamente para iniciar el proceso de la planificación de sus labores en la aplicación del protocolo PIEVC. Las instituciones deberán definir los nombres de las personas que les representarán, en los casos en que no fue decidido esto en el taller.
- Finalmente se acordó también crear un equipo consultivo de este paquete de trabajo WP3, que conocerá con cierta regularidad los avances en el trabajo que realice el grupo operativo. Este grupo consultivo o ampliado lo conforman las personas que estuvieron presentes en el taller que aquí se documenta.
- Como último punto del taller se informó sobre la realización en próximos días de las entrevistas a usuarios de servicios climáticos, tales como hidrólogos, diseñadores, investigadores, dueños de infraestructura, entre otros. Esto como parte de la línea base que sobre oferta y demanda de este tipo de servicios se realiza como parte del paquete de trabajo 1 (WP1) del proyecto CSI y se solicitó colaboración a los presentes para contribuir con su información en estas entrevistas.

6. Evaluación del Taller por parte de los participantes:

Con la idea de obtener retroalimentación por parte de los participantes respecto al desarrollo del taller, al final del mismo se solicitó a cada uno de los presentes participar de una ronda de evaluación. Dicha evaluación permitió conocer la opinión de los participantes sobre los resultados obtenidos y el cumplimiento de las expectativas personales. Para ello se solicitó una valoración confidencial sobre los aspectos más positivos del evento, así como sobre los más negativos, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla siguiente:

Evaluación del Taller

LO POSITIVO (+)	LO NEGATIVO (-)
Apertura y acceso a la información	Acceso a los documentos al momento
Intercambio de ideas en los distintos campos de trabajo y acción	Más provechoso si se hubiera tenido con anterioridad la lista de puentes (ranking) y su metodología de escogencia
Buscar consenso Llegar a acuerdos y conclusiones Variabilidad de participantes	Definición de proyecto según criterios analizados en el taller por falta de tiempo
Discusión multidisciplinaria Manejo del tiempo Integración interinstitucional Interés común y ganas de trabajar	Metodología de validación de los proyectos requiere más tiempo
Taller interdisciplinario e interinstitucional	No encuentro nada malo
Convocatoria interinstitucional Decisión de evaluar un puente urbano y uno rural	Se pudo haber dejado más tiempo para la discusión del puente a elegir
La lluvia de ideas Propuesta: reunión periódica del grupo completo para analizar avance	Faltó presentar cronograma general del proyecto
Aprovechamiento adecuado del tiempo Intercambio positivo de ideas y de comentarios	Deficiencias en la certeza de información sobre los puentes
La diversidad de sectores representados La discusión e intercambio de criterios y puntos de vista valiosos	Enviar información previa por correo para llegar con la tarea avanzada
Lo participativo del mismo y que queda la impresión de que nada está escrito en piedra	Se debe profundizar en aspectos analíticos y cuantitativos de las proyecciones de cambio climático
Ambiente constructivo y cooperativo, voluntad para compartir	Muy poco tiempo disponible
Dinámica buena Mostró transparencia en el análisis Definió claramente lo esperado	Tiempo limitado
Poder de convocatoria Posición neutral	No se pudo concretar la selección del puente
Metodología Compartir con otras instituciones	
Posibilidad de compartir puntos de vista	

Anexo 1:

Encuesta aplicada a informantes clave (versión interna)



Programa Global Climate Services for Infrastructure Investments - CSI
 Grupo de Trabajo Costa Rica - Paquete de Trabajo WP3
 Priorización y selección de la obra por ser valorada: Entrevista para Informantes Clave (VERSION INTERNA)

Noviembre de 2017

Estimado(a) señor(a):

El Proyecto Mejora de los Servicios Climáticos para Inversiones en Infraestructura (CSI) que ejecuta la cooperación alemana (GIZ) conjuntamente con el CFIA, la DCC e IMN del MINAE, tiene el objetivo de promover el mayor uso de información climática y meteorológica para mejorar la resiliencia de la infraestructura pública ante la creciente amenaza de los efectos del cambio climático.

Por conocimiento y experiencia en este campo usted ha sido considerado como informante clave, para que nos apoye a identificar posibles obras concretas, en particular un puente, ya sea este existente o en proceso cercano de construcción, sustitución o reparación completa. Los puentes que estamos seleccionando deben reunir las mejores características para ser sujetos de una evaluación de vulnerabilidad climática. Le aseguramos el manejo confidencial de la información que nos brinde. ¡Muchas gracias por su ayuda!

1. DATOS GENERALES (Información de la persona que responde el formulario)
1.1. Nombre completo:
1.2. Lugar de trabajo:
1.3. Relación con el tema de infraestructura pública (Puentes):
2. POSIBLES OBRAS POR SER EVALUADAS
2.1. ¿Conoce usted un puente en CR, existente o en proceso de ser construido, sustituido o rehabilitado, que por su importancia y grado de amenaza ante el CC merezca ser estudiado con miras a mejorar su desempeño ante estas amenazas? Sí: ___ No: ___
2.2. Si su respuesta fue positiva ¿Cuál puente en concreto propondría Ud. evaluar en primer lugar? (además del prioritario y en caso de que haya más de un puente propuesto, puede anotarlos y preguntar si el entrevistado tendría tiempo de hacer otra entrevista) Puente No. 1: _____ Puente No. 2: _____ Puente No. 3: _____
2.3. Referencias generales sobre el puente: Ubicación, razón y argumentos para la elección como candidato, importancia del puente, su relación con el puente, noticias, investigación, memorias, reportes, presupuestos, estudios de factibilidad o prefactibilidad que usted conozca:

3. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN SERVICIOS CLIMÁTICOS.								
3.1. Para el puente que usó, propone, indique por favor si sabe de la existencia de la siguiente información.								
Parámetros:	SI (*)	NO	No sabe	Calidad de la información (uso interno)				Puntaje de calidad ponderadamente (uso interno)
				Buena (100%)	Regular (50%)	Mala (25%)	No sabe (25%)	
1. ¿Existen datos sobre precipitación en el área de cuenca?								
2. ¿Existen curvas de intensidad, duración y frecuencia de precipitación en la cuenca respectiva (si el puente está sobre un río) para el área del puente?								
3. ¿Existen registros históricos y continuos sobre eventos hidrometeorológicos extremos: huracanes, ciclones (velocidad del viento), frentes fríos, sistemas de baja presión, depresiones tropicales, tormentas eléctricas?								
4. ¿Existen datos sobre temperatura en el sitio en que se ubica el río o el puente?								
5. ¿Existe información sobre la cuenca como relieve, geomorfología, suelos, vegetación, ordenamiento territorial, zonas de vida, zonas de riesgo, modelaciones de la cuenca?								
6. ¿Existe información hidrométrica (fluviométrica o pluviográfica) si el puente está sobre un río?								
7. ¿Existen proyecciones de parámetros climáticos para el sitio en el periodo de análisis (precipitación y temperatura)?								
8. ¿Existen proyecciones sobre eventos hidrometeorológicos extremos elaborados para el sitio o región?								
(*) Se pasa a la calidad de la información a con esto se calcula el puntaje. Si la respuesta es NO o No Sabe el puntaje es cero.								
4. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN SOBRE LA INFRAESTRUCTURA MISMA								
4.1. ¿Existen los planos constructivos del puente? Marque una opción: Sí: _____ No: _____ No sabe: _____ Puntaje (uso interno): 100% para Sí _____ 0% para No _____ 0% No sabe _____								
4.2. ¿Existe información geotécnica a profundidad, sobre fallas geológicas, información histórica sísmica? Marque una opción Sí: _____ No: _____ No sabe: _____ Puntaje (uso interno): 100% para Sí _____ 0% para No _____ 0% No sabe _____								
4.3. En caso de que esté planeada una intervención en construcción, sustitución o rehabilitación, ¿cuánto es el costo estimado de la intervención en USD? _____ Definir puntajes (uso interno) Hasta 2 millones de USD ----- 3 puntos De 2 a 5 millones de USD ----- 6 puntos De más de 5 millones de USD ----- 9 puntos								

<p>4.4. ¿Cuál es la longitud del puente en metros? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Definir puntajes (uso interno)</p> <p>Hasta 30 metros 5 puntos</p> <p>De 30 a 60 metros 9 puntos</p> <p>Más de 60 metros 3 puntos</p> <p>Conoce otras dimensiones del puente en metros: Marque una opción</p> <p>Ancho: _____ Aceras: _____ Alto: _____ NO las conoce: _____</p>
<p>4.5. ¿Brinda el puente conectividad de otros servicios públicos tales como...? Marque una o varias opciones:</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno), un punto por cada uno hasta un máx. de 6</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Cables de telecomunicación <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 2. Acueducto <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 3. Oleoducto <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 4. Fibra óptica <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 5. Conducción eléctrica <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 6. Otro (indique): _____ <input type="checkbox"/></p>
<p>4.6. ¿De qué tipo de puente se trata? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno), 3 puntos a cualquier opción</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Vial <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 2. Ferroviario <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 3. Solo peatonal <input type="checkbox"/></p>
<p>4.7. Tránsito promedio vial diario (TPDA) del puente? Marque una opción:</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno), definir puntos hasta un máx. de 6</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Hasta 20 mil ypb/diarios <input type="checkbox"/> 2</p> <p><input type="checkbox"/> 2. De 20 mil a 50 mil ypb/diarios <input type="checkbox"/> 4</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Más de 50 mil ypb/diarios <input type="checkbox"/> 1</p> <p>¿Es relevante la circulación de modos no motorizados (ciclistas, peatones)? Marque una opción</p> <p>Sí _____ No: _____ No cabe: _____</p> <p>Puntaje (uso interno): _____ (máx. 3 pts)</p>
<p>4.8. ¿Se trata de una obra? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): 4 pts. para 1. y 9 pts. para 2. y 3.</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Existente sin intervención programada <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 2. Por construirse o sustituirse <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> 3. Por rehabilitarse completamente <input type="checkbox"/></p>
<p>4.9. En caso de que marcó 2. ó 3. pp 4.8 ¿está asegurado el financiamiento? Marque una opción</p> <p>Sí _____ No: _____ No cabe: _____</p> <p>Puntaje (uso interno, verificar la información posteriormente): _____ (SI: 12 pts) _____ (NO: 4 pts)</p> <p>En caso de que sí, ¿de dónde vienen los recursos? Marque una o varias opciones:</p> <p><input type="checkbox"/> CNR</p> <p><input type="checkbox"/> presupuesto ordinario</p> <p><input type="checkbox"/> BCIE</p> <p><input type="checkbox"/> BID</p> <p><input type="checkbox"/> BM</p> <p><input type="checkbox"/> Otros (especifique): _____</p>

<p>4.10. ¿Existen recursos para el mantenimiento del puente?</p> <p>SI (5 ptos): ____ NO (0 ptos): ____ No sabe (0 ptos): ____</p> <p>Puntaje (uso interno): ____ (máx. 5 ptos)</p> <p>En caso de que sí, ¿de dónde vienen los recursos? Marque una o varias opciones:</p> <p><input type="checkbox"/> presupuesto ordinario del propietario</p> <p><input type="checkbox"/> OTROS (especifique): _____</p>
<p>4.11. En caso de que marcó 2, 3 o 4, ¿Existen ya los permisos? Marque las opciones en caso positivo</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Ambiental de SETENA (2ptos)</p> <p><input type="checkbox"/> 2. De la Dirección de Aguas de MINAE (1 pto)</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Permiso forestal de SINAC (1 pto)</p> <p><input type="checkbox"/> 4. De obras en un cauce de río (1 pto)</p> <p><input type="checkbox"/> 5. Permiso municipal (2ptos)</p> <p><input type="checkbox"/> 6. Decreto de Emergencia (1 pto)</p> <p><input type="checkbox"/> 7. Otros (1 pto). Especifique: _____</p> <p>Puntaje (uso interno): ____ (máx. 9 ptos)</p>
<p>4.12. ¿Está incluido el puente dentro del sistema que prioriza la intervención de la infraestructura (TEC) de la Dirección de Puentes de CONAVT? Marque una opción</p> <p>SI (6 ptos): ____ NO (0 ptos): ____ No sabe (0 ptos): ____</p> <p>Puntaje (uso interno): ____ (máx. 6 ptos)</p>
<p>4.13. ¿Conoce de la existencia de estudios realizados sobre el puente, sus materiales, mantenimiento, memoria histórica, reconstrucción, rehabilitación, etc.? Marque una opción</p> <p><input type="checkbox"/> No (0 ptos)</p> <p><input type="checkbox"/> Sí (2 ptos por estudio). Especifique: _____</p> <p>Puntaje (uso interno): ____ (máx. 5 ptos.)</p>
<p>5. VALOR ESTRATÉGICO (SOCIOECONÓMICO, POLÍTICO Y GEOGRÁFICO) DEL PUENTE</p>
<p>5.1. Al momento de tomar decisiones para intervenir una infraestructura, ¿valoran criterios de Cambio Climático los responsables de la obra? Marque una opción:</p> <p>Puntaje (uso interno): máx. 10 ptos</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Muy alta, con mucha sensibilidad (10 ptos.)</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Regular (7 ptos.)</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Baja (3 ptos.)</p> <p><input type="checkbox"/> 4. Nula o No sabe (0 ptos.)</p>
<p>5.2. Grado de visibilidad mediática del puente ¿Ha tenido el puente relevancia noticiosa? Marque una opción</p> <p>Puntaje (uso interno): máx. 5 ptos</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Muy visible en los medios (3 pto.)</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Regularmente visible (5 ptos.)</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Baja o nula visibilidad (3 ptos.)</p> <p><input type="checkbox"/> 4. No sabe (0 ptos.)</p>

<p>5.3. En caso de cierre del puente, ¿cómo estimaría el grado de impacto económico que esto provocaría en sectores como la producción (agrícola, industrial), en el turismo, en el comercio? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): máx. 20 pts.</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. Muy alto (20 pts.) <input type="checkbox"/> 2. Alto (15 pts.) <input type="checkbox"/> 3. Medio (10 pts.) <input type="checkbox"/> 4. Bajo (5 pts.) <input type="checkbox"/> 5. No sabe (0 pts.) </p>
<p>5.4. En caso de cierre del puente, ¿cómo estimaría la dimensión del impacto social que esto provocaría? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): máx. 20 pts.</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. A nivel local (10 pts.) <input type="checkbox"/> 2. A nivel nacional (15 pts.) <input type="checkbox"/> 3. A nivel internacional (20 pts.) <input type="checkbox"/> 4. No sabe (0 pts.) </p>
<p>5.5. En caso de una construcción nueva o una sustitución del puente en otro lugar, ¿cuán alta sería la afectación ambiental o a los ecosistemas presentes en el sitio? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): máx. 10 pts.</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. Muy alta (0 pts.) <input type="checkbox"/> 2. Alto (5 pts.) <input type="checkbox"/> 3. Medio (5 pts.) <input type="checkbox"/> 4. Bajo (10 pts.) <input type="checkbox"/> 5. No sabe (0 pts.) </p>
<p>5.6. ¿Cómo calificaria usted el nivel de organización de los usuarios de la infraestructura o vecinos (líderes y organización local de la sociedad civil)? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): máx. 15 pts.</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. Muy alto (15 pts.) <input type="checkbox"/> 2. Alto (10 pts.) <input type="checkbox"/> 3. Medio (5 pts.) <input type="checkbox"/> 4. Bajo (2 pts.) <input type="checkbox"/> 5. No sabe (0 pts.) </p>
<p>5.7. ¿Existe redundancia en la red vial que haga posible la comunicación en caso de salida de servicio del puente? Marque una opción</p> <p style="text-align: center;">Puntaje (uso interno): máx. 20 pts.</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. No (20 pts.) <input type="checkbox"/> 2. Sí (3 pts.) <input type="checkbox"/> 4. No sabe (0 pts.) </p>
<p>6. INFORMACION FINAL</p>
<p>6.1. Nombre del entrevistador:</p> <p>_____</p>
<p>6.2. Fecha en que se realizó la entrevista:</p> <p>Día () Mes () Año ()</p>
<p>6.3. Manera en que se realizó la entrevista:</p> <p> <input type="checkbox"/> 1. Presencial (face to face) <input type="checkbox"/> 2. Telefónica <input type="checkbox"/> 3. Por Skype <input type="checkbox"/> 4. Otro. Especifique: _____ </p>

Anexo 2:

Lista de informantes clave y programación de las entrevistas

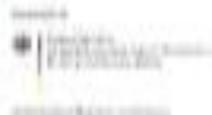
El grupo de trabajo identificó la siguiente lista de informantes clave y logró la realización de las entrevistas con las siguientes personas:

#	Nombre	Entidad	Depto./Cargo	Coordenadas
1	Ing. Olman Vargas	CFIA	Director Ejecutivo	ovargas@cfia.cr Tel. 2103 2385
2	Ing. María Ramírez González	MOPT	Jefa Dirección de Puentes	mramireg@mopt.go.cr 2523 2403 (24 02)
3	Ing. Eduardo Barquero	Programa GIZ-PRVC-I MOPT/BID	Coordinador Nacional InS	eduardo.barquero@giz.de
4	Ing. Luis Villalobos Pacheco	CONAVI	Dirección de Diseño de Vías y Puentes	luis.villalobos@conavi.go.cr
5	Andrea Soto Rojas	CONAVI	Planificación, 4to. piso	andrea.soto@conavi.go.cr
6	Ing. Gabriela Baltodano	CONAVI	Directora de Diseño	
7	Ing. Esteban Villalobos Vega	LANAMME (UCR)		
8	Carlos Picado	CNE	Desarrollo Estratégico, Sistema Nal. de Gestión del Riesgo	cpicado@cne.go.cr
9	Ing. Marco Vinicio Corrales	Municipalidad de San José		mcorralesx@msj.go.cr
10	Ing. Carlos Gamboa van der Lat	Empresa constructora Puente Prefa		2272-1530
11	Ing. David Borges	Universidad Fidelitas	Muni La Unión, consultor independiente	Contacto de ID en la universidad (crítico)
12	Joseph Jiménez E.	Ingeniero de diseño estructural y construcción	Asesor del proyecto MOPT-BID-GIZ	Oficina en Bo. Escalante Oficentro Holland House Ofic. #46. jjimenez@dsicr.com
13	Ing. Rolando Arias	CONAVI	Planificación	Rolando.arias@conavi.go.cr
14	Mónica Moreira	CONAVI	Planificación	
15	Ing. Rafael Oreamuno	Hidrólogo y docente		Rafael.oreamuno@gmail.com
16	Ing. Javier Saborío	Ing. Civil y consultor	Consultor	

Anexo 3:

Lista de abreviaturas

CC	Cambio Climático
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad
CSI	Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments
DCC	Dirección de Cambio Climático
DWD	Deutscher Wetterdienst – Servicio Meteorológico Alemán
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INDC	Intended Nationally Determined Contributions – Contribuciones Nacionales Determinadas Intentadas
LANAMME	Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
NDC	Nationally Determined Contributions – Contribuciones Nacionales Determinadas
PIEVC	Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee
PNA	Plan Nacional de Adaptación
TEC	Tecnológico de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change – Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
WP	Working Package – paquete de trabajo



Dirección de Cambio Climático, MINAE
Instituto Meteorológico Nacional
Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica
Cooperación Alemana para el Desarrollo

Proyecto Global "Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments – CSI"

**Memorando de entendimiento entre el Proyecto CSI y el
Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)
para la aplicación del Protocolo PIEVC
(Public Infrastructure and Engineering Vulnerability Committee)
de Engineers Canada**

1. Justificación

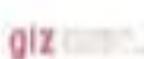
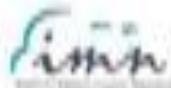
El Proyecto Enhancing Climate Services for Infrastructure Investment (CSI) coopera con sus países contrapartes en sus esfuerzos para mejorar la resiliencia de su infraestructura. CSI es parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI por sus siglas en alemán) del Ministerio Federal del Medio Ambiente, Preservación de la Naturaleza, la Construcción y la Seguridad Nuclear (BMUB por sus siglas en alemán) de la República Federal de Alemania. La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH se encarga de la implementación del programa. El objetivo de CSI es que los tomadores de decisión usen cada vez más los Servicios Climáticos (CS por sus siglas en inglés) en la planificación de inversiones en infraestructura.

El proyecto CSI se enfoca en cuatro áreas de trabajo (WP – Working Packages):

- WP1: Uso mejorado de los Servicios Climáticos (CS)
- WP2: Integración del uso de CS en los procesos de planificación
- WP3: Evaluación del riesgo climático de la infraestructura
- WP4: Intercambio internacional de experiencias y gestión de conocimientos

En el marco del WP1, con el Servicio Meteorológico Alemán como socio cooperante, CSI asesora a sus contrapartes nacionales en el desarrollo de las capacidades personales, técnicas e institucionales y de las redes necesarias para mejorar la cadena de valor de CS. Los paquetes de trabajo 2 y 3, por otro lado, se enfocan en la utilización óptima de la información climática para la planificación y el análisis de la infraestructura.

En el marco del WP3, el proyecto apoya la utilización real de CS en la valoración del riesgo para inversiones en infraestructura. Los socios de ejecución del proyecto en el caso de Costa Rica, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), con el apoyo del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en su calidad de principal proveedor de CS en el país, van a ejecutar un análisis de vulnerabilidad de, al menos, un objeto de infraestructura seleccionado. Con esta



Intención, GIZ desde sus oficinas principales del proyecto en Alemania ha suscrito un convenio con Engineers Canada (EC) para facilitar el uso del Protocolo PIEVC en los países y regiones en que actúa CSI. En vista de que el CFIA tiene experiencia en el uso de este protocolo, GIZ ha suscrito también con este colegio profesional un convenio, con el que se facilitan las condiciones para la aplicación en Costa Rica de dicho protocolo de ingeniería en una obra seleccionada. La aplicación de un protocolo de análisis deberá considerar los distintos riesgos a los cuales el cambio climático somete la obra seleccionada y también dará recomendaciones concretas y de ingeniería para favorecer su adaptación y resiliencia.

En Costa Rica, la contraparte principal del proyecto CSI es la Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), en su carácter de entidad rectora en el ámbito del Cambio Climático (CC) y concretamente en el ámbito de la adaptación. El enfoque hacia un mayor uso de CS responde a la necesidad que tiene el país de mejorar la resiliencia de su infraestructura, cada vez más amenazada por eventos meteorológicos extremos; esta aspiración se refleja en las políticas y planes de adaptación ante el CC que impulsa el gobierno de Costa Rica.

Por su parte, el IMN es una dirección adscrita al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), es un ente científico que tiene a cargo la coordinación de todas las actividades meteorológicas del país; manteniendo una vigilancia sistemática del estado del tiempo para brindar apoyo a la seguridad de la navegación aérea del país y para la prevención de los desastres hidrometeorológicos. Como parte de sus funciones recopila, estudia y analiza toda la información climática que se registra y mide en el país, necesarios para la preparación de estudios e investigaciones en los campos de agrometeorología, climatología, variabilidad climática, contaminación atmosférica, interacción océano-atmósfera, calentamiento global, cambio climático y otros, con el fin de apoyar el desarrollo nacional.

Existe un mandato dado al más alto nivel internacional, para que todas las instituciones de los gobiernos trabajen en el tema de cambio climático y planteen e implementen acciones dentro de los planes de acción para mitigar y adaptarnos al cambio climático y así reducir la vulnerabilidad ante los efectos adversos del mismo. Asimismo, ha estado involucrado en la ejecución de análisis de vulnerabilidad con el protocolo PIEVC, a partir de estudios desarrollados hacia la determinación de la probabilidad general de ocurrencia de cada uno de los fenómenos que midieron los parámetros seleccionados, en un análisis que abarca al clima actual y en el pasado reciente, mientras que el clima "futuro" ha sido definido como un plazo fijado a un horizonte temporal prospectivo. Para ello se considera información meteorológica, así como la descripción climática, tanto de la Base de Datos de las estaciones respectivas, como de literatura publicada por el mismo IMN.

El CFIA, por su lado, tiene dentro de sus fines primordiales aspectos que se relacionan directamente con la ejecución de este proyecto, dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Estimular el progreso de la ingeniería y de la arquitectura, así como de las ciencias, artes y oficios vinculados a ellas.
- Promover las condiciones educativas, sociales, económicas, técnicas, artísticas y legales necesarias para la evolución de las profesiones que lo integran y cooperar con las

Instituciones estatales y privadas en todo aquello que implique mejorar el desarrollo del país.

- Organizar, patrocinar y participar en congresos, seminarios, publicaciones, conferencias, exposiciones y en todos aquellos actos que tiendan a la mayor divulgación y progreso de las profesiones que lo integran, así como promover la técnica, las artes y la cultura.
- Dar opinión y asesorar a los Poderes del Estado, organismos, asociaciones e instituciones públicas y privadas, en materia de la competencia de los diferentes colegios que integran el Colegio Federado.

La relación del CFIA con EC inició desde los años 90 para la acreditación de programas universitarios en el país. En el año 2010 se aplicó por primera vez el Protocolo de Ingeniería del PIEVC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al Cambio Climático fuera de Canadá y el proyecto elegido fue el "Emisario Submarino" ubicado en la provincia de Limón en nuestro país, donde el CFIA fue el coordinador del proyecto. En el año 2011 se firmó un convenio para la promoción y apoyo mutuo para la aplicación del Protocolo de Ingeniería del PIEVC. En el año 2011 se firmó un convenio para la promoción y apoyo mutuo para la aplicación del protocolo, lo cual culminó con otros dos proyectos donde se utiliza el PIEVC: uno en Honduras, llamado "Evaluación del riesgo climático y prácticas de construcción para infraestructura de puentes de rutas", y el otro en Guanacaste, conocido como "Adaptación al cambio climático en los acuíferos de Nimboyores y Río Cañas – sistemas de acueductos y alcantarillados en zonas costeras."

En el caso del Consejo Nacional de Vialidad, su Visión establece el "ser una entidad eficiente y oportuna en la administración de recursos, con alto compromiso de servicio y calidad, reconocida a nivel nacional e internacional, que promueve la incorporación de innovación tecnológica para consolidar la Red Vial Nacional en términos adecuados de niveles de servicio y seguridad acorde con el desarrollo socioeconómico de Costa Rica", siendo su Misión la siguiente: *Entidad pública especializada en infraestructura vial, comprometida con el bienestar y desarrollo de Costa Rica, capaz de asegurar la sostenibilidad de la Red Vial Nacional, a través de contratos y convenios con terceros para garantizar condiciones óptimas de operación, mediante un proceso de mejora continua y en armonía con el ambiente".* Como resultado de su labor, Conavi debe:

- Mejorar la transitabilidad de la red vial nacional para facilitar la conectividad con las principales zonas productivas y/o turísticas, así como brindar conectividad general a todos los usuarios.
- Mejorar la seguridad de los usuarios de la infraestructura vial mediante la incorporación de componentes de seguridad vial en todos los proyectos que desarrolla el CONAVI.
- Incorporar el análisis de riesgo y la vulnerabilidad por cambios hidrometeorológicos extremos en el ciclo de vida del proyecto, para identificar medidas correctivas prioritarias en la red vial nacional existente.

2. Antecedentes:

Con el objetivo de lograr una escogencia atinada de la obra de infraestructura por ser analizada, desde mediados del año 2017 el proyecto CSI ha facilitado un proceso de discusión participativa en varias etapas, iniciando con la escogencia del tipo de infraestructura por ser considerada (a través de un análisis multi-criterio), y terminando con una lista de obras concretas, propuestas por informantes claves para este proceso. En la primera etapa fue decidido que "puentes" fuera el tipo de infraestructura a ser considerada; en la segunda etapa se elaboró un ranking con 11 posibles candidatos, de forma que para la aplicación del protocolo se seleccionara la alternativa que obtuviese mayor puntaje. Existen documentos que resumen este proceso y que están disponibles.

3. Objetivo de este memorando de entendimiento

Mediante el presente memorando de entendimiento, las partes que lo suscriben se comprometen a hacer los aportes que aquí se describen (siempre con relación a sus capacidades institucionales) y a participar activamente con su personal más idóneo, para lograr una aplicación exitosa del Protocolo PIEVC sobre el puente seleccionado. Asimismo, se comprometen a dar seguimiento a los resultados del proceso, de forma que el análisis de vulnerabilidad conduzca a recomendaciones concretas, con la idea de que sean puesta en práctica. Esta consideración final se refiere especialmente a CONAVI en su calidad de "dueño" de la infraestructura analizada. La aplicación del protocolo referido en este memorando no debe verse como un hecho aislado, sino que espera hacer un aporte a las capacidades nacionales para mejorar los procesos de planificación de infraestructura resiliente ante el CC.

4. Aportes y compromisos de los signatarios

Para lograr los objetivos planteados en el presente memorando, se especifican los aportes y compromisos que cada parte asume:

CONAVI:

- Será parte relevante en este proceso, participando en él activamente. Para ello, facilitará la participación de al menos tres profesionales de su sede central, Ingenieros Luis Villalobos, Rolando Arias y de forma intermitente Andrea Soto, así como al menos un profesional destacado en la zona donde se ubique la obra analizada. El equipo nombrado por CONAVI para esta labor será parte integrante fundamental del grupo de trabajo, que para la realización de esta actividad será conformado y participará en todas las actividades planificadas.
- Realizará, en la medida de sus capacidades, aportes que apoyen la realización de reuniones, talleres y capacitaciones, sobre todo en la zona de ubicación de la obra, tales como puesta a disposición de salones de reuniones, transporte, alimentación durante sus actividades, materiales, entre otros.

- Aportará, siempre que esté disponible, el material técnico como planos, normativas, especificaciones técnicas y otras informaciones necesarias para la aplicación del protocolo. Las partes se comprometen a dar un uso confidencial a cualquier información aportada.
- Buscará la manera en que las recomendaciones técnicas relevantes, derivadas justamente de la aplicación del protocolo en la obra seleccionada, sean consideradas y aplicadas, en la medida de lo posible, de manera que este análisis logre una utilidad más allá que la aplicación misma de un protocolo. Para ello velará por que las recomendaciones que lo ameriten sean integradas en diseños o especificaciones técnicas, según corresponda.

CITA:

- Aportará su experiencia y experticia con respecto al Protocolo PIÉVC, y será la organización encargada de su aplicación. Para ello pondrá a disposición de esta actividad a los profesionales designados, según consta en el acuerdo tipo Grant, suscrito con la GIZ.
- Coordinará y documentará las actividades de ejecución del protocolo en cada uno de sus cinco pasos, principalmente en aspectos técnicos. Otros socios de esta iniciativa, especialmente GIZ en Costa Rica, apoyarán la realización de estas actividades como talleres y reuniones, sobre todo en aspectos de moderación, facilitación, transporte y logística.
- Fungirá como enlace principal con EC, básicamente en lo relacionado con consultas de índole técnico, que surjan durante la implementación del protocolo en la obra seleccionada.

IMN:

El IMN aportará personal técnico experto (Ing. Nazareth Rojas Morales y Met. Lic. Luis Fernando Alvarado Gamboa), este personal será parte integrante del grupo de trabajo que ejecute la iniciativa aquí descrita. En lo relacionado con CS (información climática), apoyará su uso, así como en el tema de modelación de escenarios climáticos según lo requiera la aplicación del protocolo.

- El IMN aportará, según sus capacidades, información y productos relevantes (CS), requeridos para la aplicación del protocolo en la obra seleccionada. Todas las partes signatarias de este memorando se comprometen a guardar los principios de confidencialidad que a este respecto exige el IMN.
- La información que se intercambie o se genere en la relación entre las partes, estará protegida por la estricta confidencialidad, salvo lo relativo a documentos públicos de acuerdo con la ley. La revelación injustificada de la información protegida acarreará la exigencia de las consecuentes responsabilidades administrativas, civiles y penales, en caso de causarse perjuicio a las partes o a los administrados. Todas las partes se obligan también a:
 - 1) Usar la información exclusivamente para las actividades objeto del presente convenio.
 - 2) No permitir el uso a ningún tercero ni ejercer algún tipo de actividad lucrativa con la información que se brinden mutuamente.

DCC:

- Aportará al menos un profesional (Iván Alonso Delgado) que integrará el grupo de trabajo encargado de la aplicación del protocolo y participará, en la medida de las posibilidades, en las actividades realizadas en este marco.
- Vigilará que esta iniciativa siempre se mantenga orientada y congruente con los lineamientos actuales o futuros, que en materia de adaptación al CC y aumento de la resiliencia de la inversión en infraestructura impulse el gobierno de Costa Rica. Estos lineamientos pueden ser los NDC's, la política de Adaptación al CC, el Plan Nacional de Adaptación, los informes provenientes de la Contraloría General de la República, entre otros.
- La DCC dará difusión a los resultados de esta iniciativa, de manera que más instituciones y obras de infraestructura pública realicen acciones similares, conducentes a mejorar la resiliencia de las obras.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit:

- GIZ a través del proyecto CSI realizará aportes financieros y técnicos, requeridos para llevar a cabo esta iniciativa. Por un lado, apoyará al CFTA mediante el acuerdo suscrito y por otro financiará las actividades de EC en cuanto al soporte técnico requerido de estos, tanto en Costa Rica como en los restantes países socios de CSI.
- GIZ aportará personal destacado en Costa Rica para acompañar, facilitar y apoyar todo el proceso de aplicación del PIEVC. Este personal, consistente en al menos dos personas, facilitará reuniones, talleres y capacitaciones, así como la documentación de sus resultados. También apoyará a la iniciativa con personal en la sede del proyecto en Alemania.
- GIZ apoyará en el establecimiento de redes de cooperación, no solo a nivel nacional sino también internacional, con entidades especializadas en los temas de CS, y adaptación de la infraestructura al CC, tales como entidades académicas y de investigación, otros proyectos de la cooperación internacional, agencias de gobierno, etc.
- GIZ apoyará con medidas concretas la creación de capacidades en este ámbito, considerando para ello las dimensiones de la persona, la organización, las redes y la sociedad.
- GIZ, basada en la experiencia lograda en este proceso, apoyará la divulgación del mismo en otros países socios del proyecto CSI, con la idea de favorecer acciones similares en otros lugares.
- GIZ financiará actividades o rubros que no puedan ser cubiertos por las entidades que suscriben este memorando. Estas pueden ser contrataciones de bienes o de servicios, según sea acordado con las partes.

3. El equipo

Las partes signatarias se comprometen a que sus representantes, nombrados en este memorando, conformen de manera activa el grupo de trabajo creado para la realización de esta iniciativa y que puedan participar en todo el proceso de aplicación del PIEVC. Se invitará a formar parte de este grupo a las personas que así lo manifestaron en el taller realizado el 30 de enero de 2018 en el CFTA, según se documentó en el informe respectivo.

6. Duración de este Memorando de Entendimiento:

Se estima que la ejecución del protocolo PIEVC en la obra seleccionada tomará algo menos de un año, por su parte este Memorando estará vigente desde la fecha de su firma y hasta el final del proyecto CSI.

Suscribimos en San José, en cinco tantos originales iguales, a los 04 días del mes de abril de 2018.



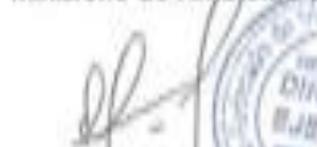
Carlos Eduardo Solís Murillo
Director Ejecutivo
Consejo Nacional de Viadad



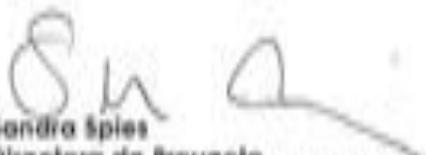
Juan Carlos Fallas Sojo
Director General
Instituto Meteorológico Nacional



Andrea Meza Marillo
Directora de la Dirección Cambio Climático
Ministerio de Ambiente y Energía



Oltan Vargas Zeledón
Director Ejecutivo
Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica



Sandra Spies
Directora de Proyecto
Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit

ASUNTO: Protocolo de Ingeniería del PIEVC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al Cambio Climático (PIEVC Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate)

PROYECTO: Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments – CSI

REFERENCIA: Informe Taller N°1 – 9 de abril de 2018

I. ASISTENCIA

CONAVI:

1. Rolando Arias
2. Luis Villalobos
3. Gustavo Alvarado

LANAMME:

4. Esteban Villalobos

MOPT:

5. Gabriela Muñoz
6. Joseph Jiménez

IMN:

7. Roberto Villalobos
8. Nazareth Rojas

Municipalidad de San José:

9. Manuel Ordeñana

TEC:

10. Giannina Ortiz

CFIA:

11. Vladimir Naranjo
12. Luis Castro
13. Francine Fuentes

GIZ:

14. Federico Villalobos



Los diferentes participantes se presentan se presentan e indican sus expectativas en cuanto al taller y la aplicación del protocolo.

II. INTRODUCCIÓN

Antecedentes. Se recuerda la actividad previa donde se eligió el puente y se comenta que se va a firmar un documento entre las partes, el cual representa el compromiso por parte de las instituciones para participar en el proyecto.

Giannina Ortiz del TEC realiza la solicitud de ser parte de este documento. Se le explica el alcance del documento y que es entre CFIA, GIZ, DCC, IMN y CONAVI; sin embargo, se comenta que en el caso de ellos se puede firmar una CARTA DE ENTENDIMIENTO y que también se les va a presentar el PLAN DE TRABAJO. Este Plan de trabajo se va a compartir a las partes e incluye el cronograma y desglose de actividades.

Se comentan las siguientes actividades:

- Foro de Diálogo:
 - Viernes 20 a partir de las 8:30am
 - Se va a presentar la línea base realizada por Daniel de la DWD de Alemania.
 - Apoyo de CSI al Plan y Política de Adaptación al CC preparado por DCC
- Gira Guanacaste
 - Del lunes 23 al jueves 26 de abril:
 - Salida lunes
 - Martes: Visita a puente y taller
 - Miércoles: taller
 - Jueves: regreso a SJ

III. TALLER

CHARLA 1:

Repaso Protocolo PIEVC

Presenta: Luis Castro

Aplicación a nivel país. Vladimir Naranjo comenta que ya se conversó con Ingenieros Canadá para realizar una "licencia a nivel país", de manera que, por ejemplo, si el TEC lo quiere utilizar, firme un convenio con el CFIA para aplicación. También, se tiene en mente, la generación de un documento nacional (Protocolo CR, Manual CR). También se comenta que es muy importante la gestión y traslado de conocimiento, así como, el análisis del Protocolo como herramienta, es decir, ser críticos del Protocolo y ver como se aplica a CR.

CHARLA 2:

Incorporación de Información Climática en Protocolo PIEVC

Presenta: Nazareth Rojas

Cambios Climáticos vs Variabilidad Climática.

Los registros históricos no representan lo que vamos a enfrentar en el futuro.

El valor agregado es el análisis de la probabilidad futura, adicional a la probabilidad actual.

Se comenta que un resultado interesante que se va a obtener es la estimación de la magnitud del impacto futuro en la infraestructura de un puente.

CHARLA 3:

Avance proyecto Nimboyores

Presenta: Luis Castro

Entre otros comenta:

- Poca información disponible, por lo que, se tuvo que hacer entrevistas con la administración de las ASADAS y visitas de campo para verificar la información.
- Muestra la matriz que se está trabajando en Nimboyores.
- Se recalca la importancia de la gestión de activos.
- Se recalca la importancia de documentar todo.

DISCUSIÓN 1:

Información relevante al proyecto disponible por las instituciones

Modera: Luis Castro

Revisión de información aportada:

1. TEC: Informe SAEP.
 - a. Es un inventario con la información básica del puente.
 - b. Fue realizado en el 2014.
 - c. Inspección con enfoque estructural – Para proyecto CSI la inspección varía y hay que ver otros aspectos, como elementos aguas arriba y aguas abajo, y delimitar la cuenca.
 - d. Planos los tiene el MOPT
2. Fecha del puente:
 - a. Diseño original: 1975
 - b. Placa: 86-90
3. Inspección:

Grúa de inspección: se consulta si se puede utilizar para el día de la visita a Guanacaste.
Gabriela Muñoz va a consultar si está disponible la grúa y se puede utilizar.
Gustavo Alvarado agrega que él puede coordinar con la oficina de Tránsito del MOPT en Liberia.
Giannina y *Gustavo* van a realizar una propuesta de Guía de Inspección.
Gustavo coordina con la oficina de comunicación para el cierre parcial.
4. Posterior a tormenta NATE, se realizaron inspecciones - se buscará esta información.
5. Inspección ocular CFIA: realizada en marzo.
6. Se conversa acerca de estandarizar los conceptos y explicar conceptos básicos para todos los participantes del taller. Se habla de utilizar el Manual de Inspección de Puentes del MOPT.
7. Terreno de la cuenca: analizar si ciertos cambios de uso de suelo benefician o empeoran la condición.

DISCUSIÓN 2

Aplicación Paso 1

Modera: Luis Castro

1.1. ¿Cuáles componentes del puente actual nos interesan?

- a. Accesos:
 - o Calzada de acceso
 - o Rellenos de aproximación: margen 1 (Guardia) y margen 2 (Comunidad)

- b. Accesorios:
 - Pavimentos
 - Drenajes
 - Baranda de acero (1 y 2)
 - Juntas (1 y 2)
- c. Subestructura:
 - Bastiones (1 y 2)
 - Fundaciones (1 y 2)
 - Apoyos
- d. Superestructura:
 - Cerchas principales
 - Sistema de arriostramiento
 - Vigas transversales
 - Losa de rodamiento
- e. Otros componentes:
 - Estructura de puentes paralela vieja
 - Infraestructura paralela de agua potable
 - Arrastre

1.2. Descripción de la infraestructura

El equipo de trabajo decide adoptar la definición localizada en la página 5 del informe del TEC:
“Tipo cercha de acero de paso inferior con una longitud de 92,15m y un ancho de calzada de 7,25m. Las cerchas están conformadas por vigas de acero tipo W. El sistema de piso se encuentra conformado por 5 vigas de acero sobre las cuales se apoya la losa de aproximadamente 15cm de espesor....”

1.3. Información adicional

Información complementaria disponible:

- a. Planos digitales (escaneados): LANAMME- Esteban los aporta.
- b. Reporte uso de suelo del 2012: IMN-Nazareth
- c. Informe con evaluaciones posterior a Tormenta NATE: CONAVI-Gabriela
- d. Información hidrológica de la Estación Meteorológica ubicada en puente: Vladimir está buscando la información en el ICE, el cual es el dueño anterior y con el AyA, como dueño actual.
- e. Información de la Estación Meteorológica del Aeropuerto Daniel Oduber: IMN- Nazareth.
- f. Informes de operación y mantenimiento, inspección visual (Gustavo, CONAVI)
- g. Informes hidrológicos sobre río Tempisque o proyectos de graduación: Esteban consulta al Ing. Rafael Oreamuno.
- h. Atlas climáticos, recorte de la cuenca: (datos generales del clima): Nazareth

1.4. Parámetros climáticos:

Parámetros a considerar:

- a. Lluvia
 - i. Evento octubre 2007 – posible umbral
 - ii. Nazareth solicita para taller de Liberia que tengan la información de eventos específicos.
 - iii. También se comenta la importancia de averiguar por estudios previos en la UCR, ya sea, un proyecto específico o un proyecto de graduación.
- b. Temperatura
- c. Viento
- d. Descargas eléctricas
- e. Huracanes
- f. Tormentas Tropicales
- g. Caudales

1.5. Horizonte temporal

- a. Vida de diseño (nuevo): 75 años
- b. Puente viejo: 50 años
- c. Vida útil: 40 años
- d. Estudio hidrológico: periodo de retorno de 100 años – ruta primaria (según ASSHTO debería ser 200 años) / 200 años para socavación.

1.6. Consideraciones geográficas

Parámetros a considerar:

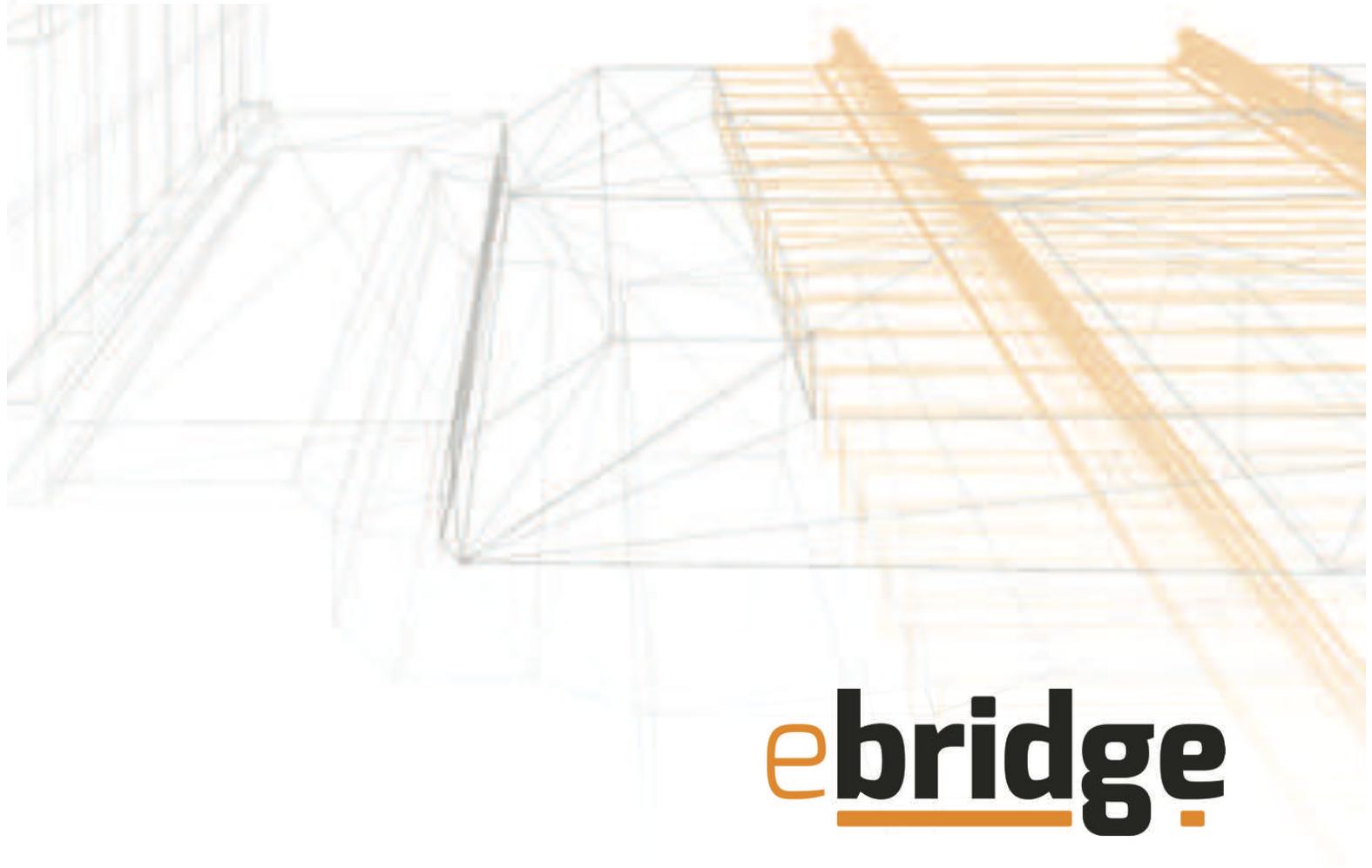
- a. Tomas de agua privada (canales)
- b. Influencia Tempisquito- afluente, microcuenca
- c. Morfología, cauce del río (sección)
- d. Caracterización de la cuenca (morfometría) (Topografía plana-aguas arriba)
- e. Uso y tipo de suelo (cobertura)

1.7. Consideraciones jurisdiccionales

- a. Responsabilidad del CONAVI con la tutela del MOPT (asesoría)
- b. Servicios paralelos (agua) deben coordinarse con las entidades respectivas
- c. Influencia de la Municipalidad de Liberia en el manejo de la cuenca

2. Gira Guanacaste

- 2.1. Visita al sitio
- 2.2. Valoración de la suficiencia de los datos



ebridge

Informe Inventario

e Inspección visual de daños

PUENTE TEMPISQUE NUEVO

Profesional Responsable:

Ing. Rolando Pereira Calderón

Registro CFIA: ICO-24516

Fecha: 18/03/2014

Equipo de Inspección

Ing. Rolando Pereira Calderón
Registro CFIA: ICO-24516
(Inspector responsable)

Personal de apoyo:

Wendy Salazar - Estudiante
Gabriel Valenciano - Estudiante
Pedro Rodríguez - Estudiante

Coordinadora del proyecto:
Ing. Giannina Ortiz Quesada
Registro CFIA: ICO-8027

Ing. Katherine Vargas Padilla
Asistente Técnico

Introducción

1. Información General

Nombre del Puente: Tempisque Nuevo

Ubicado sobre Ruta: 21

Tipo de Ruta: Nacional Primaria

Administrado por: CONAVI

Contacto: Ing. Gustavo Rodríguez

Kilómetro: 18,008

Sección de Control: 50082

Localidad: El puente se encuentra ubicado en la Provincia de Guanacaste, en el cantón de Liberia, distrito Nacascolo.

Coordenadas CRTM05: X=325895.0000 Y=1168330.0000

Coordenadas WGS84: Latitud Norte=10°33' 43.77" Longitud Oeste=85°35' 26.52"

Fecha construcción: Según una placa ubicada en el sector de ingreso al puente (Margen Izquierda), la estructura fue construida en la primera administración de Óscar Arias Sánchez en el periodo de 1986-1990.

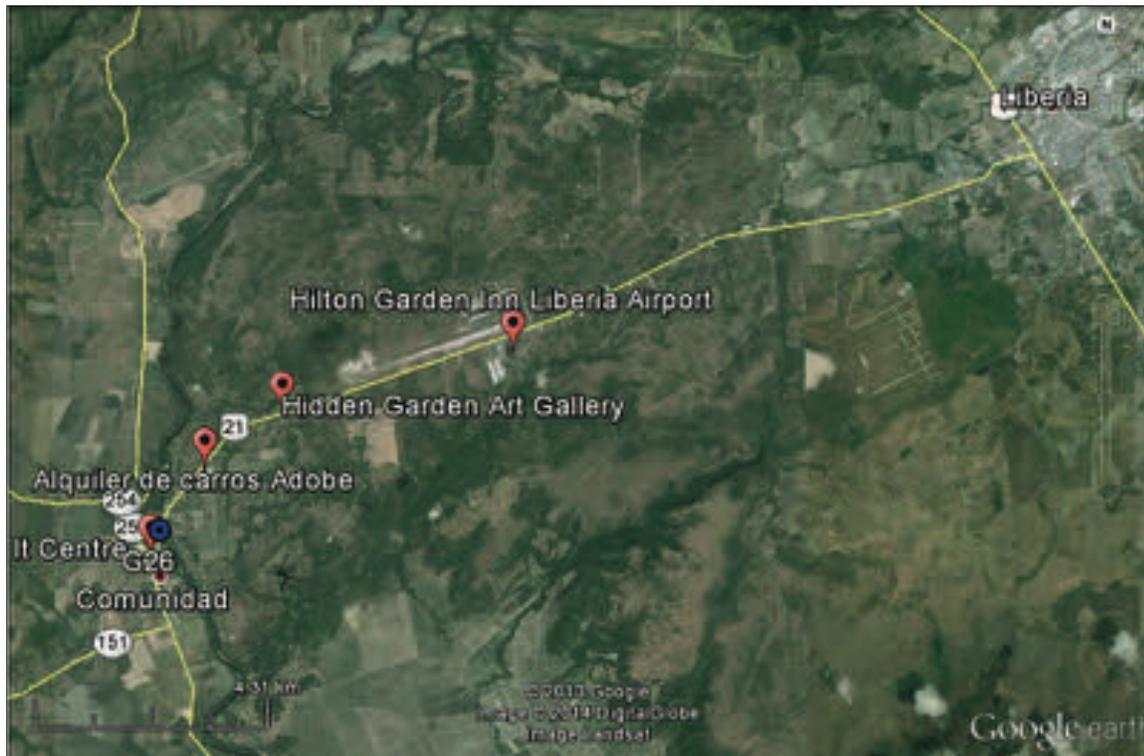


Figura 1. Ubicación del puente. Fuente: Google Earth



Figura 2. Vista general del puente Tempisque Nuevo



Figura 3. Vista lateral del puente Tempisque Nuevo

1.1. Características del puente

El puente sobre el Río Tempisque Nuevo está sobre en la ruta Nacional 21 en el kilómetro 18,008. Posee coordenadas de ubicación latitud norte 10°33' 43.77" y longitud oeste 85°35' 26.52". Es un puente de un solo tramo simplemente apoyado; con un apoyo móvil (tipo balancín) en el sector de margen izquierda y un apoyo fijo en la otra margen (pernos anclados a bastión).

Es del tipo cercha de acero de paso inferior con una longitud de 92,15 m y un ancho de calzada de 7,25 m. Las cerchas están conformadas por vigas de acero tipo W. El sistema de piso se encuentra conformado por 5 vigas de

acero sobre las cuales se apoya la losa de aproximadamente 15,00 cm de espesor; estas vigas no poseen conectores de cortante que se anclen a la losa.

Según información recopilada en campo, la losa está fabricada en barras de acero #4 @ 15,00 cm en forma transversal y @25,00 cm en sentido longitudinal.

La estructura está conformada por dos carriles para el tránsito de vehículos, uno en cada sentido de circulación. Posee acera a ambos lados del puente de 60,00 cm de ancho.

Tabla 1. Clasificación del puente

Clasificación según	Uso	Material	Longitud entre apoyos	Configuración estructural de superestructura
	Vehicular	Acero	Mediano	Cercha de paso inferior

Tabla 2. Descripción de elementos Principales

Ubicación	Elemento	Tipo de Elemento	Cantidad	Unidad	Material
Losa y accesorios	Superficie de Ruedo	Primario	668,08	m ²	Asfalto
	Juntas de expansión	Secundario	14,50	m	Juntas abiertas y juntas de placas deslizantes
	Baranda	Secundario	184	m	Acero
Superestructura	Losa de concreto	Primario	92	m	Concreto
	Apoyo fijo	Primario	2	un	Acero
	Apoyo Móvil	Primario	2	un	Acero

1.2. Información General del Sitio

El puente se encuentra ubicado en la cuenca del río Tempisque y

Tempisquito que a su vez pertenecen a la gran cuenca del río Tempisque.

Ubicación del Puente en la Microcuenca:

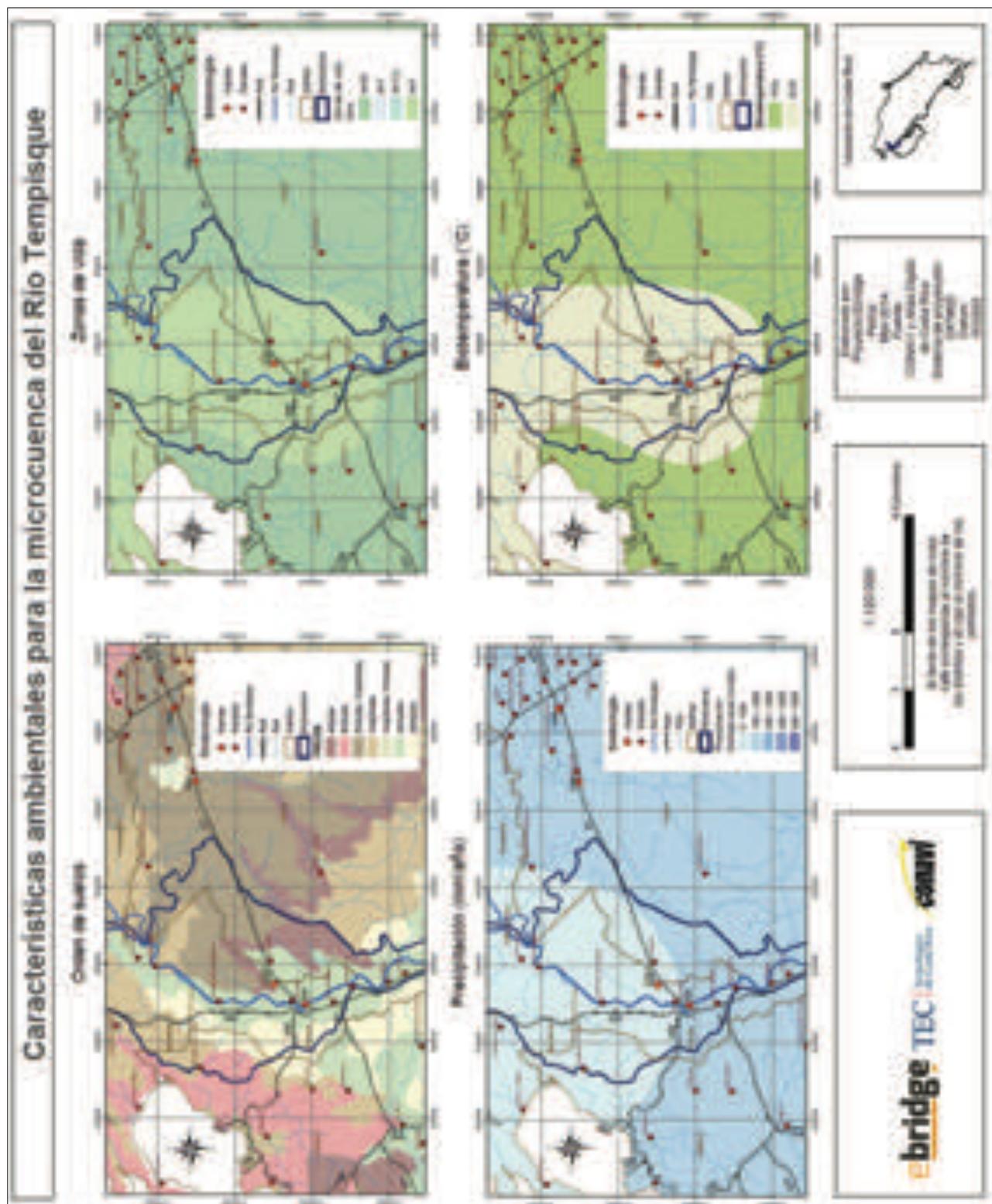


Figura 4. Mapa Características Ambientales de Microcuenca. Fuente: Atlas Digital.

Riesgos identificados:

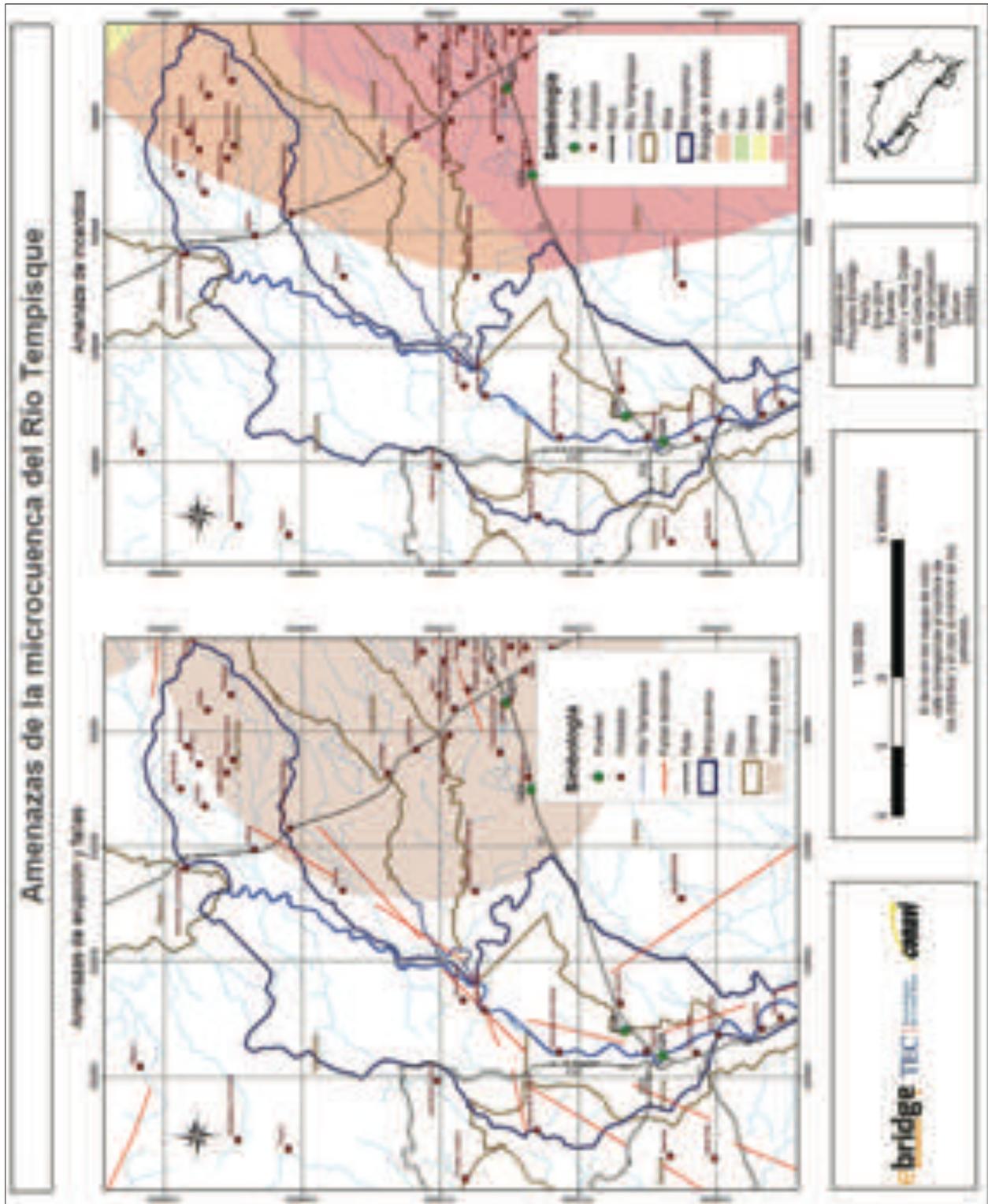


Figura 6. Mapa Amenazas de Microcuenca. Fuente: Atlas Digital.

2. Resultados principales de la inspección

El puente se encuentra en condición aceptable, pero al límite de la calificación, a continuación se detallan los defectos.

2.1. Descripción de defectos

A continuación se presentan los principales defectos encontrados, desde las perspectivas de seguridad vial, losa y accesorios (cuando la losa no es parte de la superestructura), superestructura, subestructura y funcionalidad. Para más detalles ver anexos 1 y 2. En cuanto a la funcionalidad se analizan aspectos relacionados con las limitaciones que le pueda proporcionar el puente a la vía a la cual pertenece, ya sea en cuanto a capacidad de carga, como cantidad de carriles, limitaciones en altura, ancho y otros.

2.1.1 Defectos en la seguridad vial

El señalamiento horizontal se observa desgastado, no es posible distinguir claramente las líneas de división de carriles, así como la línea de espaldón. Existe además señalamiento vertical tanto a la entrada como salida que indica que el puente se encuentra en mal estado y la velocidad a la cual se debe circular.

2.1.2. Defectos en la losa y accesorios

Existe exceso de agrietamiento en gran parte de la losa, en algunos sitios hay grietas en dos direcciones, probablemente causadas por fatiga, que evidencian un gran deterioro.

Además se observa una gran cantidad de reparaciones, mismas que fueron confirmadas por el Ing. Gustavo Rodríguez, encargado de la ruta 21 por parte del CONAVI, quien aseguró que durante los últimos años han tenido que realizar reparaciones a algunos huecos. Con base en estos hechos se estima que probablemente este elemento fue mal diseñado, pues también las vigas carecen de conectores de cortante.

Se realizó un levantamiento detallado de la losa para ubicar los sitios donde existen grietas importantes y donde están las reparaciones. (ver figura 7)

Aproximadamente el 33% del área total de la losa ha sido intervenida, reparaciones con formaleta metálica o de madera. En el 25% del área se detectan grietas en dos direcciones y con posibilidades de colapso que podría generar el desprendimiento total de la misma. El restante 42% del área muestra señales de agrietamiento pero en menor grado comparado con las otras zonas.

Con respecto a los accesorios, la baranda de protección se encuentra en buen estado dado que no presenta deformaciones, únicamente una leve falla en un tramo aguas abajo cerca a margen izquierda donde es probable que un vehículo haya colisionado y esto provocara la deformación de este sector.

Es apenas apreciable el inicio de la oxidación y no hay indicios aún de corrosión que pueda dañarla en el corto plazo. Las juntas de expansión se encuentran totalmente obstruidas (incluyendo la junta móvil), por lo que se

observa un agrietamiento transversal en toda la junta debido al desplazamiento que se genera en este punto.

2.1.3 Defectos en superestructura

Los elementos que conforman la cercha se encuentran en buen estado, se observa que la estructura fue pintada recientemente, por lo que la oxidación es poco apreciable. No hay rastros de corrosión.

Para el caso de los elementos que funcionan de arriostre lateral presentan deformaciones importantes ya que han sido impactados por camiones de gran altura dado que están colocados para restringir el paso de este tipo de vehículos.

Las conexiones apernadas se encuentran en excelente estado, no hay ninguno cortado ni afectado por oxidación o corrosión.

Se detecta un desplazamiento considerable en los apoyos móviles ubicados en la margen izquierda, al punto de evidenciar rotación.

En la figura 8 se muestra, en un diagrama tridimensional, el estado del puente por oxidación y por corrosión, de acuerdo con las Tablas de Evaluación del Manual de Inspección de Puentes del MOPT, en una nomenclatura por colores, para visualizar la ubicación de los daños. (ver figuras 8 y 9)

2.1.4. Defectos en subestructura

Ambos bastiones se encuentran en buenas condiciones pues se observa que su superficie está en buen estado, sin embargo, el bastión de margen izquierda, en el sector aguas abajo, se mantiene húmedo por una fuga de agua que escurra directamente de una tubería de agua potable que cruza por ahí, de no corregirse en el corto plazo podría generarle problemas al concreto del bastión y provocar corrosión a los apoyos metálicos.

En el bastión de margen derecha se observa un desprendimiento del concreto circundante debajo del apoyo fijo, es posible que se haya generado por el desplazamiento que ahí se presenta pues la rotación en el apoyo móvil del otro bastión hizo desplazar toda la estructura junto con el apoyo fijo apernado a este bastión. (Ver figura 10)

2.1.5. Problemas en la funcionalidad

Los angulares que funcionan de arriostre deben ser colocados a una mayor altura para evitar que algún vehículo de gran tamaño los deforme al circular.

La losa podría sufrir un desprendimiento importante que genere huecos que imposibiliten el paso de vehículos.

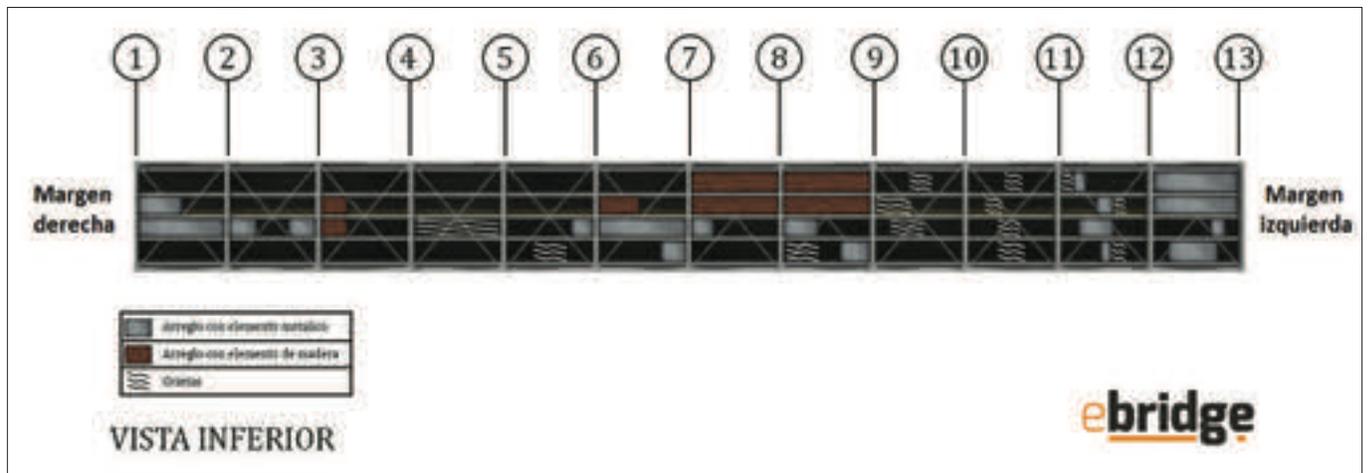


Figura 7. Ubicación de defectos principales en la losa

Grado de daño	Descripción	Código Color
1	No se observa oxidación.	Azul
2	Se puede observar oxidación en lugares determinados.	Verde
3	La oxidación comienza en los bordes filosos de la superficie de la estructura.	Amarillo
4	20% de la superficie de la estructura está cubierta con oxidación.	Naranja
5	Más del 50% de la superficie de la estructura está cubierta con oxidación.	Rojo

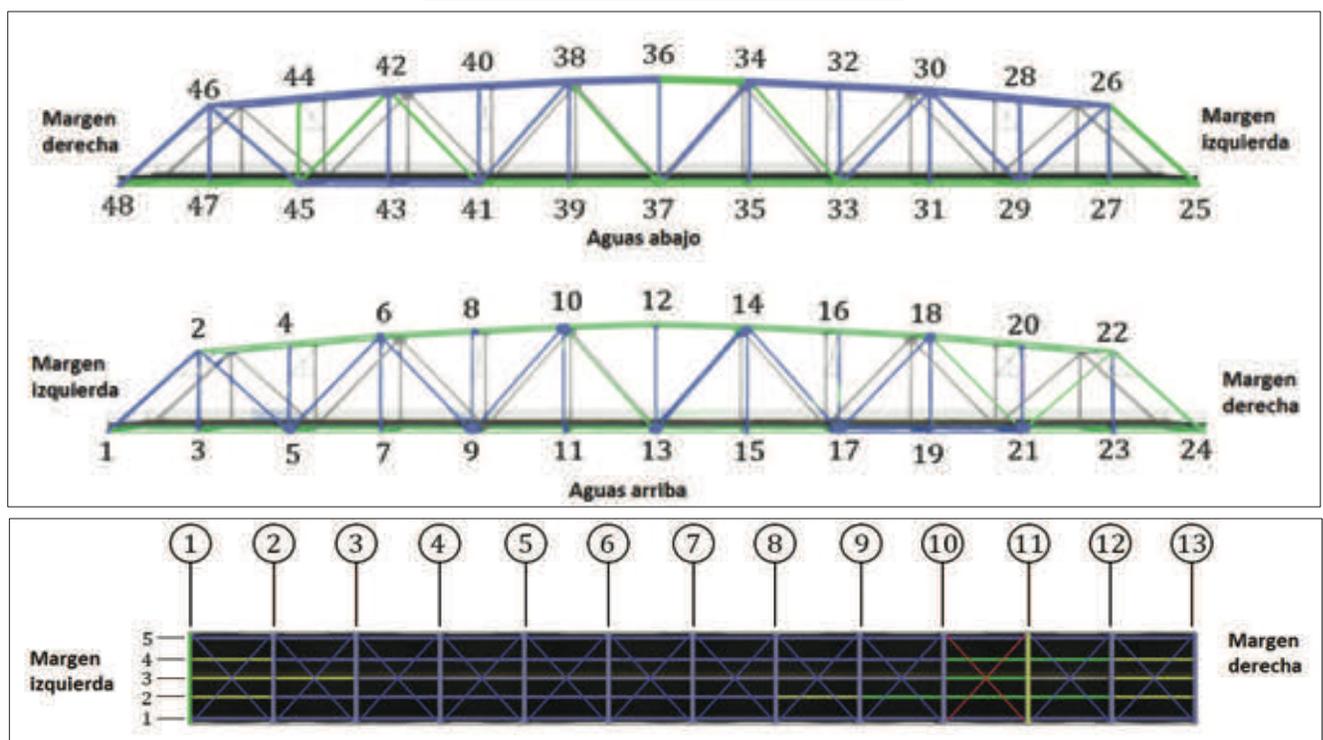


Figura 8. Modelo tridimensional que muestra el estado del puente por oxidación

Tabla 12 Grado de daño por corrosión		
Grado de daño	Descripción	Código de colores
1	No se observa corrosión en el elemento.	Azul
2	Se observa el principio de la corrosión.	Verde
3	La corrosión creció y ha ocasionado orificios en partes del elemento.	Amarillo
4	Algunas partes del elemento están reducidas por corrosión.	Naranja
5	Algunas partes del elemento se han perdido por la corrosión.	Rojo

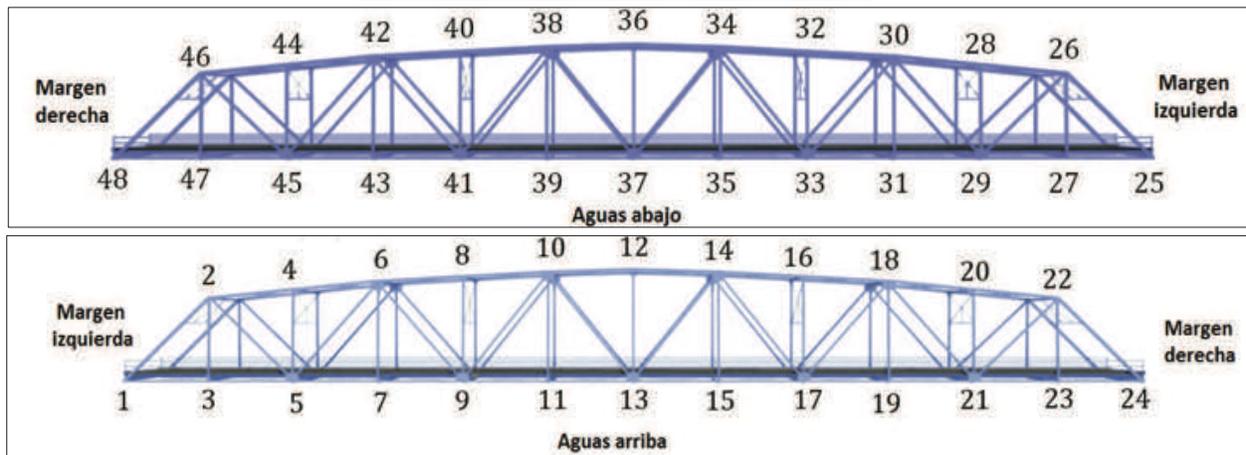


Figura 9. Modelación tridimensional que muestra el estado del puente por corrosión

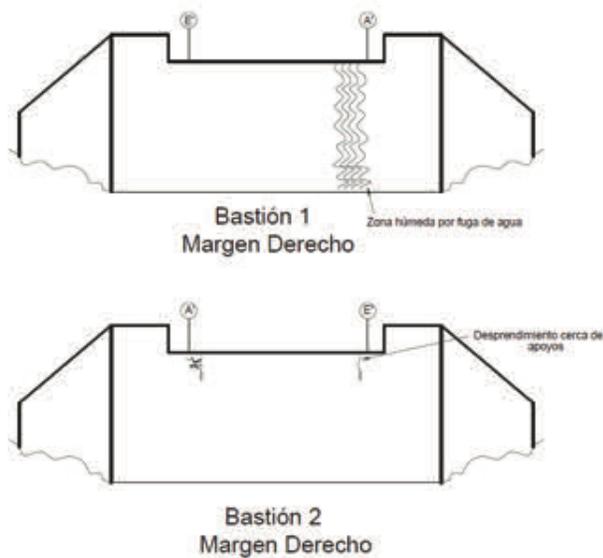


Figura 10. Defectos en subestructura

2.2. Valoración de los defectos

Los defectos encontrados se valorarán a continuación utilizando el "Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges" de la Federal Highway Administration del U.S Department of Transportation.

En el caso de la seguridad vial la calificación se hace de la siguiente forma:

- 0 - La estructura no se adecua a los estándares de seguridad aprobados
- 1 - La estructura tiene los elementos de seguridad adecuados
- N - No aplica

Para la calificación de la losa y accesorios, la superestructura y la subestructura, se utiliza lo siguiente:

- N - No aplica
- 9 - Excelente condición
- 8 - Muy buena condición (no se notan problemas)
- 7 - Buena condición (presencia de problemas menores)
- 6 - Condición satisfactoria (algunos elementos estructurales presentan deterioro menor)
- 5 - Condición regular (los elementos primarios presentan defectos en un grado menor, tales como pérdida de

sección, agrietamiento, astillamiento, socavación)

4 - Condición pobre (deterioro avanzado, pérdida de sección avanzada, astillamiento o socavación)

3 - Condición seria (pérdida de sección, deterioro, astillamiento o socavación que afecta seriamente los elementos estructurales primarios. Presencia de grietas por fatiga en acero o grietas por cortante en concreto)

2 - Condición crítica (deterioro avanzado de los elementos estructurales primarios. Presencia de grietas por fatiga en acero o grietas por cortante en concreto. La socavación puede haber removido parte del soporte de la subestructura. En este caso es necesario el cierre del puente hasta que se tomen las medidas correctivas)

1 - Condición de inminente falla (deterioro mayor con pérdida de sección de elementos estructurales principales, presencia de movimiento vertical u horizontal de la estructura que afecta su estabilidad. El puente debe cerrarse hasta que se tomen las medidas correctivas)

0 - Condición de falla (el puente ha fallado y se encuentra fuera de servicio)

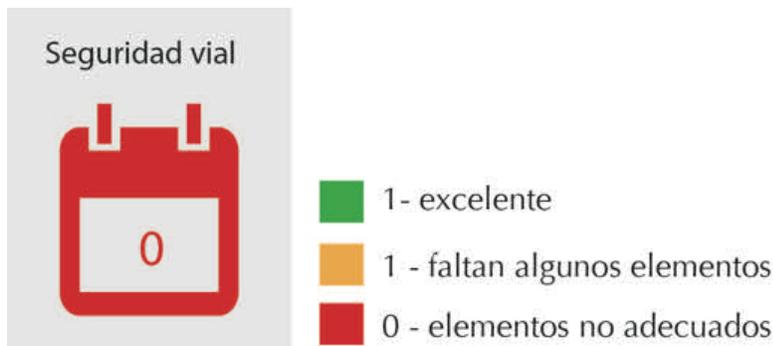


Figura 11. Valoración de los elementos de seguridad del puente Tempisque Nuevo



Condición

- buena o aceptable (9 - 6)
- regular (5 - 3)
- crítico (2 - 0)

Figura 12. Valoración de los elementos de seguridad del puente Tempisque Nuevo

3. Conclusiones y Recomendaciones

3.1. Conclusiones generales

La demarcación horizontal (líneas de centro, líneas de espaldón) que posee el puente sobre el río Tempisque esta desgastada debido al paso de los años, lo que genera dificultad para poder observar las líneas de separación, esto desde el punto de

seguridad vial no es adecuado para los conductores.

La losa se encuentra en un avanzado estado de deterioro, según el levantamiento realizado un 33% del área total de la losa ha sido intervenida, esto se muestra con formaleta ya se metálica o madera, un 25% presenta grietas en dos

direcciones y con gran posibilidad de colapso que podría generar el desprendimiento total de la misma. El restante 42 % de la losa muestra señales de agrietamiento en una sola dirección. El ancho de estas grietas no fue posible corroborarlo debido a la imposibilidad de acceso a este sitio.

Los elementos de acero que conforman las cerchas se encuentra en una condición aceptable de acuerdo a la calificación obtenida en el tema de oxidación y de corrosión, se observa que la estructura fue pintada con anticorrosivo recientemente lo que ayuda a preservar la superficie metálica. Únicamente se observan los inicios de oxidación en puntos localizados que se ilustran en los modelos tridimensionales.

Se observó un desplazamiento o rotación en el apoyo móvil de margen izquierda el cual influyó directamente en el apoyo fijo de margen derecha lo que generó el desprendimiento del concreto en este sector.

La superficie de concreto de ambos bastiones se encuentran en buenas condiciones, únicamente el desprendimiento de concreto bajo los anclajes del apoyo de margen derecha que se mencionó anteriormente.

Los angulares colocados como elementos de arriostre de las cerchas, se encuentran a poca distancia del suelo, lo que ha generado que los camiones de gran altura impacten contra ellos y por ende los deforme, esto se observa principalmente en los elementos de entrada al puente por ambas márgenes.

Se debe tomar en cuenta la fuga de agua que existe en el bastión de margen izquierda ya que el agua escurre directamente sobre el bastión y de no corregirse en el corto plazo puede generarle algún tipo de problema a la superficie de concreto, e inclusive a los mismos apoyos metálicos provocarles algún grado de corrosión.

3.2. Recomendaciones

En el corto plazo se debe intervenir la losa de concreto por el peligro que la condición actual representa. La gran cantidad de reparaciones además del marcado agrietamiento indican que en cualquier momento habrá desprendimiento del concreto, se recomienda hacer un rediseño de la losa para la reconstrucción total de la misma.

4. Anexos

Anexo 1. Formularios de inspección y fotografías

Anexo 2. Croquis de estructuras y levamiento de defectos

INVENTARIO DE PUENTE		
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO	
	RUTA N°	21
KILÓMETRO	18.008 km	

LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
	CANTÓN	LIBERIA	LATTITUD NORTE	10.0º	33.0'			
	DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'			

OBSERVACIONES DEL INVENTARIO BÁSICO

Puente tipo cercha de paso inferior, el cual presenta dos carriles uno en cada sentido de circulación. La losa de concreto se encuentra apoyada sobre 5 vigas de acero, en la sección de planos se encuentran los que se realizaron para la rehabilitación del puente, además la ruta alterna por seguir es Nacional y fue calculada según datos del Atlas Digital de Costa Rica 2008, Capa de Rutas del CONAVI y Google Earth. LA ALTURA LIBRE VERTICAL INFERIOR SE CALCULÓ DESDE ALTURA EXISTENTE ENTRE LA PARTE INFERIOR DE LA VIGA Y EL NIVEL DE AGUA MÁXIMO DEL RÍO EN ESE MOMENTO DEBIDO A LA CARENCIA DE INDICIOS VISIBLES DE MARCAS DE AGUA EN LA SUBESTRUCTURA. La altura libre superior se midió entre el nivel de la carretera y la ELEVACIÓN INFERIOR DEL PORTAL FRONTAL DE LA CERCHA. Debido a la sobre capa de asfalto no es posible observar las juntas de expansión. No es posible determinar el área pintada, tampoco se conoce la fecha de la última pintura y menos la empresa encargada de este trabajo. EL LARGO DE LOS BASTIONES NO FUE POSIBLE MEDIRLO. LA ALTURA DE LOS BASTIONES FUERON MEDIDOS DESDE LA BASE DEL BASTIÓN, YA QUE LA FUNDACIÓN NO FUE POSIBLE OBSERVARLA HASTA LA ALTURA DE LA VIGA CABEZAL. (ESTE ES UN VALOR APROXIMADO YA QUE FUE COMPLICADO TOMAR ESTE DATO DEBIDO A LA ALTURA). LOS PLANOS QUE SE TIENEN SON DE REHABILITACIÓN Y NO PROPIAMENTE DE DISEÑO POR LO CUAL NO ES POSIBLE SABER LA ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO Y LA CARGA VIVA UTILIZADA PARA ESTE PUENTE. Además es importante mencionar que los planos de rehabilitación mostrados no concuerdan con lo medido en sitio. LOS PLANOS NO CONCUERDAN CON LO QUE HAY EN SITIO, ESTA CORRECTO COMO SE DETALLA EN EL SAEP Y COMO SE PUEDE VER EN LA FOTOS. EL APOYO MÓVIL ESTA SOBRE EL BASTIÓN 1 Y EL APOYO FIJO SOBRE EL BASTIÓN 2.

INVENTARIO DE PUENTE		
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO	
	RUTA	PRIMARIO
21	RUTA	PRIMARIO
KILÓMETRO	18.008 km	

LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
				10.0º	33.0'			
	CANTÓN	LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0º	43.77"			
	DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0º	26.52"			

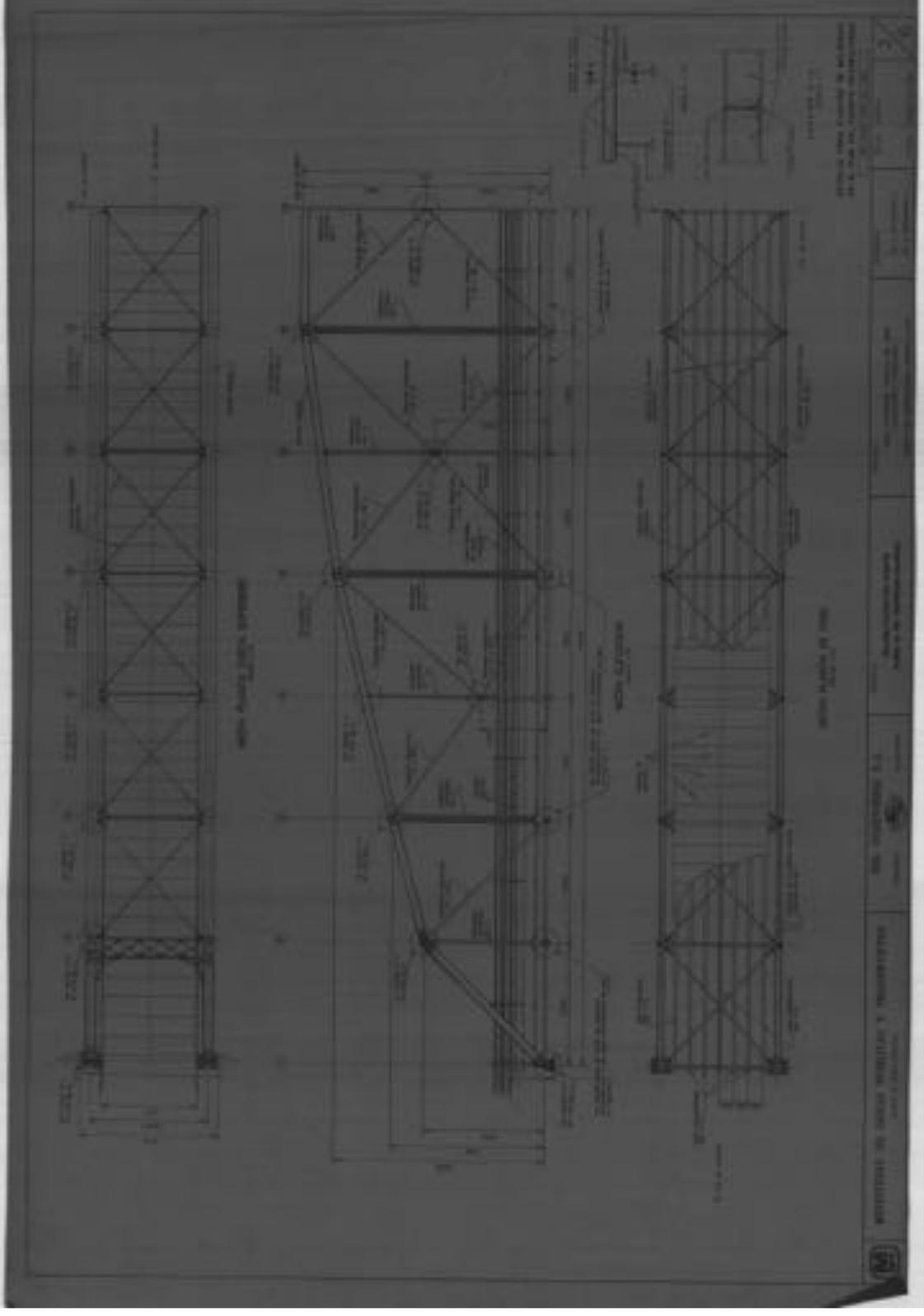
INVENTARIO DE PUENTE										
NOMBRE DEL PUENTE		TEMPISQUE NUEVO			LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA	
RUTA N°	21	RUTA	PRIMARIO		CANTÓN		LIBERIA	LATTITUD NORTE	10.0º	33.0'
KILÓMETRO	18.008 km				DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'	26.52"
DETALLE DE SUPERESTRUCTURA										
VIGAS PRINCIPALES DE SUPERESTRUCTURA										
No. DE SUPERESTRUCTURA	No. DE TRAMOS	ALINEACIÓN DE PLANTA		MATERIAL	SUPERESTRUCTURA	TIPO	LONGITUD TOTAL	TRAMO MÁXIMO	N° VIGAS	ALTURA
1	1	RECTA		ACERO	OTROS	CERCHA PASO INFERIOR	92.15 m	92.15 m	2	12.91 m
No. DE SUPERESTRUCTURA	TIPO JUNTAS DE EXPANSIÓN	UBICACIÓN INICIAL	UBICACIÓN FINAL	MATERIALES	ESPESOR	TIPO DE PINTURA	ÁREA PINTADA	ÚLTIMA PINTURA	EMPRESA ENCARGADA	
1	NO SE TIENE INFORMACIÓN	NO SE TIENE INFORMACIÓN	NO SE TIENE INFORMACIÓN	CONCRETO	0.15 m	CAPA DE ACABADO	0.0 m2	0 0 0	0 0 0	
DETALLE DE SUBESTRUCTURAS										
BASTIÓN - PILA										
NOMBRE	MATERIALES	TIPO BASTION	ALTURA	TIPO PILA	DIMENSIONES	TIPO	DIMENSIONES	TIPO PILOTES	TIPO	ANCHO DE ASIENTO
B1	CONCRETO	VOLADIZO	6.5 m		12.0 m	0.0 m	0.0 m	0.0 m	0.0 m	0.8 m
B2	CONCRETO	VOLADIZO	12.0 m		12.0 m	0.0 m	0.0 m	0.0 m	APOYO FIJO	0.8 m

INVENTARIO DE PUENTE		
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO	
	RUTA N°	21
KILÓMETRO	18.008 km	

LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
CANTÓN		CANTÓN	LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0º	33.0'			
DISTRITO		DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'			

FECHA DE DISEÑO: 43.77"
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 26.52"

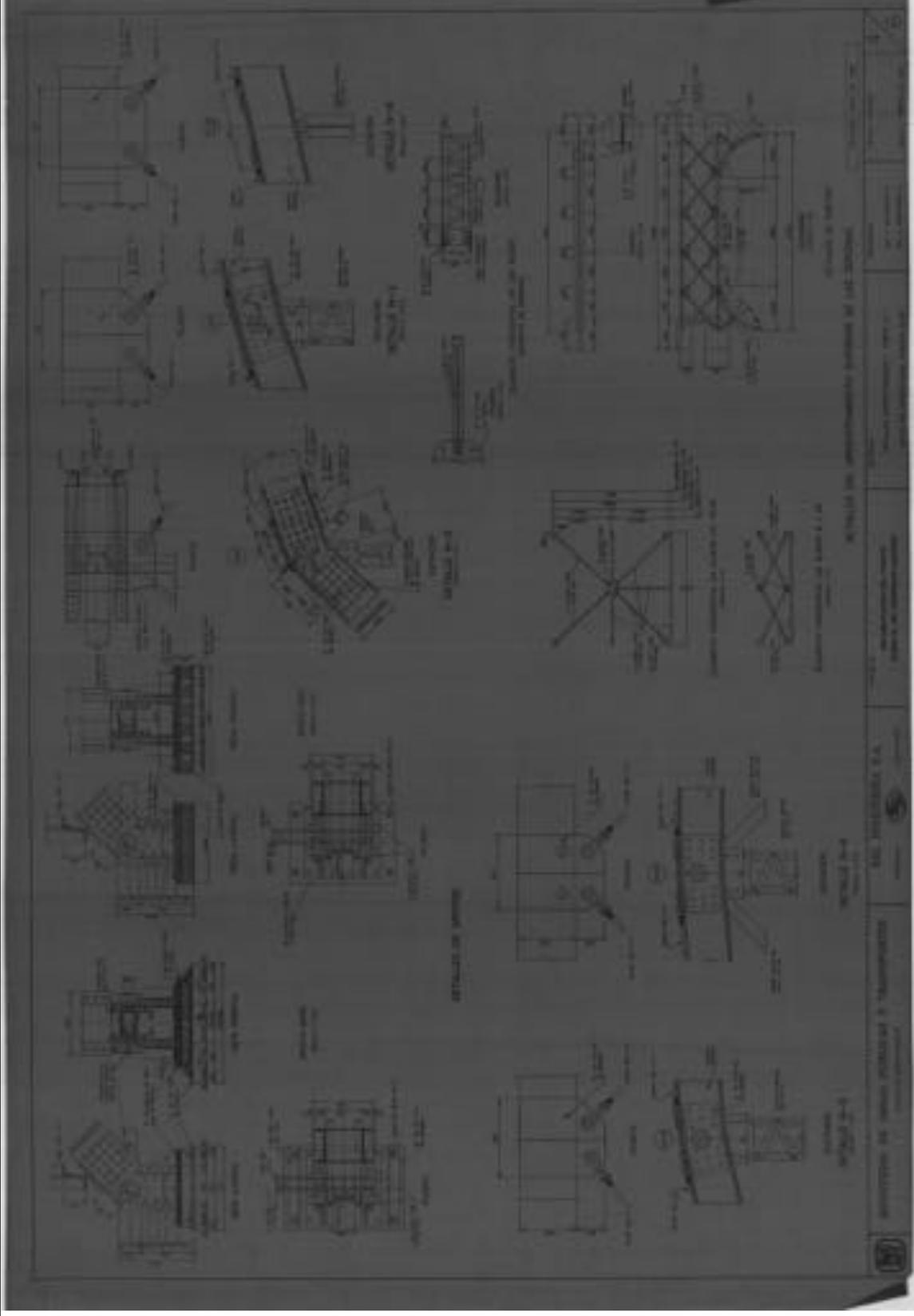
PLANOS



PLANTA Y ELEVACIÓN REHABILITACIÓN

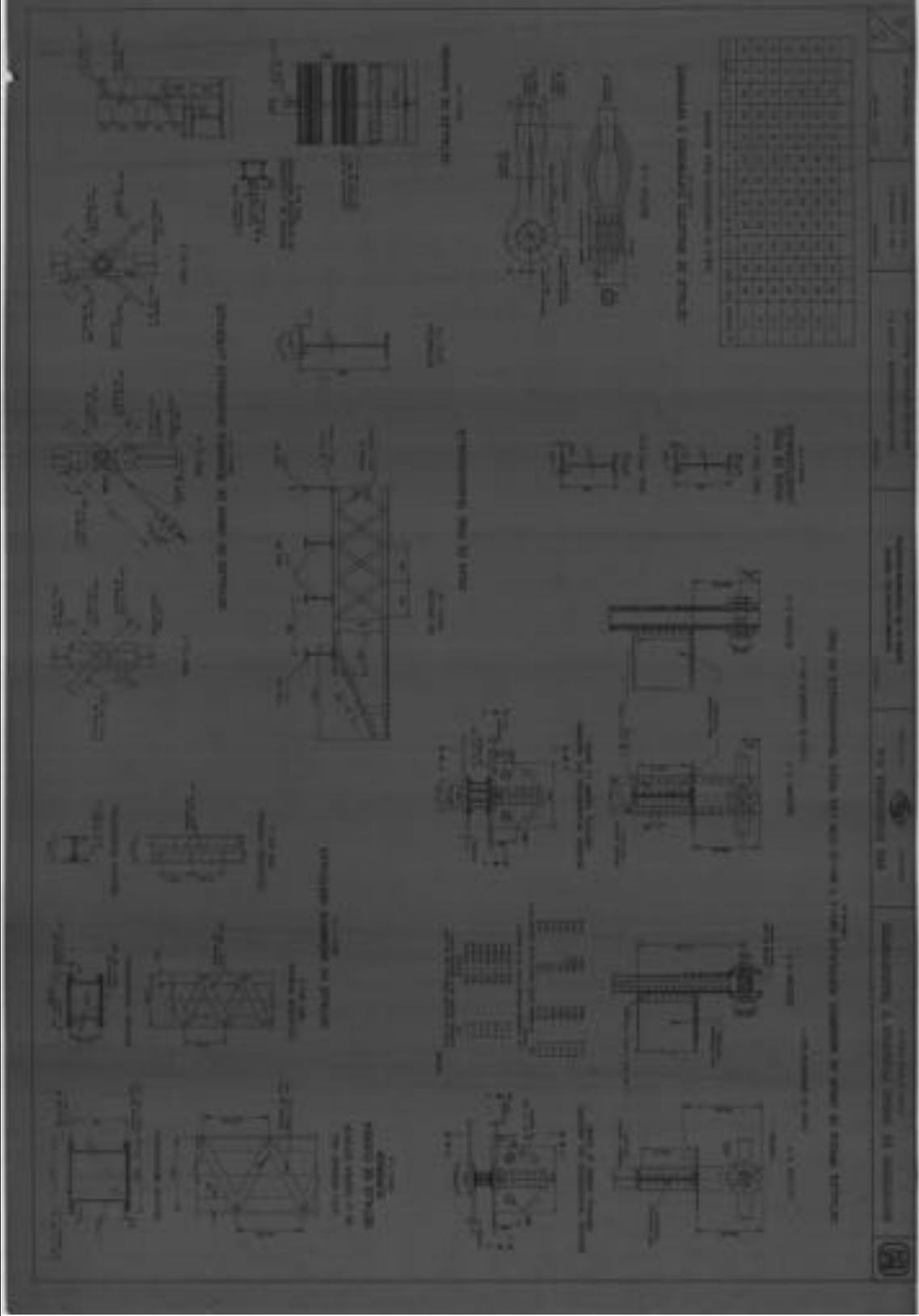
INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO		10.0°	33.0'			
KILÓMETRO	18.008 km			LATITUD NORTE	35.0'	FECHA DE CONSTRUCCIÓN			
LOCALIZACIÓN									
PROVINCIA	LIBERIA			LONGITUD OESTE	85.0°				
CANTÓN	LIBERIA								
DISTRITO	NACASCOLO								

PLANOS



DETALLES ESTRUCTURALES REHAB

INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	RUTA N°	RUTA	PRIMARIO			
	21	RUTA	PRIMARIO			
KILÓMETRO	18.008 km					
PLANOS						
LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA			
	CANTÓN	LATITUD NORTE	10.0º	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO
	DISTRITO	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN



DETALLES ESTRUCTURALES REHAB

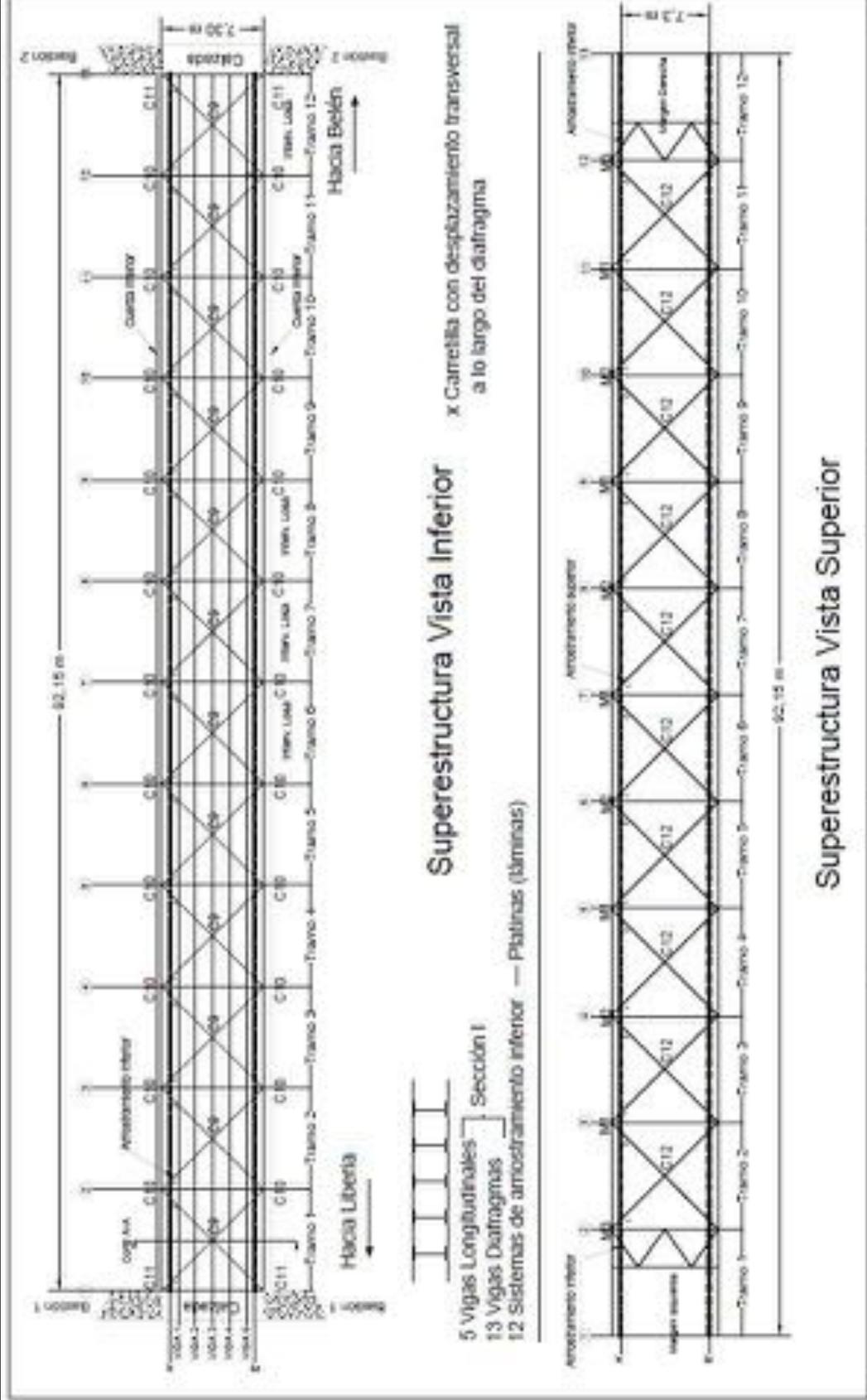
INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO		ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA		MES		AÑO	
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO					
KILÓMETRO	18.008 km			LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN					

LOCALIZACIÓN

PROVINCIA
CANTÓN
DISTRITO

GUANACASTE
LIBERIA
NACASCOLO

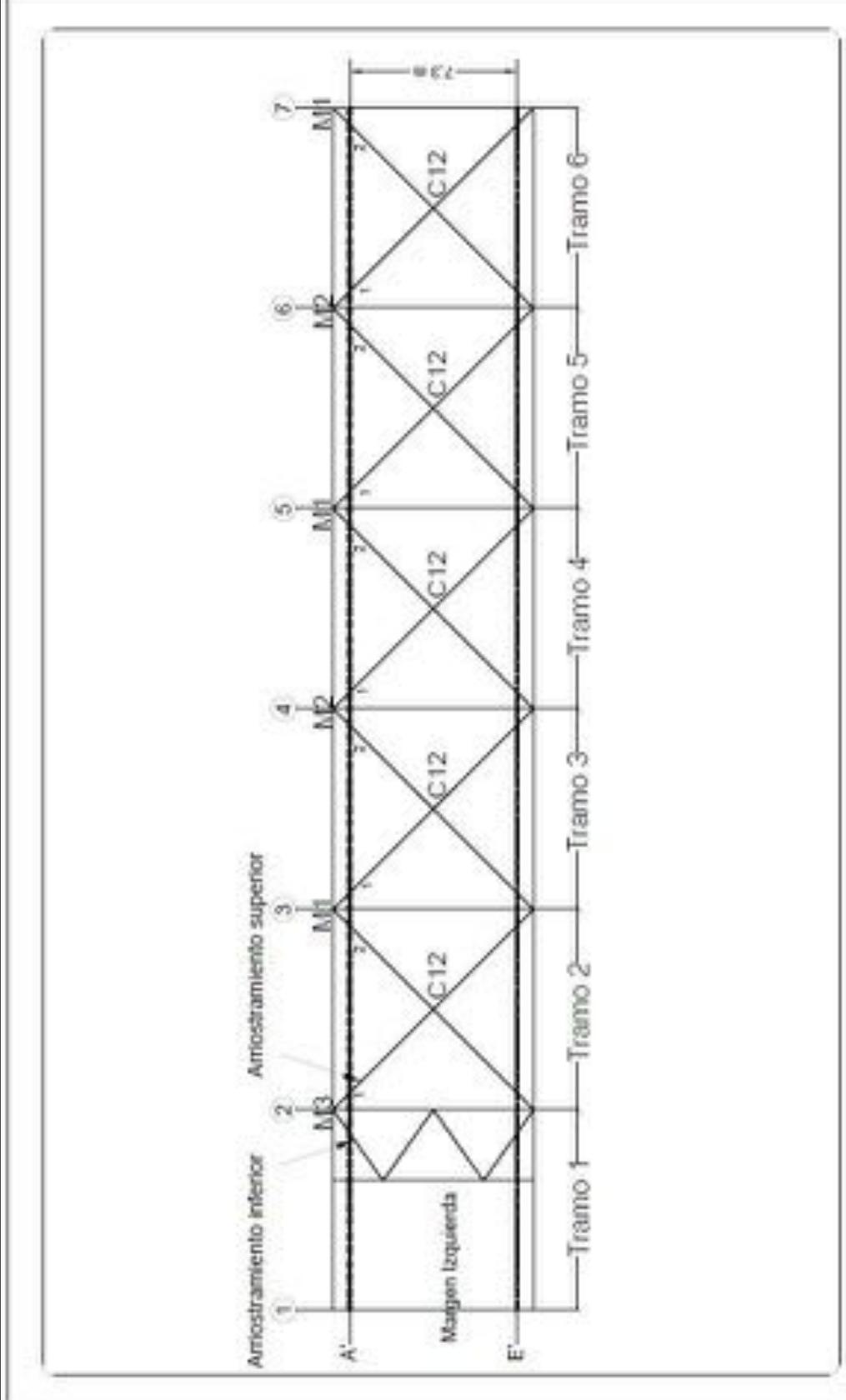
PLANOS



TEC | **bridge** | Tempisque Nuevo | G-26 | Fecha: 01/04/14 | Lámina: 1/14

INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO					10.0º	33.0'			
KILÓMETRO	18.008 km			DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	26.52"		

PLANOS

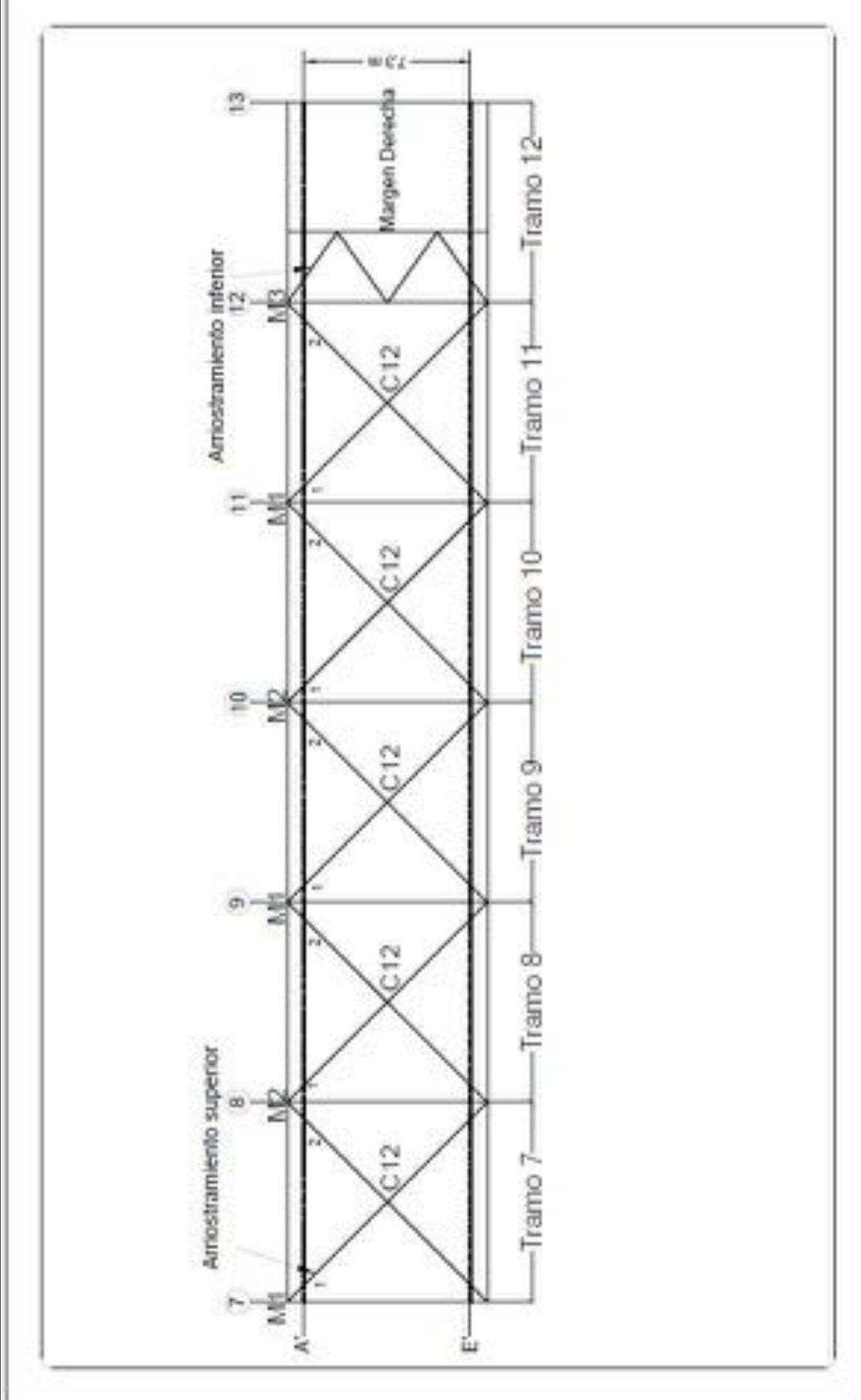


TEC <small>Expertos en el camino</small>	bridge	G26	Superestructura Vista Superior	Fecha: 01/04/14	Lámina: 3/14
---	---------------	-----	--------------------------------	-----------------	--------------

INVENTARIO DE PUENTE	
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO
RUTA N°	21 RUTA PRIMARIO
KILÓMETRO	18.008 km

LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
CANTÓN	LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO		
DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN		

PLANOS

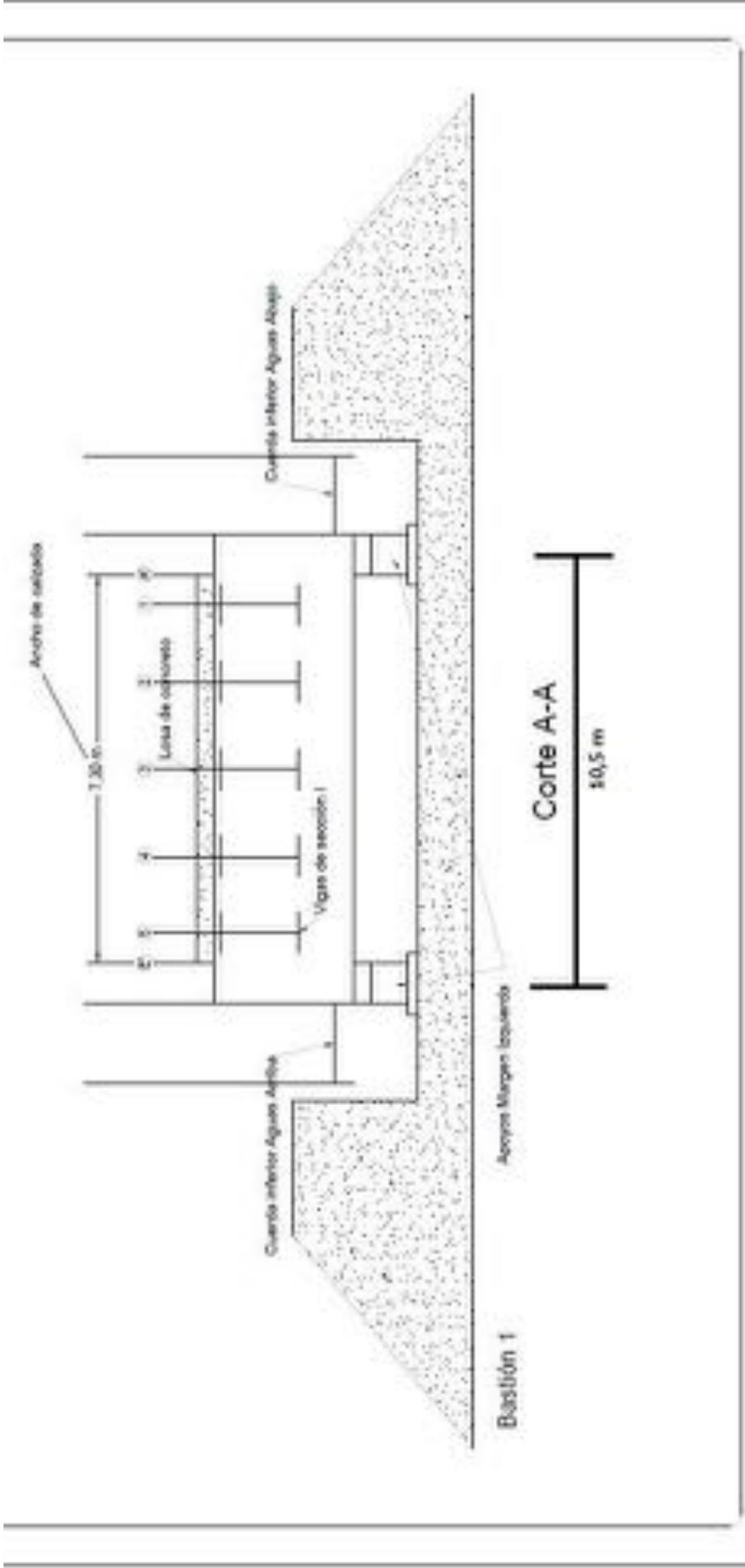


TEC Ingeniería en Civil	G26	Superestructura Vista Superior	Fecha: 01/04/14	Lámina: 4/14
----------------------------------	------------	--------------------------------	-----------------	--------------

INVENTARIO DE PUENTE	
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO
RUTA N°	21 RUTA PRIMARIO
KILÓMETRO	18.008 km

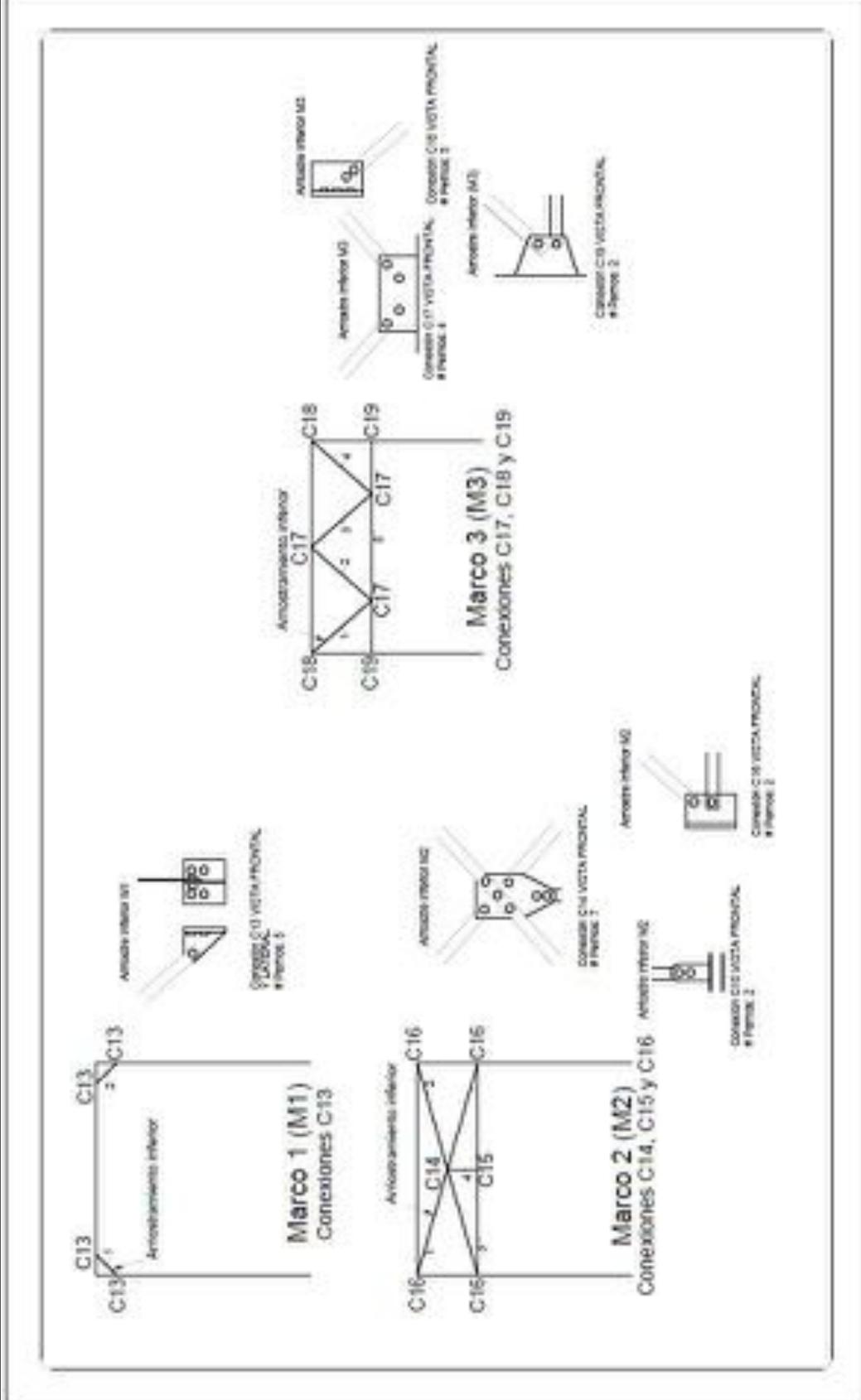
PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
CANTÓN	LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO	
DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	

PLANOS



TEC Instituto Tecnológico de Costa Rica	bridge	G26	Cortes	Fecha: 01/04/14	Lámina: 11/14
---	--------	-----	--------	-----------------	---------------

INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO	CANTÓN	LIBERIA	CANTÓN	LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	FECHA DE DISEÑO	43.77"	
KILÓMETRO	18.008 km			DISTRITO	NACASCOLO	DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	26.52"	
PLANOS													



TEC | Experto en la construcción de puentes

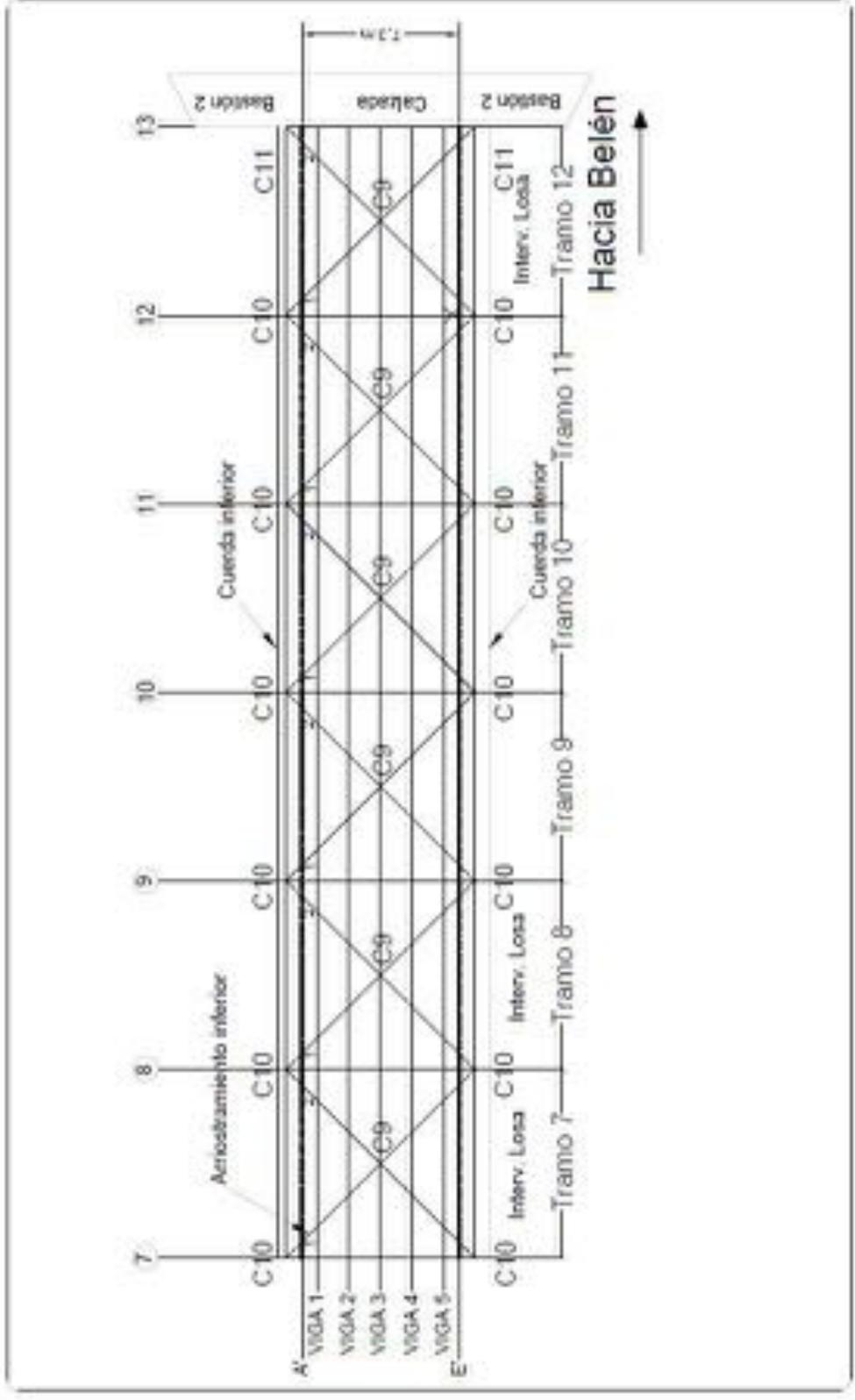
G26

Marcos y conexiones

Fecha: 01/04/14

Lámina: 13/14

INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO		ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO	PROVINCIA	GUANACASTE	LATITUD NORTE	10.0º	33.0'	FECHA DE DISEÑO	43.77"
KILÓMETRO	18.008 km			CANTÓN	LIBERIA	LONGITUD OESTE	85.0º	35.0'	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	26.52"
LOCALIZACIÓN				DISTRITO	NACASCOLO	PLANOS				

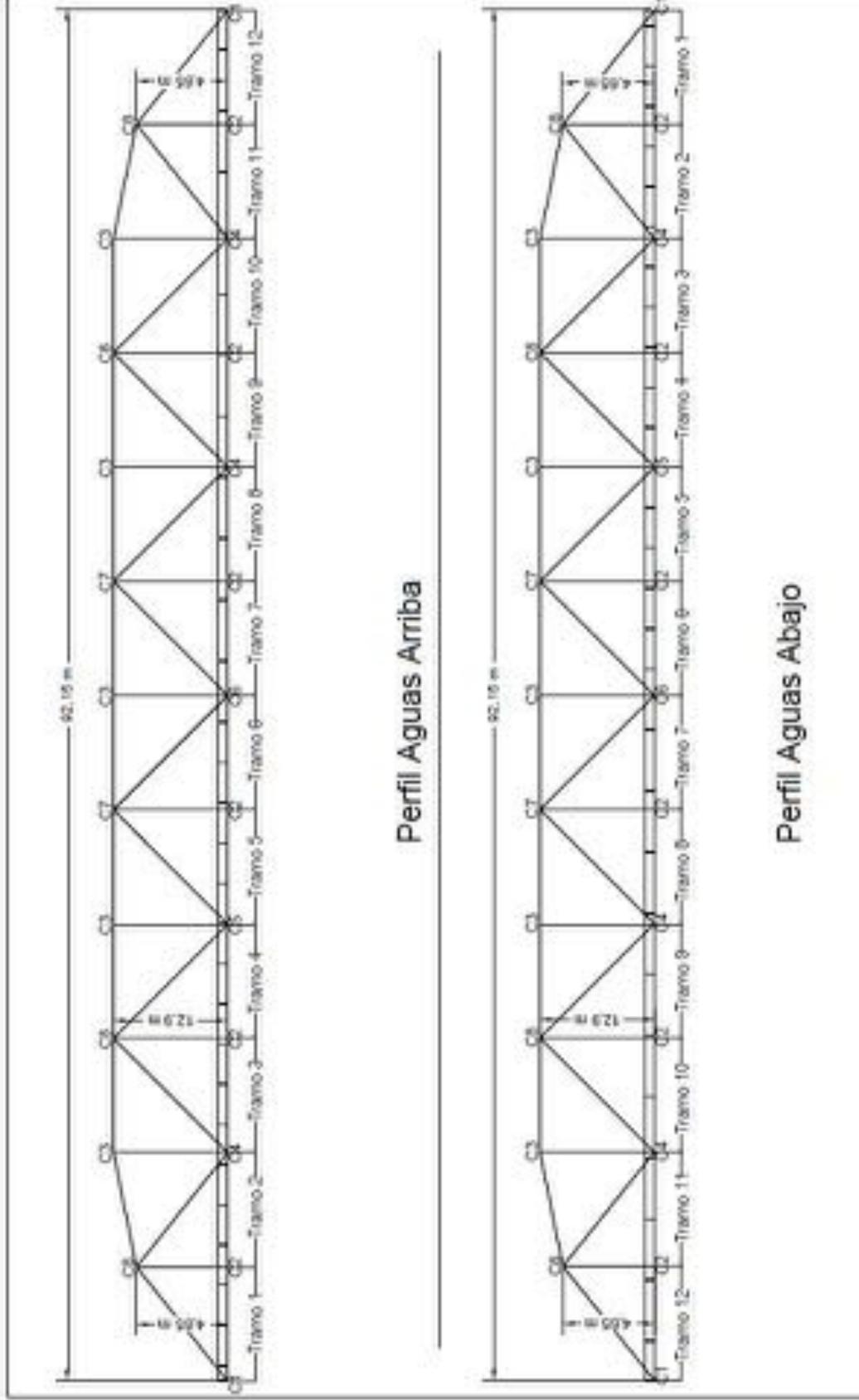


G26 | Superestructura Vista Inferior | Fecha: 01/04/14 | Lámina: 6/14

INVENTARIO DE PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO		ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
NOMBRE DEL PUENTE	21	RUTA	PRIMARIO	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO		
KILÓMETRO	18.008 km			LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN		

LOCALIZACIÓN	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA
	CANTÓN LIBERIA	LATITUD NORTE	10.0°
	DISTRITO NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0°

PLANOS

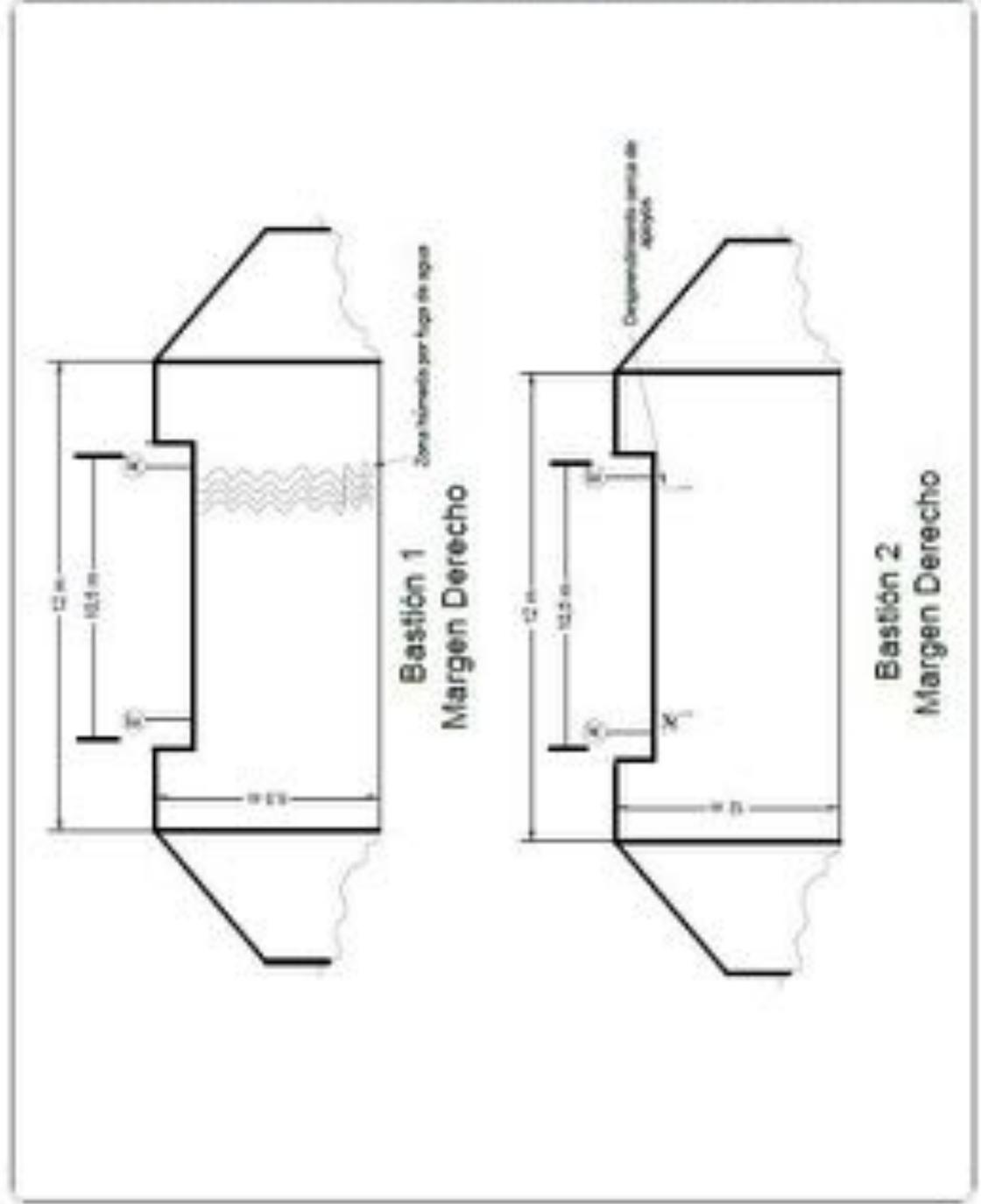


TEC | Tecnología en Construcción | **bridge** | G26 | Tempisque Nuevo | Fecha: 01/04/14 | Lámina: 2/14

INVENTARIO DE PUENTE	
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO
RUTA N°	21 RUTA PRIMARIO
KILÓMETRO	18.008 km

LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	GUANACASTE	ENCARGADO	ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA	MES	AÑO
CANTÓN	LIBERIA			LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"		
DISTRITO	NACASCOLO			LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"		

PLANOS



Deterioros	Simbología
Concreto	X
Agrietamiento	
Desmenuzamiento	
Desmenuzamiento	
Asbesto	
Asbesto	
Decoloración	
Eferrescencia	
Fisuración	
Hongos	
Desmenuzamiento	
Desgaste	
Daño por Colisión	
Abrasion	
Sobrecarga	
Concreto Acero Refuerzo del Elem. Preforzados	
Madera	
Acabaduras	X
Grutas	
Humedad	
Huella	
Pudrición	
Algoque Insectos	
Algoque Químico	
Desmenuzamiento	
Daño por Fuga	
Daño por Colisión	
Daño por Colisión	
Daño Superficial	
Sobrecarga	
Acero	
Concreto	
Elem. Dolido	
Elem. Suelto	
Falga	
Sobrecarga	
Daño por Colisión	
Daño por Fuego	
Daño en pintura	
Materia Consolidada	

INVENTARIO DE PUENTE	
NOMBRE DEL PUENTE	TEMPISQUE NUEVO
RUTA N°	21 RUTA PRIMARIO
KILÓMETRO	18.008 km

LOCALIZACIÓN	
PROVINCIA	GUANACASTE
CANTÓN	LIBERIA
DISTRITO	NACASCOLO

ENCARGADO	
LATITUD NORTE	10.0º
LONGITUD OESTE	85.0º

ZONA 2-1 LIBERIA	
FECHA DE DISEÑO	43.77"
FECHA DE CONSTRUCCIÓN	26.52"

No. 1	UBICACIÓN	RÓTULO CON NOMBRE DE PUENTE
-------	-----------	-----------------------------

No. 2	UBICACIÓN	VISTA A LO LARGO DE LA LÍNEA DE CENTRO
-------	-----------	--

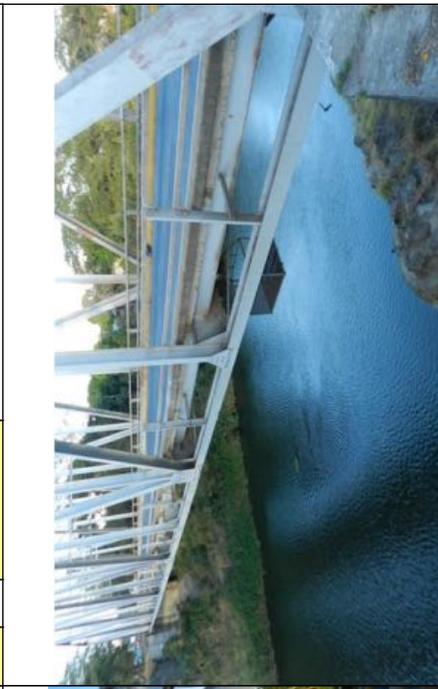
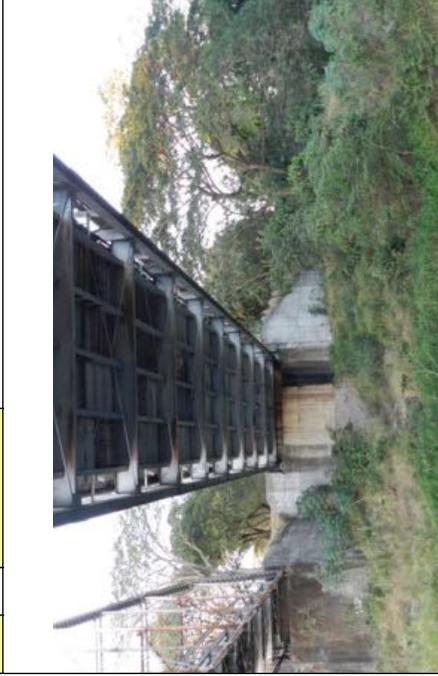
No. 3	UBICACIÓN	VISTA GENERAL
-------	-----------	---------------



NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
No. 4	UBICACIÓN	VISTA INFERIOR	

NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
No. 5	UBICACIÓN	VISTA LATERAL	

NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
No. 6	UBICACIÓN	VISTA DEL CAUCE	



NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	NOTA		

NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	NOTA		

NOTA	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	DÍA	MES	AÑO
	27	2	2014
	NOTA		

INSPECCIÓN DE PUENTE		NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA		1	
NOMBRE DEL PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		GUANACASTE	
RUTA N°		21 RUTA PRIMARIO		ENCARGADO	
KILÓMETRO		18.008 km		LIBERIA	
				ZONA 2-1 LIBERIA	
				LATITUD NORTE	
				LONGITUD OESTE	
				FECHA DE DISEÑO	
				FECHA DE CONSTRUCCIÓN	

LOCALIZACIÓN		PROVINCIA	TIPO DE DAÑO Y EVALUACIÓN DEL GRADO DE DAÑO		5.SOBRECAPAS DE ASPHALTO	6.ACERO DE	7.AGUJEROS	DÍA	MES	AÑO
1. PAVIMENTO		3.AGRIETAMIENTO	2.ZURCOS	1. ONDULACIÓN	4.BACHES	5.JUNTAS	6.EFLORENCIA			
2. BARANDA (ACERO)		3.CORROSIÓN	2.OXIDACIÓN	1. DEFORMACIÓN	4.FALTANTE	5.NIDOS DE PIEDRA	6.EFLORENCIA			
3. BARANDA (CONCRETO)		3.FALTANTE	2.ACERO DE REFUERZO EXPUESTO	1. AGRIETAMIENTO	4.FALTANTE	5.GRIETAS EN SOLDADURA O PLACA	7.AGUJEROS			
4. JUNTA DE EXPANSIÓN		3.FALTANTE O DEFORMACIÓN VERTICAL	2.FILTRACIÓN DE AGUAS	0	4.MOVIMIENTO VERTICAL	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
5. LOSA		3.DESCASCARAMIENTO	1. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
6. VIGA PRINCIPAL DE ACERO		3.DEFORMACIÓN	2.CORROSIÓN	5	4.PÉRDIDA DE PERNOS	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
7. SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO		3.DEFORMACIÓN	1. OXIDACIÓN	2	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
8. PINTURA		3.DESCASCARAMIENTO	2.CORROSIÓN	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
9. VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO		3.DESCASCARAMIENTO	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
10. VIGA DIAFRAGMA CONCRETO		3.DESCASCARAMIENTO	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	0	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
11. APOYOS		3.INCLINACIÓN	1. ROTURA DE APOYOS EXTRAÑA	0	4.DESPLAZAMIENTO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
12. PARED CABEZAL Y ALETONES (BASTIONES)		3.DESCASCARAMIENTO	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
13. CUERPO PRINCIPAL (BASTION)		3.DESCASCARAMIENTO	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
14. MARTILLO (PILA)		3.DESCASCARAMIENTO	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	1	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
15. CUERPO PRINCIPAL (PILA)		3.DESCASCARAMIENTO	2. GRIETAS EN DOS DIRECCIONES	0	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
EVALUACIÓN		3.DESCASCARAMIENTO	0	0	4.ACERO DE REFUERZO	5.ROTURA DE ELEMENTOS				
1		GRADO DEL DAÑO		SOCAVACIÓN		7. PROTECCIÓN DE TERRAPLÉN	8. INCLINACIÓN	9. SOCAVACIÓN		
2		No se observa socavación				7. PENDIENTE EN TALUDES	8. INCLINACIÓN	9. SOCAVACIÓN		
3		No aplica				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
4		En pocos lugares				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
5		En muchos lugares				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
FECHA INSPECCIÓN		En la mayoría de las partes				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
27		No aplica				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
2		Se observa socavación pero no se extiende a la fundación				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
2014		No aplica				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
ROLANDO PEREIRA CALDERÓN		La fundación aparece por la socavación				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
FIRMA		No aplica				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
NOMBRE INSPECTOR		En la mayoría de las partes				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		
ROLANDO PEREIRA CALDERÓN		La fundación aparece por la socavación				6. EFLORENCIA	7. INCLINACIÓN	8. SOCAVACIÓN		

INSPECCIÓN DE PUENTE			NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA				
NOMBRE DEL PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO		ZONA 2-1 LIBERIA	
RUTA N°	21	RUTA	PRIMARIO	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"
KILÓMETRO	18.008 km		PROVINCIA	GUANACASTE	LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'
LOCALIZACIÓN			CANTÓN	LIBERIA	FECHA DE DISEÑO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	
			DISTRITO	NACASCOLO			

OBSERVACIONES

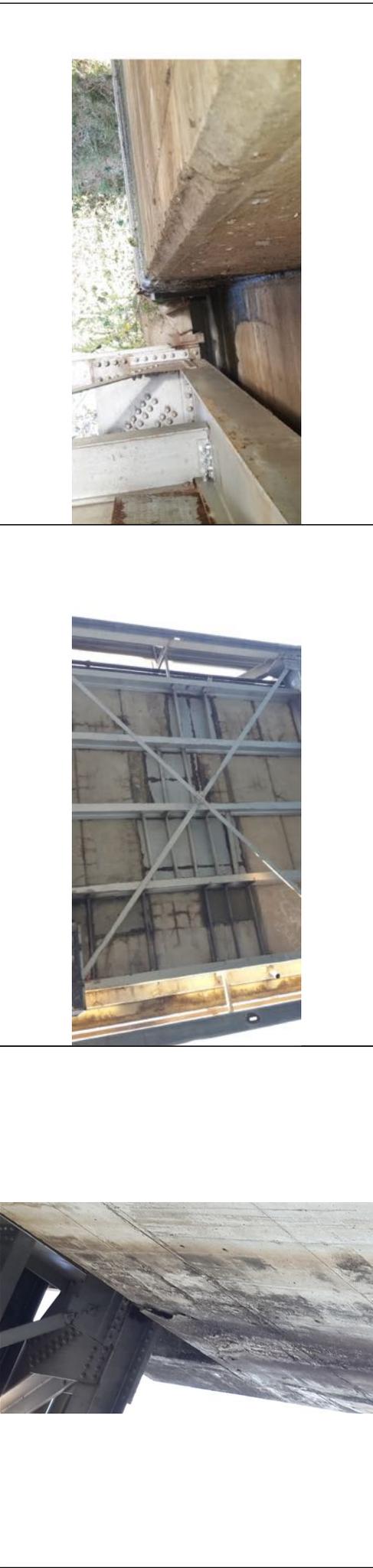
SERIO DESPLAZAMIENTO EN AMBOS APOYOS, SE OBSERVA EL UBICADO SOBRE EL BASTIÓN1 ROTADO CON GRAN INCLINACIÓN, ESTE DESPLAZAMIENTO EN EL APOYO MÓVIL DE MARGEN IZQUIERDA INFLUYE DIRECTAMENTE EN EL APOYO FIJO DE LA OTRA MARGEN LO QUE CAUSA EL DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO EN EL BASTIÓN. LA LOSA DE CONCRETO SE ENCUENTRA EN PÉSIMAS CONDICIONES CON AGRIETAMIENTOS IMPORTANTES EN AMBAS DIRECCIONES, EL DETERIORO AVANZADO DEBE ATENDERSE CON URGENCIA YA QUE EN CUALQUIER MOMENTO ESTA PODRÍA COLAPSAR. EL SEÑALAMIENTO HORIZONTAL SE ENCUENTRA DESGASTADO, NO ES POSIBLE OBSERVAR LAS LINEAS DE DIVISION DE CARRILES, Y LA LINEA DE ESPALDON. EL DAÑO EN EL PAVIMENTO POR GRIETAS GRADO 3 ES DEBIDO A LAS GRIETAS MEDIDAS SON DE ALREDEDOR DE 8 MM, ESPESOR QUE ESTA ENTRE 5 Y 10 MM SEGÚN LO INDICA EL MANUAL DE INSPECCIÓN UTILIZADO. FUE POSIBLE OBSERVAR UNSA SOBRE CAPA DE ASFALTO POR ELLO EL DAÑO GRADO 3.PARA EL CASO DE LAS BARANDAS DE ACERO SE ENCUENTRAN OXIDAS DEBIDO AL PASO DE LOS AÑOS, SIN EMBARGO APENAS ES EL INICIO DE LA OXIDACIÓN POR ELLO GRADO 2. A PESAR DE QUE NO SE OBSERVA EN UNA FOTOGRAFÍA UNA PARTE DE LA BARANDA AGUAS ABAJO DEL RÍO PRESENTA UNA PEQUEÑA DEFORMACIÓN GRADO 2 DEBIDO A QUE LA DEFORMACIÓN ES MENOR A LOS 5 CM CON RESPECTO A LA ORIGINAL. LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN SE ENCUENTRAN TOTALMENTE OBSTRUÍDAS. NO HAY FILTRACIÓN DE AGUA EN LAS JUNTAS, LO QUE SE OBSERVA EN EL BASTIÓN 1 ES DEBIDO A UNA FUGA DE AGUA EN UNA DE LAS TUBERÍAS. PARA LA LOSA DE CONCRETO COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LAS FOTOGRAFÍAS EL GRADO DE DAÑO POR EFLORESCENCIA ES 3 DEBIDO A QUE SE OBSERVAN MANCHAS BLANCAS POR LA GRIETAS, Y SEGÚN EL MANUAL UTILIZADO EL GRADO 3 CORRESPONDE A UNA MANCHA BLANCA A LO LARGO DE LA GRIETA.

SE OBSERVARON MENOS DE 10 NIDOS DE PIEDRA POR ELLO LA CALIFICACIÓN GRADO 2. SE OBSERVÓ EL INICIO DEL DESCASCARAMIENTO EN ALGUNOS SITIOS CERCANOS A LOS PARCHES METÁLICOS Y DE MADERA, ASÍ COMO EN LOS ALREDEDORES DE LAS GRIETAS EN DOS DIRECCIONES QUE EXISTEN EN LA LOSA DE CONCRETO, PERO COMO APENAS ESTA DANDO INICIO SE LE COLOCÓ GRADO 2. PARA LAS GRIETAS NO HAY DISCUSIÓN, LOS DAÑOS OBSERVADOS HACEN INFERIR QUE EN CASO DE QUE NO EXISTA UNA REPARACIÓN PUEDE DARSE UN COLPADO DE LA LOSA DE CONCRETO COMO YA HA OCURRIDO EN EL PASADO. PARA EL CASO DE LOS ELEMENTOS DE ARRIOSTRES LA DEFORMACIÓN MOSTRADA ES TAL QUE AL MEDIRLA FUE DE ALREDEDOR DE 6 CM MOTIVO QUE GENERA QUE SE LE DÉ UN NIVEL DE DETERIORO DE 3 DEBIDO A QUE ESTA ENTRE 5 Y 10 CM SEGÚN MANUAL DE INSPECCIÓN. LA PINTURA DE LA PARTE METÁLICA DEL PUENTE SE OBSERVA EN EXCELENTE CONDICIONES.

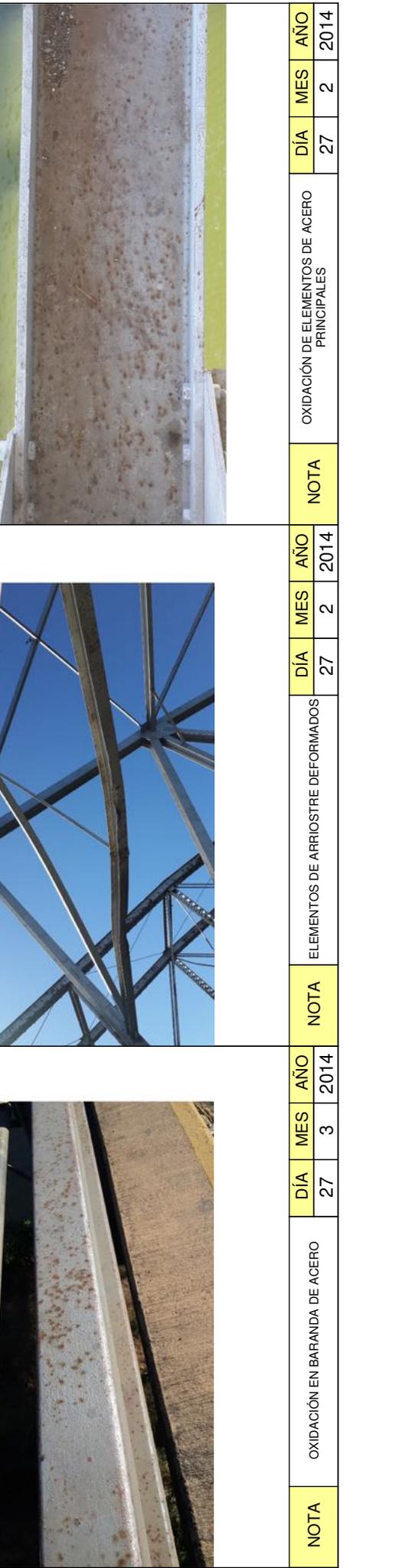
LA VIGA CABEZAL PRESENTA DESCASCARAMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO.

INSPECCIÓN DE PUENTE		NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA		1	
NOMBRE DEL PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO	
RUTA N°		21 RUTA		PRIMARIO	
KILÓMETRO		18.008 km		ZONA 2-1 LIBERIA	
LOCALIZACIÓN		PROVINCIA		GUANACASTE	
		CANTÓN		LIBERIA	
		DISTRITO		NACASCOLO	
		LATITUD NORTE		10.0°	
		LONGITUD OESTE		85.0°	
		FECHA DE DISEÑO		43.77"	
		FECHA DE CONSTRUCCIÓN		26.52"	

FOTOGRAFÍAS		No.		3		UBICACIÓN		APOYO SOBRE BASTIÓN 1	
No.		2		UBICACIÓN		LOSA CONCRETO		No.	
No.		1		UBICACIÓN		BASTIÓN 2		No.	



NOTA		AGRIETAMIENTO BAJO APOYO DE CERCHA DE PUENTE		DÍA		MES		AÑO	
				27		4		2014	
No.		4		UBICACIÓN		BARANDA DE ACERO		No.	
				NOTA		PARCHES METÁLICOS EN LOSA DE CONCRETO		DÍA	
								27	
								MES	
								4	
								AÑO	
								2014	
No.		5		UBICACIÓN		ARRIOSTRES		No.	
				NOTA		INCLINACIÓN DE APOYO MÓVIL EN BASTIÓN		DÍA	
								27	
								MES	
								2	
								AÑO	
								2014	



NOTA		OXIDACIÓN EN BARANDA DE ACERO		DÍA		MES		AÑO	
				27		3		2014	
No.		6		UBICACIÓN		PIEZAS DE CERCHA DE ACERO		No.	
				NOTA		ELEMENTOS DE ARRIOSTRE DEFORMADOS		DÍA	
								27	
								MES	
								2	
								AÑO	
								2014	
No.		6		UBICACIÓN		OXIDACIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO PRINCIPALES		DÍA	
								27	
								MES	
								2	
								AÑO	
								2014	

INSPECCIÓN DE PUENTE				NÚMERO DE SUPERESTRUCTURA				1							
NOMBRE DEL PUENTE		TEMPISQUE NUEVO		ENCARGADO		ZONA 2-1 LIBERIA		DÍA		MES		AÑO			
RUTA N°	21	RUTA	PRIMARIO	PROVINCIA	GUANACASTE	LATITUD NORTE	10.0°	33.0'	43.77"	FECHA DE DISEÑO					
KILÓMETRO	18.008 km			DISTRITO	NACASCOLO	LONGITUD OESTE	85.0°	35.0'	26.52"	FECHA DE CONSTRUCCIÓN					
FOTOGRAFÍAS															
LOCALIZACIÓN				TUBERÍAS		TUBERÍAS		TUBERÍAS		LOSA DE CONCRETO					
No.	7	UBICACIÓN	SUPERFICIE DE RUEDO	No.	8	UBICACIÓN	TUBERÍAS	No.	9	UBICACIÓN	LOSA DE CONCRETO				
															
NOTA	AGRIETAMIENTO EN SUPERFICIE DE RUEDO		DÍA	MES	AÑO	TUBERÍAS SUJETAS AL PUENTEEN BUEN ESTADO		DÍA	MES	AÑO	GRIETAS EN LOSA DE COCNETO		DÍA	MES	AÑO
			27	2	2014	ESTADO		27	2	2014	NOTA		27	2	2014

INF: I -075-2018-DGP
07 de Marzo de 2017

PARA: DEPARTAMENTO DE GESTION DE PROYECTOS
ASUNTO: INSPECCION PUENTE SOBRE RÍO TEMPISQUE CARRETERA NACIONAL N°21
REF: PROYECTO CSI-GIZ

1. UBICACIÓN

<i>PROVINCIA</i>	<i>CANTON</i>	<i>DISTRITO</i>	<i>REGION</i>	<i>ZONA</i>
GUANACASTE	LIBERIA	NACASCOLO	(2) CHOROTEGA	2-3



Imagen 1. Ubicación del puente sobre Río Tempisque tomada de Google Earth

2. INFORMACION DEL PUENTE

El puente se encuentra en la Provincia de Guanacaste, el Cantón de Liberia, el Distrito de Nacascolo, Carretera Nacional N°21; coordenadas Latitud: 10.562033° y Longitud: -85.590655°.

El diseño se realiza en el año de 1974 y su construcción en el año de 1986, su longitud es de 92 metros aproximadamente, de 8,5 metros de ancho y de altura en el centro del puente desde la rasante hasta el nivel del agua es de 13,80 metros, cuenta con dos carriles uno en cada sentido de circulación. El puente es de tipo Armadura en acero y tiene la estructura principal sobre la línea de rasante.



Fotografías 1, 2 y 3. Puente sobre Río Tempisque Ruta Nacional N°21

3. OBSERVACIONES:

A continuación, las fotografías de lo observado:



Fotografía 4. Bastión Norte se observan marcas de escorrentía superficial por falta de drenajes.



Fotografía 5. Bastión Sur se observa zona humedad por fuga de agua.



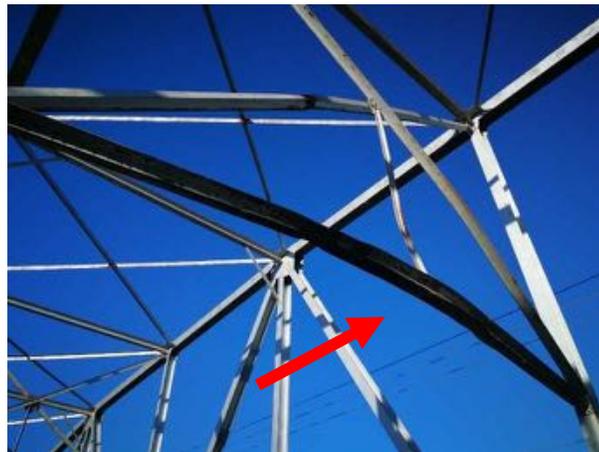
Fotografía 7. Se observan fisuras en losa de concreto.



Fotografía 8. Sobre capa de asfalto tapando junta de expansión.



Fotografías 9 y 10. Se observan daños por colisión en la armadura en acero del puente.



Fotografía 11. Se observan daños por colisión en la armadura en acero del puente.

4. CONCLUSIONES.

- El diseño se realiza en el año de 1974 y su construcción en el año de 1986.
- El puente es tipo cercha de paso inferior.
- La losa de concreto esta apoyada en 5 vigas de acero.
- El puente presenta dos carriles, uno en cada sentido.
- El bastión norte tiene el apoyo móvil y el bastión sur apoyo fijo.
- La longitud es de 92 metros aproximadamente.
- El ancho del puente es de 8,5 metros.
- La altura en el centro del puente desde la rasante hasta el nivel del agua es de 13,80 metros
- La junta de expansión en el bastión norte se encuentra obstruida por una sobre capa de asfalto.
- La Armadura de acero del puente presenta daños por colisión de vehículos.
- No se observa drenajes, posiblemente obstruidos también por sobrecapa de asfalto.
- En la losa de concreto se observan fisuras en los apoyos.
- En el puente se observan tuberías de servicios públicos como agua lo que podría estar provocando fugas en el bastión sur.

**JOSE MARIANO
CAMPOS
RODRIGUEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
JOSE MARIANO CAMPOS
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2018.04.06
15:08:34 -06'00'

Ing. José Mariano Campos Rodriguez
**Inspector, Departamento Gestión de
Proyectos**



Firmado digitalmente
por VLADIMIR JAVIER
NARANJO CASTILLO
(FIRMA)
Fecha: 2018.04.18
12:12:15 -06'00'

V. B. Ing. Vladimir Naranjo
**Sub-jefe, Departamento Gestión de
Proyectos**

CC

Archivo / Consecutivo

ANEXOS

Los siguientes anexos constan en este Centro:

- a) Reporte de inventario programa SAEP.
- b) Fotografías tomadas durante la visita.

ASUNTO: Protocolo de Ingeniería del PIEVC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al Cambio Climático (PIEVC *Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate*)

PROYECTO: *Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments – CSI, WP3*, aplicación del protocolo en el puente del río Tempisque, ruta nacional 21, Liberia, Guanacaste

REFERENCIA: Informe Taller N°2 – 24 y 25 de abril de 2018

LUGAR: Visita al puente y Hotel Hilton, Liberia



Fotografía N°1

Coordinación previa con el equipo de trabajo.



Fotografía N°2

Sesión de trabajo con el equipo multidisciplinario.

I. ASISTENCIA

CONAVI:

1. Rolando Arias
2. Luis Villalobos
3. Gustavo Alvarado

MOPT:

4. María Ramírez

IMN:

5. Nazareth Rojas

TEC:

6. Gerardo Páez

Engineers Canada:

7. Hani Farghaly
8. Darrel Danyluk

CFIA:

9. Vladimir Naranjo
10. Luis Castro

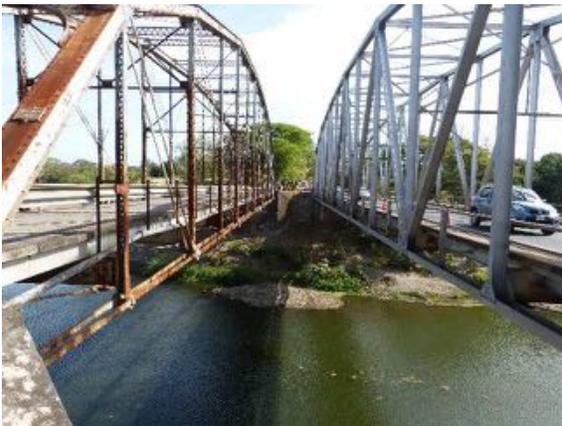
GIZ:

11. Federico Corrales
12. Rainer Schwark
13. Katharina Lotzen
14. Daniel Funk – DWD
15. Jorge Paz - CICH

II. INSPECCIÓN GUIADA DE PUENTE

Se utiliza un formulario para recopilación de datos durante la visita. El formulario fue adaptado por los compañeros Giannina Ortiz del TEC y Gustavo Alvarado de CONAVI. Se divide el equipo de trabajo en tres grupos y se recorre el puente por separado para luego comparar apreciaciones.

El instrumento de captura de datos se divide en dos secciones: una para los datos de inventario (datos generales, verificación de dimensiones y verificación de elementos principales) y otra para los datos sobre el cauce.



Fotografía N°3

Vista lateral de puentes sobre río Tempisque, desde margen derecha.



Fotografía N°4

Vista panorámica de río Tempisque hacia aguas arriba.

Seguidamente se presentan las observaciones realizadas por los tres equipos de verificación.

Tabla N°1

Tabulación de anotaciones según los equipos de observación

Generales	Datos de inventario					Datos del cauce	
	Dimensiones	Elementos principales			Otros		
		Accesos	Accesorios	Superestructura			Subestructura
<p>a. Zona agrícola.</p> <p>b. Zona con tránsito de equipo y maquinaria para tajos con altura considerable que han dañado la estructura.</p> <p>c. No hay traspaso de información en sucursal de CONAVI cuando cambia la jefatura.</p>	<p>a. Ancho del cauce con dos medidas: puente viejo con 86.5 m, puente nuevo con 91.4 m.</p> <p>b. Altura libre desde el espejo de agua hasta la base de la viga inferior de la superestructura es de 14.3 m.</p>	<p>a. Calzadas en buen estado con superficie de rodamiento en asfalto.</p> <p>b. Rellenos de aproximación con barandas tipo New Jersey a ambos lados.</p> <p>c. Cunetas y alcantarillas con falta de mantenimiento y obstrucción, no existen en todas las orillas de calle.</p> <p>d. Relleno de aproximación sin protección, funciona como dique cuando hay inundación.</p>	<p>a. Superficie de rodamiento en pavimento de 5 cm sobre losa de concreto para mantener servicio.</p> <p>b. Baranda de acero con deformaciones por impacto cerca del bastión de margen derecha.</p> <p>c. Barandas con inicios de corrosión, decoloración de pintura y descascaramiento.</p> <p>d. Juntas de expansión obstruidas y cubiertas por carpeta asfáltica.</p>	<p>a. Losa de soporte fracturada, con acero de refuerzo expuesto en algunos tramos y con huecos.</p> <p>b. Cerchas principales con oxidación, desprendimiento de pintura y golpes por impacto.</p> <p>c. Sistema de arriostres con deformación y deflexiones visibles.</p> <p>d. Vigas transversales requieren mantenimiento, tienen corrosión y requieren pintura.</p>	<p>a. Flujo de agua en bastión de margen izquierda por fuga en tubería de agua potable.</p> <p>b. Apoyos húmedos con problemas de corrosión, descascaramiento y acero de refuerzo expuesto.</p> <p>c. Bastiones con desprendimiento bajo apoyos y acero de refuerzo expuesto.</p> <p>d. Fundaciones sobre lecho rocoso sin protección.</p>	<p>a. Tuberías de 50 mm y 150 mm de diámetro adosadas a la superestructura del puente, al menos una es de agua potable.</p> <p>b. Estructura de soporte y tuberías en voladizo localizadas aguas abajo del puente, se convierten en carga permanente para la estructura.</p>	<p>a. Margen derecha rocosa.</p> <p>b. Márgenes con vegetación, podría ayudar a disminuir la velocidad del flujo.</p> <p>c. Presencia de basura por época de zafra.</p> <p>d. Se observa sedimentación en la margen izquierda del río, aguas arriba y en la margen derecha aguas abajo.</p> <p>e. Pendiente suave en sector del cauce bajo el puente.</p>

Tabla N°1

Tabulación de anotaciones según los equipos de observación (continuación)

Generales	Dimensiones	Datos de Inventario				Datos del cauce
		Elementos principales				
		Accesos	Accesorios	Superestructura	Subestructura	
			<p>e. Drenajes sobre la superficie de rodamiento limpios. Requieren constante mantenimiento para evitar obstrucción por material de caña.</p> <p>f. Pasarela peatonal con grietas transversales a la dirección del flujo vehicular.</p>	<p>e. Estructura de acero requiere mantenimiento de limpieza constante por residuos orgánicos de caña.</p>	<p>c. Puente anterior, dos escenarios para el puente en estudio, como protección ante impacto de troncos y como afectación si falla.</p>	<p>f. Los incrementos de flujo presentan una componente vertical.</p>
<p>Otras observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Afectación potencial por escombros. b. Posible desplazamiento de elementos longitudinales en la estructura del puente, revisar alturas y comparar con el diseño original. c. Revisar fotografías aéreas para analizar los márgenes del río. d. Analizar cuidadosamente las dos condiciones: con y sin el puente viejo; tomar en cuenta la estabilización futura para un nuevo equilibrio. e. Existen drenajes para la losa, ¿se requieren de mayor longitud? f. Se considera que elevar la estructura no debería causar problemas en los rellenos de aproximación porque hay buen espacio y el agua de la carretera va en dirección opuesta al puente. 						

III. RESULTADOS DEL TALLER

EXPOSICIÓN 1:

Foro de Diálogo Costa Rica

Presenta: Katharina Lotzen

Se explica el interés del proyecto CSI para procurar un mayor y mejor uso de la información climática en los planes, diseños, construcciones y procesos de operación y mantenimiento para la infraestructura pública; de forma que se logren proyectos con mayor resiliencia ante los impactos que se esperan con el cambio climático.

Se identifican los dos frentes de trabajo que se han seguido. En primera instancia, se procura definir una línea base para la oferta y la demanda de los servicios climáticos, donde el socio principal es el IMN y se trabaja junto con la cooperación del Servicio Meteorológico Alemán (DWD), la Dirección de Cambio Climático (DCC), el CFIA y la GIZ. En segundo lugar se encuentra en desarrollo la política y el plan nacional de adaptación ante el cambio climático (PNA), donde la DCC junto con el apoyo de instituciones nacionales y de cooperación trabajan en el tema.

Con base en el PNA, se expone la temática abordada en el Eje 1: gestión del conocimiento sobre efectos del cambio climático, servicios climáticos y desarrollo de capacidades locales e institucionales; así como el en Eje 4: servicios públicos e infraestructura resiliente

El foro pretende acercar a los grupos actores relacionados para discutir y acordar la forma en que la plataforma del proyecto CSI puede ayudar a la implementación del PNA. Se identifican cuatro pasos a seguir: a) establecer grupos de trabajo para avanzar en la implementación del PNA, b) organizar talleres con los proveedores de servicios climáticos, c) identificar áreas priorizadas para desarrollar capacidades en usuarios y proveedores de servicios climáticos y d) aprovechar la aplicación del protocolo PIEVC como caso de estudio para identificar otros desafíos y oportunidades.

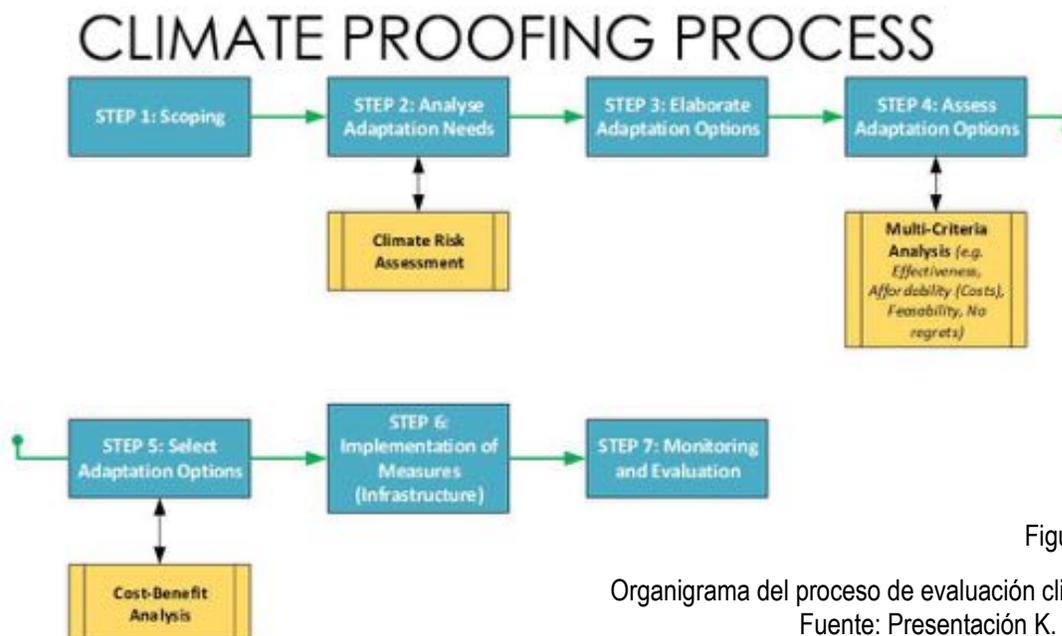


Figura N°1

Organigrama del proceso de evaluación climática.
Fuente: Presentación K. Lotzen.

EXPOSICIÓN 2:

Protocolo del PIEVC y sus perspectivas

Presenta: Hani Farghaly, PhD., P.Eng.

Expone como ejemplos el caso “*The Location of the Coquihalla Highway*” y la experiencia del Ministerio de Transportes en Ontario.

En su presentación se comparten recomendaciones y lecciones aprendidas de la evaluación de vulnerabilidad a través de la aplicación del PIEVC.

Las recomendaciones son:

1. Investigar la capacidad en reserva del diseño para condiciones locales de lluvia extrema.
2. Incorporar la actualización y mejoramiento de los componentes de la infraestructura como práctica regular del diseño y del programa de mantenimiento.
3. Investigar con mayor profundidad la frecuencia potencial y la magnitud de los eventos de lluvia extrema.
4. Monitorear y documentar la respuesta de los componentes de la infraestructura y los problemas que se presentan ante eventos climáticos extremos.
5. Investigar si los modelos de falla para la infraestructura incluyen el clima como una variable.
6. Continuar con la investigación de datos y parámetros climáticos relevantes.
 - a. Utilizar análisis con escala reducida de modelos regionales de clima.
 - b. Validar la información de modelado con datos IDF locales.
 - c. Desarrollar bases de medición sistemática para análisis.
7. Procurar una mejor definición a través de la disminución de escala.
8. Ampliar la investigación y evaluación de problemas debidos a vientos y aguaceros.
9. Ampliar la investigación y evaluación de problemas por neblina y falta de visibilidad.
10. Establecer centros de almacenamiento para datos e información -técnica, ingenieril, de diseño, operación, mantenimiento y climática- necesarios para dirigir la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático con la intención de considerarlos en futuras evaluaciones de vulnerabilidad.

Las lecciones aprendidas son:

1. Se necesita un buen entendimiento de las condiciones climáticas con suficiente información de calidad para tener mejores conclusiones y más representativas.
2. Se necesita un mejor entendimiento de la infraestructura a través de bases de datos e inventarios actualizados.
3. Se necesita un mejor entendimiento de la resiliencia y la vulnerabilidad de la infraestructura para definir objetivos y métodos de adaptación.
4. Se deben desarrollar herramientas que le permitan a los ingenieros una evaluación y/o diseño de la infraestructura contemplando el cambio climático.

EXPOSICIÓN 3:

Experiencia de aplicación del PIEVC en puentes de Honduras

Presenta: Jorge Paz

Explica el procedimiento de aplicación para los diferentes pasos del protocolo. Inicia con la ubicación de los cuatro puentes evaluados sobre los ríos: Higuito, Río Perla, Ulúa e Iztoca. Destaca la evaluación de componentes en hidrología, hidráulica, geología y geotecnia, y detalla los componentes considerados para cada estructura, los cuales se agrupan en tres segmentos: superestructura, subestructura y otros componentes. Adicionalmente, resalta los eventos climáticos considerados: tormentas tropicales, vientos, crecidas instantáneas, temperatura, huracanes, Mitch y empujes fríos. Manifiesta que se realizó un análisis de ingeniería cualitativo con recomendaciones conceptuales que se deben analizar con mayor profundidad para su implementación.

El estudio concluye indicando que la aplicación del protocolo les permitió adquirir conocimientos sobre el cambio climático, una comprensión más clara sobre el manejo e interpretación de los datos mediante el trabajo multidisciplinario y se identificaron deficiencias en la información de infraestructura y datos climatológicos.

El estudio recomienda construir obras de protección, realizar estudios en la infraestructura para obtener datos de análisis, mejorar los programas de inspección y mantenimiento en la infraestructura e incorporar las consideraciones al cambio climático en los códigos y manuales para que sea considerado en la etapa de diseño.

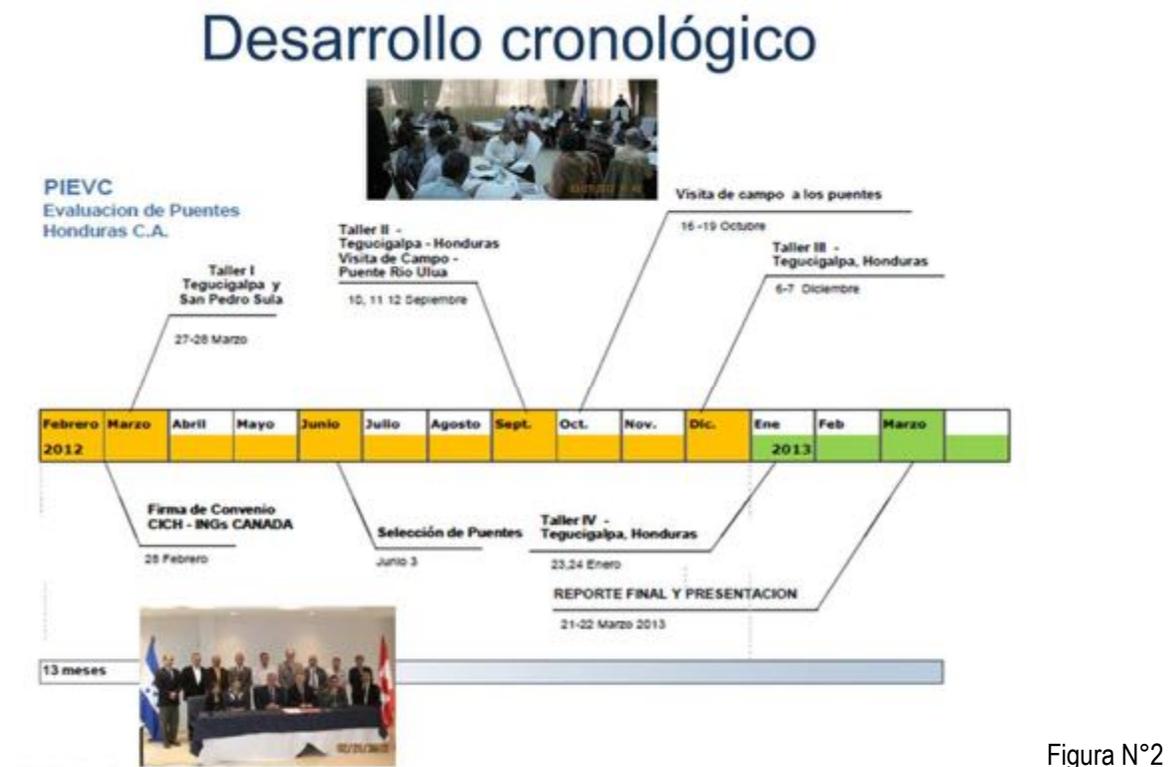


Figura N°2

Línea temporal de ejecución PIEVC en Honduras.
Fuente: Presentación J. Paz.

EXPOSICIÓN 4:

Resumen aplicación Paso 1

Presenta: Luis Castro

Se hace un breve repaso de la estructura de aplicación del protocolo.

Se recuerda el avance logrado en el primer taller y se motiva para ampliar los conceptos y definiciones del proyecto en el presente taller.

TALLER 2: Parte A

Información disponible

En el primer taller se identifica la siguiente información disponible, se ratifica su disponibilidad en este taller, aún cuando no se haya recibido para su estudio y utilización.

Tabla N°2
Información disponible para el proyecto según Taller N°1

Información	Institución responsable	Estado
Planos escaneados	LANAMME	Recibido
Reporte Uso de Suelo, 2012	IMN – Nazareth Rojas	Pendiente
Informe de evaluación posterior a tormenta NATE	MOPT – Gabriela Muñoz	Pendiente
Información hidrológica estación AyA - ICE	CFIA – Vladimir Naranjo	Pendiente
Información meteorológica estación Aerop. Daniel Oduber	IMN – Nazareth Rojas	Pendiente
Informes operación y mantenimiento, inspección visual	CONAVI – Gustavo Alvarado	Pendiente
Trabajo graduación UCR Eduardo Somarriba	LANAMME – Esteban Villalobos	Pendiente
Recorte de cuenca en el Atlas Climático	IMN – Nazareth Rojas	Pendiente

A la información identificada en el primer taller, se requiere consultar y determinar si está disponible la siguiente información:

- Comisión Nacional de Emergencias, reportes de eventos suscitados en la zona de estudio. Responsable no determinado.
- Fotografías aéreas del IGN - SNIT. Responsable no determinado.
- Mapa del tipo y uso de suelo aguas arriba del puente. Pedir al SIA – UCR el shape para hacer reporte de la cuenca. Responsable no determinado.
- Curvas de nivel y ortofotos del SNIT. Responsable: CONAVI - Rolando Arias.
- Definición de la subcuenca del río Tempisque con punto de aforo en el puente de estudio. Responsable: CONAVI - Rolando Arias.

- f. Curvas de nivel para la cuenca y/o cauce del río escala 1:5000. Responsable: CONAVI - Rolando Arias.
- g. Otras estaciones meteorológicas que aporten información: Tempisque y Santa Rosa. Responsable: IMN – Nazareth Rojas.
- h. Investigar el procedimiento agrometeorológico en la zona. Responsable: IMN – Nazareth Rojas.
- i. Plan de ordenamiento territorial y futuros proyectos identificados por la municipalidad para la cuenca del Tempisque. Responsable CONAVI – Gustavo Alvarado.
- j. Batimetría y topografía en la sección del puente, aguas arriba y/o aguas abajo del mismo. Responsable: CFIA – Luis Castro ante AyA.
- k. Topografía y perfiles para calcular caudales en la sección donde se ubica el puente y de ser posible, aguas arriba y abajo del mismo. Responsable: MOPT – María Ramírez.
- l. Normativa de diseño para puentes, LRFD 2017, AASHTO HL93 y SIECA. Responsable: MOPT – María Ramírez.

TALLER 2: Parte B

Horizonte de tiempo

Se determinan tres escenarios de análisis: la condición actual, un período de análisis de 25 años -en caso de que se repare el puente actual, se espera una vida útil de esa vigencia- y otro de 75 años -en caso de que se sustituya el puente actual por otro nuevo, si bien la estructura se diseña para un período mayor, IMN indica que no existen datos de referencia superiores a 35 años, por lo que la proyección con dos series consecutivas funcionará para nuestro proyecto-.

Pendiente: justificación técnica de los periodos definidos.

TALLER 2: Parte C

Consideraciones jurisdiccionales

Se utilizan normativas para diseño como SIECA y AASHTO.

Rigen en nuestro caso la LRFD 2017 y AASHTO HL93.

Pendiente: justificación técnica de la normativa que se utiliza y su influencia en la toma de decisión.

TALLER 2: Parte D

Definición detallada de la infraestructura y su entorno: revisión de visita al sitio

Se confirman los elementos establecidos en el primer taller. Quedan definidas las márgenes 1 para Guardia (derecha) y 2 para Comunidad (izquierda). La infraestructura se analizará con los siguientes elementos:

- a. Accesos:
 - Calzadas de acceso, ambas márgenes.
 - Rellenos de aproximación, ambas márgenes.
- b. Accesorios:
 - Pavimento como superficie de rodamiento.
 - Drenajes en rellenos de aproximación, ambas márgenes.
 - Barandas de acero, ambas márgenes.
 - Juntas, ambas márgenes.
- c. Subestructura:
 - Bastiones, ambas márgenes.
 - Fundaciones, ambas márgenes.
- d. Superestructura:
 - Cerchas principales
 - Sistema de arriostramiento
 - Vigas transversales
 - Vigas longitudinales
 - Losa de concreto como soporte
 - Apoyos
- e. Otros componentes:
 - Estructura de puentes paralela vieja
 - Infraestructura paralela de agua potable
 - Líneas de transmisión eléctrica
 - Sección hidráulica

Pendiente: justificación técnica de la división escogida.

TALLER 2: Parte E

Revisión de eventos climáticos relevantes: línea base y umbrales

Se acuerda considerar los siguientes eventos climáticos para el análisis de vulnerabilidad:

- a. Lluvia: para tormentas de inundación, ciclones tropicales y huracanes. Se utilizará la información de caudales en función de la precipitación.
- b. Viento: con ráfagas y en ciclones tropicales y huracanes.
- c. La combinación de a y b.

Se acuerda no considerar los siguientes parámetros climáticos:

- a. Temperatura
- b. Descargas eléctricas.
- c. Humedad relativa.

Pendiente: justificación técnica para considerar o no, cada parámetro climático.

TALLER 2: Parte F

Definición de severidad

Se presenta una propuesta inicial para la definición de la severidad, la cual deberá revisarse a profundidad y lograr el acuerdo del equipo de trabajo. Se realizaron algunos cambios en el contenido de la propuesta inicial, pero aún existen dudas con los límites establecidos.

Tabla N°3

Parámetros para definir la severidad del impacto de un evento climático en la infraestructura de estudio

Severidad	Consecuencia [Estructural, Funcional, Operacional]
0 Sin efecto	<ul style="list-style-type: none"> • Sin interrupción del servicio • Sin impactos sobre el presupuesto • Operación normal • Sin quejas ni reclamos sobre el servicio
1 Menor	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede solventar a través de la implementación de un plan de mantenimiento periódico. • Requiere reparaciones menores que pueden ser realizadas por los operadores de la institución. • Sin impacto sobre el plan de operación y mantenimiento ni sobre el presupuesto principal • No se requiere presupuesto adicional para corregir la situación • Podría requerir evaluaciones adicionales para su solución • Se interrumpe el servicio por corto tiempo
3 Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere reparaciones moderadas • Podría requerir personal especializado para hacer la reparación. • Se requiere inspección con aportes de expertos externos a la institución. • Se interrumpe el servicio y se reciben quejas
5 Mayor	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida parcial de componentes • Pérdida funcional de uno o varios activos, o de algunos de sus componentes críticos • Requiere evaluaciones detalladas por parte de personal experto externo a la institución • Requiere reparaciones importantes y posiblemente la sustitución completa de componentes. • Impactos en el plan de operación y mantenimiento y en el presupuesto principal • Podría requerir presupuesto adicional y una contratación específica para corregir la situación • Requiere implementar servicios alternativos • Se interrumpe el servicio en mayor tiempo y se debe buscar medidas alternativas para reestablecer el servicio

Tabla N°3 (continuación)

Parámetros para definir la severidad del impacto de un evento climático en la infraestructura de estudio

Severidad	Consecuencia [Estructural, Funcional, Operacional]
7 Catastrófico	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida total de infraestructura y servicio, lo cual hace necesario el reemplazo completo de una cantidad importante de activos y de componentes críticos. • Existen impactos sobre otros elementos del activo o en otros activos. • Podría tener impacto sobre la integridad de las personas y la seguridad pública. • Podría tener impacto sobre la prestación de servicios hacia la sociedad (salud, educación, servicios básicos). • Impactos significativos sobre el presupuesto principal, lo cual hace necesaria la búsqueda de fondos adicionales, ya sea a lo interno de la institución o mediante financiamiento externo. • Implica una declaración de estado de emergencia. • Se interrumpe el servicio en mayor tiempo y se debe buscar medidas alternativas para reestablecer el servicio • Afectación de importación de alimentos perecederos.

Pendiente: justificar la definición de cada parámetro.

TALLER 2: Parte G

Definición de objetivos de desempeño

Se hace una breve explicación del alcance de los objetivos de desempeño en tres áreas generales: estructural, operacional y funcional. Deberá aclararse con mayor profundidad el tema.

IV ACUERDOS Y DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES

De forma adicional a lo establecido previamente según cada parte del taller, se tomaron los siguientes acuerdos:

- Establecer una plataforma web para intercambio de información y documentos. Responsable: CFIA – Vladimir Naranjo.
- Consultar si AyA cuenta con la batimetría en la estación hidrológica. Responsable: CFIA – Luis Castro.
- Hacer contacto con la Municipalidad de Liberia e invitarlos a formar parte del equipo de trabajo. Responsable: CONAVI – Gustavo Alvarado.

Proyecto piloto: Puente sobre el Río Tempisque, Ruta Nacional Nº 21, sección de control 50082.

El objetivo de este formulario es la verificación y recopilación adicional del puente sobre el río Tempisque, denominado Tempisque Nuevo sobre la Ruta Nº 21, para el proyecto piloto sobre la incorporación de cambio climático en infraestructura pública.

Se basa en la información existente de inspección realizada el 27 de febrero del 2014.

Propuesta de formularios para recopilación de datos

1. DATOS DE INVENTARIO

1.1. Datos generales



Figura 1. Fotografía general del puente

Cuadro 1. Datos generales

Nombre del puente	Tempisque nuevo
Ruta	21
Kilómetro	18.008
Provincia	Guanacaste
Cantón	Liberia
Distrito	Nacacolo
Zona administrativa CONAVI	Zona 2-1 Liberia
Latitud	10°33'43.77"
Longitud	85°35'26.52"

1.2. Verificación de dimensiones

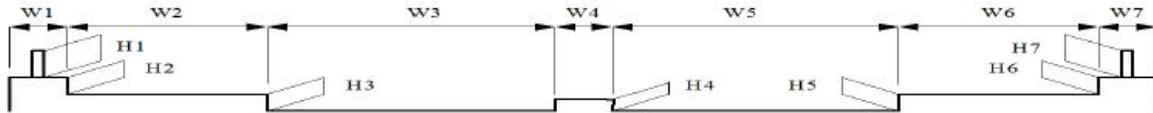


Figura 2. Esquema de dimensiones sección transversal

DIMENSIONES							
ANCHO TOTAL		8.5 m			CALZADA		7.3 m
ITEMS	1	2	3	4	5	6	7
W(m)	0.0	0.6	3.65	0.0	3.65	0.6	0.0
H(m)	0.75	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.75

Figura 3. Dimensiones según inventario

Cuadro 2. Verificación de datos de datos

Dimensión	Valor de inventario	Medición en sitio
Longitud	92.15 m	
Altura libre superior	4.65 m	
Altura libre inferior	12 m	
Ancho total	8.50 m	
Ancho de calzada	7.30 m	

1.3. Verificación de elementos principales

Cuadro 3. Verificación de elementos principales (*)

Elemento	Verificación	Observaciones
Accesos		
Calzada 01		
Relleno de aproximación 01		
Calzada 02		
Relleno de aproximación 02		

Accesorios		
Pavimento		
Baranda de acero derecha		
Baranda de acero izquierda		
Juntas de expansión 01		
Juntas de expansión 02		
Drenajes		
Superestructura		
Losa		
Cerchas principales		
Vigas transversales		
Sistema de arriostramiento		
Subestructura		
Bastión 01 (incluye aletones)		

Bastión 02 (incluye aletones)		
Fundaciones 01		
Fundaciones 02		
Apoyo 01		
Apoyo 02		
Otros componentes		
Infraestructura paralela		
Tubería de agua potable		

(*) El objetivo es marcar con una X en la columna de verificación si el elemento efectivamente existe y en observaciones agregar datos relevantes del mismo.

Otras observaciones

2. DATOS SOBRE EL CAUCE

Cuadro 4. Características del cauce identificables en inspección visual

Variable a medir	Dato medido	Observaciones
Ancho del cauce aguas arriba	L = _____ m	<i>Medido a una distancia entre l hasta 4l, donde l es la longitud del puente</i>
Ancho del cauce aguas abajo	L = _____ m	<i>Medido a una distancia entre l hasta 4l, donde l es la longitud del puente</i>
Caracterización del cauce	<input type="checkbox"/> Rocas <input type="checkbox"/> Vegetación <input type="checkbox"/> Estructuras existentes <input type="checkbox"/> Otros	
Angulo de ataque del agua sobre los bastiones	Angulo = _____ °	
Elementos identificados dentro del cauce	<input type="checkbox"/> Rocas <input type="checkbox"/> Vegetación <input type="checkbox"/> Estructuras existentes <input type="checkbox"/> Otros	
Contaminación	<input type="checkbox"/> Presencia de basura <input type="checkbox"/> Tubería de descarga <input type="checkbox"/> Otros	
Intervenciones en el cauce	<input type="checkbox"/> Dragados <input type="checkbox"/> Diques <input type="checkbox"/> Tuberías	
Marcas de agua de inundaciones sobre la estructura	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Altura: _____ m	

Margenes del río	Desprendimiento de material Si ___ No ___	
Caracterización de zona aledaña al puente (45m alrededor).	<input type="checkbox"/> Viviendas (invasión) <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Libre <input type="checkbox"/> Otros	
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos naturales		
Caracterización del tráfico. Consulta a vecinos sobre el tipo de vehículos que transitan.		

Otras observaciones

ESQUEMAS

Es necesaria la elaboración de esquemas detallados de los elementos principales, se recomienda la elaboración de los siguientes esquemas:

- Planta
- Perfil
- Bastiones
- Superestructura inferior

Liberia, 6 de abril de 2018.

OIGD (2-1)-009-2018

Ingeniero
Gustavo Alvarado Prudente
Encargado Zona 2-1, Gerencia de Conservación de Vías y Puentes
CONAVI

Ref.	Informe sobre intervenciones realizadas al Puesto sobre el Río Tempisque, en la Ruta Nacional 21.
-------------	---

Estimado Ingeniero:

A continuación se precede a describir el detalle de los diferentes trabajos que se han realizado en la estructura del puente sobre el Río Tempisque, debido a los distintos problemas que esta presenta y que con el alto tránsito con que cuenta la ruta ha acelerado su deterioro.

En el periodo comprendido entre el 7 noviembre y el 15 de diciembre del año 2013, la losa que soporta la carpeta asfáltica presentó daños, por lo que se realizó una contratación por Imprevisibilidad para atender el problema con carácter de urgencia; se muestra a continuación el detalle de los trabajos y la inversión:

Evento Imprevisible en la Ruta Nacional 21, Sección de Control 50082, Guardia de Liberia, Puente sobre el Río Tempisque				
Actividad	Unidad de pago	Precio Unitario	Cantidades Ejecutadas	Monto Ejecutado
Concreto Estructural f'c = 350 kg/cm ²	m ³	₡ 508.057,18	11,518	₡ 5.851.802,60
Demolición de concreto	m ²	₡ 43.919,42	56,000	₡ 2.459.487,52
Acero de Refuerzo grado 60	kg	₡ 2.365,05	2062,000	₡ 4.876.733,10
Estructuras de acero	kg	₡ 4.421,46	945,000	₡ 4.178.279,70
Dispositivos de Control Temporal del Tránsito	global	₡3.746.777,44	1,000	₡ 3.746.777,44
Sustitución, suministro y colocación de pernos A323 7/8" 3.5" con tuerca y arandela	unidad	₡ 19.293,32	749,000	₡ 14.450.696,68
				₡ 35.563.777,04
Periodo del 7 de noviembre al 15 de diciembre 2013				

A continuación se adjunta una descripción fotográfica de dicha intervención:



Fotografías 1-4: Trabajos para la sustitución de área dañada losa de concreto.

Además a la intervención anterior, se han realizado trabajos de mantenimiento menores y limpieza, con las contrataciones que a ese momento se encontraban vigentes para los contratos de conservación vial de la zona 2-1, Liberia.

Se procede a mostrar el detalle y el número de contrato bajo el cual fueron ejecutados:

LP N°2009LN-000003-CV								
FECHA	CANTIDAD	PERIODO	ITEM	DESCRIPCION	UNID	PRECIO	COSTO TOTAL	
11/06/2012	10,000	jun-12	MP-50(A)	Brigada de limpieza de puentes	h	¢36.123,30	¢ 361.233,00	
26/06/2013	10,000	jun-13	MP-50(A)	Brigada de limpieza de puentes	h	¢36.123,30	¢ 361.233,00	
27/06/2013	10,000	jun-13	MP-50(A)	Brigada de limpieza de puentes	h	¢36.123,30	¢ 361.233,00	
10/05/2014	15,410	may-14	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	¢57.467,01	¢ 885.566,62	
							¢ 1.969.265,62	

A continuación se adjunta una descripción fotográfica de dichas intervenciones:



Fotografías 6-8: Trabajos de limpieza tanto para la estructura como sus drenajes.

CONTRATACIÓN DIRECTA 2014CD-000140-0CV00							
FECHA	CANTIDAD	PERIODO	ITEM	DESCRIPCION	UNID	PRECIO	COSTO TOTAL
16/09/2015	60,850	sep-15	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	₡57.467,01	₡ 3.496.867,56
17/09/2015	28,910	sep-15	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	₡57.467,01	₡ 1.661.371,26
03/12/2015	43,670	dic-15	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	₡57.467,01	₡ 2.509.584,33
12/10/2016	19,730	oct-16	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	₡57.467,01	₡ 1.133.824,11
							₡ 8.801.647,25

A continuación se adjunta una descripción fotográfica de dichas intervenciones:



Fotografías 9-12: Trabajos de bacheo en la carpeta asfáltica de la estructura.

LICITACIÓN PÚBLICA 2014LN-000017-0CV00							
FECHA	CANTIDAD	PERIODO	ITEM	DESCRIPCION	UNID	PRECIO	COSTO TOTAL
26/05/2017	20,770	may-17	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	¢63.418,33	¢ 1.317.198,71
31/08/2017	20,430	ago-17	M41(A)	Bacheo con mezcla asfáltica en caliente	t	¢63.418,33	¢ 1.295.636,48
22/12/2017	10,890	dic-17	M41(D)	Bacheo de urgencia	t	¢65.615,14	¢ 714.548,87
							¢ 3.327.384,07

A continuación se adjunta una descripción fotográfica de dichas intervenciones:



Fotografías 13-16: Trabajos de bacheo en la carpeta asfáltica de la estructura.

Adicional a la información antes descrita, procedemos a suministrar un registro fotográfico del estado actual de la estructura, el mismo se incluirá en el presente informe a manera de anexo a continuación.

Esperando haya quedado clara la información solicitada, quedamos a la mayor disposición de brindar cualquier otro detalle que sea requerido al respecto.

Atentamente,



Ing. Daniel Solís Carmona
Administrador Vial, Zona 2-1 Liberia
Grupo Dedal S.A.

Anexos:









N° 24084-C

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
Y EL MINISTRO DE CULTURA, JUVENTUD Y DEPORTES

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 140, incisos 3) y 18) de la Constitución Política, artículo 25.1 de la Ley General de la Administración Pública y en la ley N° 5397 del 8 de noviembre de 1973, y

Considerando:

1°— Que el antiguo puente construido sobre el río Tempisque en Guardia de Liberia es de valor patrimonial.

2°— Que fue construido en 1926 por la United State Steel Products Company quien edificó la mayoría de los puentes de esa época.

3°— Que este puente construido en segunda administración de don Ricardo Jiménez Oreamuno, constituyó una de las principales vías de acceso de la localidad.

4°— Que esta edificación se elaboró en metal bajo el sistema de arrostramiento y estabilización lateral formada por tensores de barras.

5°— Que este puente de estilo bayle consta de dos semiarcos apoyados sobre bastidores, manteniendo una superficie de rodamiento en el cuarto inferior de la altura.

6°— Que es deber del Estado salvaguardar el patrimonio cultural del país,
Por tanto,

DECRETAN:

Artículo 1°— Declarar de interés histórico arquitectónico el antiguo Puente de Guardia situado en el distrito cuarto, cantón primero de la provincia de Guanacaste.

Artículo 2°— Esta declaratoria prohíbe la demolición del inmueble, e igualmente su remodelación parcial o total sin la autorización previa del

Departamento de Patrimonio Histórico del Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes.

Artículo 3º— Su eventual restauración se hará bajo la supervisión y dirección del Departamento de Patrimonio Histórico del Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes.

Artículo 4º— Rige a partir de su publicación.

Dado en la Presidencia de la República. —San José a los tres días del mes de febrero de mil novecientos noventa y cinco.

JOSÉ MARÍA FIGUERES OLSEN. —El Ministro de Cultura, Juventud y Deportes, Dr. Arnoldo Mora Rodríguez. —1 vez. —C-2800. —(10725).

PROYECTO:

Mejora de los Servicios Climáticos para Inversiones en infraestructura (Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments) – CSI

ASUNTO:

**Protocolo de Ingeniería PIEVC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al Cambio Climático
(PIEVC Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate)**

TEMA:

Caracterización de la Subcuenca Alta del Río Tempisque y Análisis de Datos Hidrológicos

Elaborado por:

Ing. Ricardo Muñoz Jiménez

San José, Costa Rica

12, Octubre 2018



Tabla de Contenidos

1.	Caracterización de la Subcuenca	1
1.1.	Características Generales	1
1.2.	Características hidrográficas	3
1.3.	Características topográficas y de relieve.....	5
1.4.	Características Geomorfológicas.	9
1.5.	Caracterización del Suelo.....	11
1.6.	Características del clima	15
2.	Estudio de las estaciones de precipitación.....	21
2.1.	Metodología del análisis de las estaciones.....	24
2.2.	Resultados de los Datos de Precipitación.....	36
3.	Análisis de Hidrogramas de Caudal.....	40
4.	Registros de Eventos que ha afectado el puente en Guardia.....	43
4.1.	04 Noviembre 1998.....	43
4.2.	3- Octubre -2005	43
4.3.	4- Octubre -2005	43
4.4.	11 Agosto 2007.....	44
4.5.	13-Octubre-2007	44
4.6.	16 Octubre 2007.....	45
4.7.	5-Setiembre 2008	45
4.8.	9-Setiembre del 2008.....	45
4.9.	25-Noviembre-2016.....	47
4.10.	25-Noviembre-2016.....	47
4.11.	5-octubre-2017	48
4.12.	9-Octubre-2017.....	49
4.13.	10 Octubre-2017	50
4.14.	Sin fecha de referencia.....	51
5.	Secciones transversales del río Tempisque a la altura del puente en Guardia	52
5.1.	Perfiles del río a la altura del Puente AyA – ICE.....	53
6.	Conclusiones.....	54
7.	Referencias Bibliográficas.....	56

Tabla de Cuadros

Cuadro 1-1. Datos geométricos de la subcuenca alta del río Tempisque.....	3
Cuadro 1-2. Parámetros de la red hídrica de la Subcuenca.....	4
Cuadro 1-3. Parámetros de elevaciones de la subcuenca del río Tempisque	5
Cuadro 1-4. Parámetros de forma y de relieve de la subcuenca alta del río Tempisque.....	8
Cuadro 1-5. Distribución porcentual de la formación geomorfológica en el área de la subcuenca	11
Cuadro 1-6. Tipo de suelo de la subcuenca alta del río Tempisque.....	11
Cuadro 1-7. Uso de Suelo de la Subcuenca alta del río Tempisque	13
Cuadro 1-8. Zonas de distribución de las distintas zonas de vida en el área de la subcuenca alta del río Tempisque.....	17
Cuadro 2-1 Datos de las estaciones	21
Cuadro 2-2. Cuadro para la inspección del umbral, estación 74-20 año 2007	27
Cuadro 2-3. Resumen de los umbrales de precipitación para 5 días continuos con 300 mm, estación 74-20.....	29
Cuadro 2-4. Registro por estación a partir del año 1980	37
Cuadro 2-5. Registros de umbrales por mes y año.....	38
Cuadro 2-6. Registros de los eventos de precipitación con mayor relevancia.....	39
Cuadro 3-1. Registro de caudales máximos y escalas máximas obtenidos de los hidrogramas del ICE, Estación Guardia 1995-2008.	41
Cuadro 5-1. Registro de mediciones de la sección transversal del río Tempisque a la altura del puente en Guardia.....	52

Tabla de Figuras

Figura 1-1. Mapa de la delimitación de la subcuenca alta del río Tempisque hasta el puente en Guardia, Ruta 21.....	2
Figura 1-2. Mapa de ríos que conforman de la subcuenca alta del río Tempisque.....	4
Figura 1-3. Mapa, distribución de elevaciones en el área de la subcuenca alta del río Tempisque	5
Figura 1-4. Histograma de Frecuencia Altimétrica	6
Figura 1-5. Curva Hipsométrica.....	6
Figura 1-6. pendientes de la cuenca y cauce.....	7
Figura 1-7. Geomorfología que conforma la subcuenca alta del río Tempisque.....	10
Figura 1-8. Tipos de suelo para subcuenca alta del río Tempisque.....	12
Figura 1-9. Uso de suelo para la subcuenca alta del río Tempisque	14
Figura 1-10. Zonas de Vida de la Subcuenca alta del río Tempisque.....	16
Figura 1-11. Historial de Fases del Fenómeno Enos	20
Figura 2-1. Mapa de ubicación de las estaciones en el sistema de elevación de la subcuenca ...	22
Figura 2-2. Mapa de ubicación de las estaciones en los distintos cauces de la subcuenca	23
Figura 2-3. Totales mensuales de la precipitación, Estación 74-20, año 2007	26

Figura 2-4. Precipitación diaria (mm), Estación 74-20 año 2007, mese de agosto, setiembre y octubre	26
Figura 2-5. Ejemplo de la revisión visual estación 74-20 año 2007 para el mes de octubre.....	27
Figura 2-6. Precipitación anual acumulada para la Estación 74-20	28
Figura 2-7. Umbrales de precipitación para 5 días continuos con 300 mm para la estación 74-20	36
Figura 3-1. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007	40
Figura 3-2. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007	41
Figura 4-1. Puente en Guardia 13 de Octubre del 2007.....	44
Figura 4-2. Puente en Guardia 9 de Setiembre del 2008.....	46
Figura 4-3. 9 de setiembre del 2008, solo se permite el paso de peatones.....	46
Figura 4-4. Puente en Guardia, Paso de Huracán Otto	47
Figura 4-5. Caída de árboles en el relleno de aproximación del puente, huracán Otto	47
Figura 4-6. Zona de inundación aguas arriba del puente.....	48
Figura 4-7. Puente en Guardia, 5 de octubre del 2017 antes de la crecida que sobrepasara el puente	49
Figura 4-8. Continua las Crecidas y el paso inhabilitado en el puente.....	50
Figura 4-9. Nivel del río aún no baja	51
Figura 5-1. Superposición de perfiles AyA-ICE.....	53

1. Caracterización de la Subcuenca

1.1. Características Generales

La cuenca del río Tempisque es una de las zonas más importantes del país, cubre la décima parte del territorio nacional y está compuesta de varias subcuencas como la del río Garzón Charco, Bebedero, y la del Tempisque. En esta zona se ubica diferentes asentamientos humanos importantes como Tilarán, en su parte alta (zona de la Cordillera Volcánica de Guanacaste), Cañas, Liberia y Filadelfia en su parte media (valles y planicies de la parte media de la cuenca) y Santa Cruz y Nicoya en la zona peninsular. (Mata, 2018)

Esta zona esta interconectada con una gran red fluvial, con todas sus características y sistemas conexos como lo son las zonas de recolección (en alta montaña y valles), llanuras de inundación, bosque rivereños y estuarios.

Debido al enfoque de esta investigación, el análisis estará abocado a las características que representan la parte alta de la cuenca del río Tempisque.

La zona de estudio se ubica en el extremo norte del territorio guanacasteco, comprendida por la subcuenca de la parte alta del río Tempisque delimitada hasta el puente en Guardia (Ruta. 21 en Liberia, Guanacaste). En este punto se encuentra la estación fluviográfica Guardia, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (N°.190302, AyA) ubicada en las coordenadas 10°33'41,86" latitud norte y 85°35'27,6" longitud oeste (CRTM-05, X: 325868,03, Y: 1168302,85). Para la caracterización se utilizan las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional IGN: Cacao, Carrillo Norte, Monteverde, Curubandé, Ahogados y Murciélagos, en escala 1:50.000 (Somarriba, 2003).

Tomando las coordenadas del puente 10°33'43,1" latitud norte y 85°35'26,53" longitud oeste (CRTM-05, X: 329550,49, Y: 1168322,59), como punto de control y limite sur de la subcuenca, se realiza la delimitación, extendiendo la divisoria de aguas en dirección noreste pasando entre los cauces de las quebradas Cascante y Honda, bordeando la margen derecha del río Liberia hasta las cercanías de la margen izquierda del río Claro. (Somarriba, 2003). La divisoria continúa ascendiendo en dirección noreste topando con la Cordillera de Guanacaste, cerca del Volcán Rincón de la Vieja.

La delimitación continua sobre la cordillera hasta poco antes de la copa del volcán Orosí, luego se desvía en dirección suroeste, apoyándose de la topografía y coincidiendo con pequeñas elevaciones, bordeando el Golfo de Papagayo y la costa pacífica, hasta coincidir nuevamente en el punto de control. (ver Figura 1-1)

De los parámetros geométricos de la subcuenca (ver Cuadro 1-1) al contar con un valor alto de índice de compacidad, K_G de 1,47 y un factor de forma bajo, K_F de 0,21, según Serrano (2016) la subcuenca se caracteriza por ser irregular, con una forma ligeramente alargada, siendo un indicador de la capacidad de amortiguamiento ante eventos de precipitación, volviéndose poco propensa a crecientes instantáneas, comparado con otra cuenca con la misma áreas y perímetro pero con un valor de K_G menor.

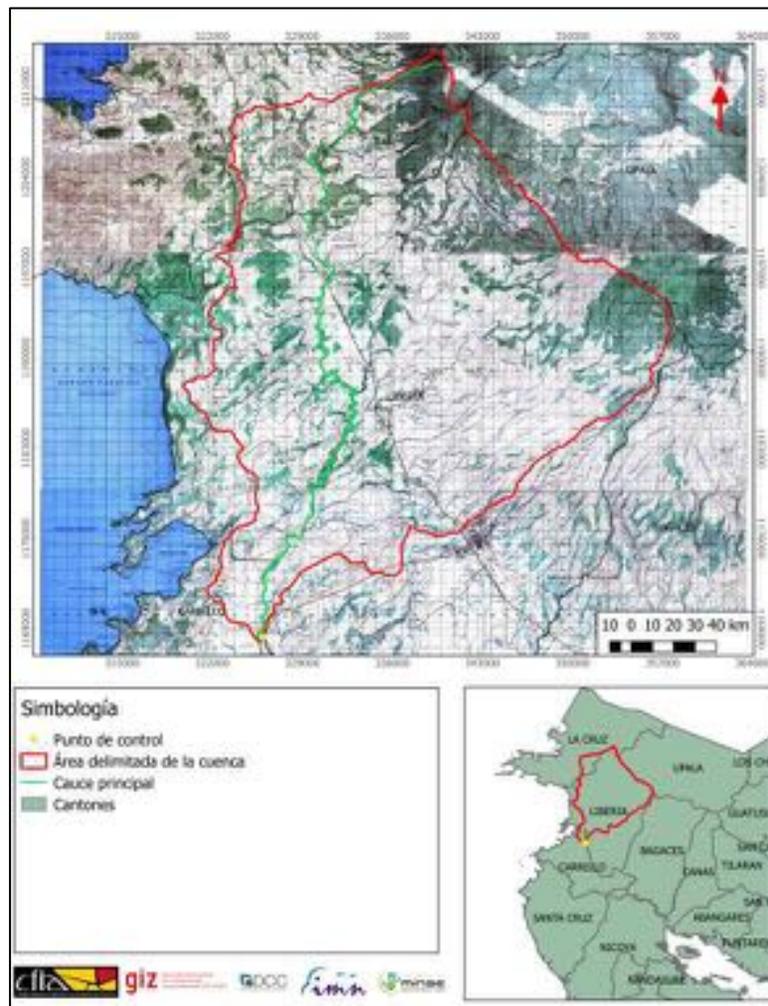


Figura 1-1. Mapa de la delimitación de la subcuenca alta del río Tempisque hasta el puente en Guardia, Ruta 21

Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

En el siguiente cuadro se resumen las características geométricas de la subcuenca:

Cuadro 1-1. Datos geométricos de la subcuenca alta del río Tempisque

Parámetros	Dimensión
Área de drenaje (km ²)	964,442
Perímetro (km)	161,354
Longitud el cauce principal (km)	67,33
índice de compacidad	1,47
Factor de forma	0,21

Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

1.2. Características hidrográficas

Guanacaste es una de las zonas con menor riqueza hídrica, sin embargo, todo el territorio está regado por el caudal de su red hidrográfica donde domina el río Tempisque, el cual sufre importantes disminuciones en la época seca y presenta frecuentes inundaciones y desbordamientos en la época lluviosa. (IMN, 2008)

Los principales cursos de agua que drenan la zona de estudio nacen en las faldas de la Cordillera de Guanacaste. Dentro de ellos se encuentran los ríos: Tempisque, Tempisquito, Cóngora, Quebrada Grande, Los Ahogados, Salitral, Tizate, Blanco, Colorado, entre otros. La cuenca es de orden seis y presenta alrededor de 973 km de cauces para una densidad de drenaje de 1,01 Km/Km², que según Serrano (2016), representa un valor bajo para una cuenca.

Por las características de ramificación que se observan en la Figura 1-2 y según lo que indica (Serrano, 2016) se puede decir que el patrón de drenaje es dendrítico, con ramales que se unen al cauce principal a lo largo de toda su longitud y en su mayoría de orden 6.

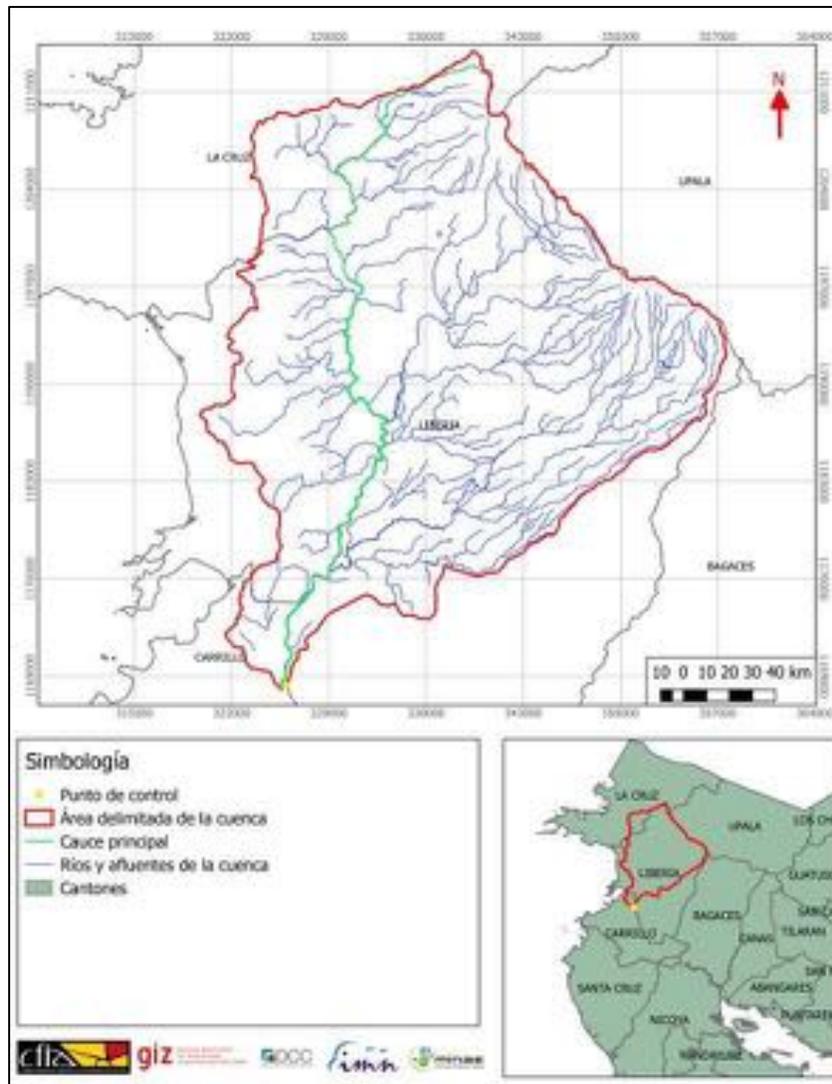


Figura 1-2. Mapa de ríos que conforman de la subcuena alta del río Tempisque
Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

Cuadro 1-2. Parámetros de la red hídrica de la Subcuena

Parámetros	Resultado
Patrones red de drenaje	Dentrítico
Numero de orden	6
Longitud de red hídrica (km)	973,12
Densidad del drenaje (km/km ²)	1,01
Longitud del cauce principal (km)	67,33

Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

Con los 67,3 km de longitud del cauce principal, es suficiente para que el proceso de escorrentía del agua en la subcuena sea lento. (Serrano, 2016)

1.3. Características topográficas y de relieve

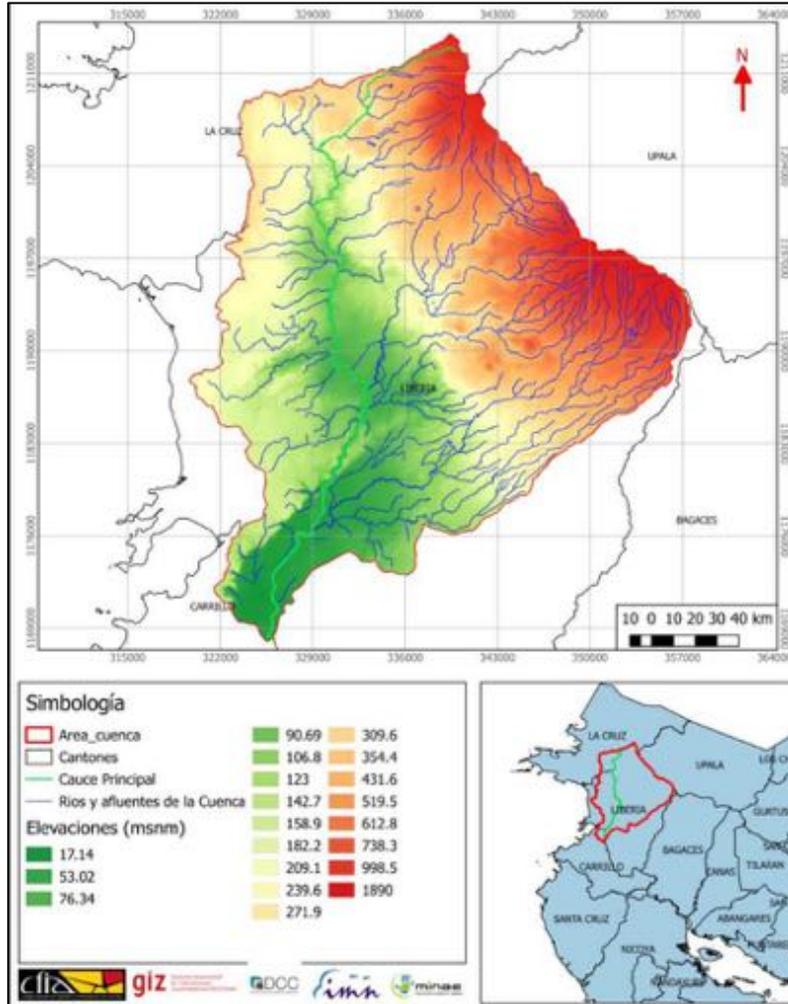


Figura 1-3. Mapa, distribución de elevaciones en el área de la subcuenca alta del río Tempisque
Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

Cuadro 1-3. Parámetros de elevaciones de la subcuenca del río Tempisque

Elevaciones	Dimensión (msnm)
Máxima, Z_{max}	1890
Mínima, Z_{min}	17
Media, Z_{med}	330
Promedio, Z_{prom}	512

Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

La Figura 1-3 muestra el modelo de elevaciones del área de estudio, donde se aprecia como las zonas de mayor elevación de encuentran al noreste de la subcuenca, coincidiendo con la Cordillera Volcánica de Guanacaste, registrando una elevación máxima de 1890 msnm. Las elevaciones mínimas se registran hacia el suroeste donde el punto de menor elevación

es el punto de control (puente en Guardia) con una elevación de 17 msnm. Con el modelo de elevación se obtiene la siguiente distribución y frecuencia de elevaciones para la subcuenca en estudio.

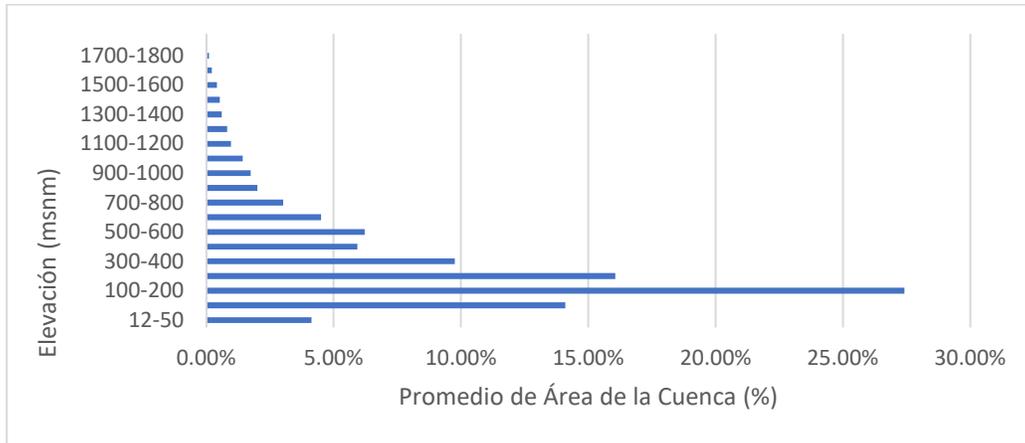


Figura 1-4. Histograma de Frecuencia Altimétrica

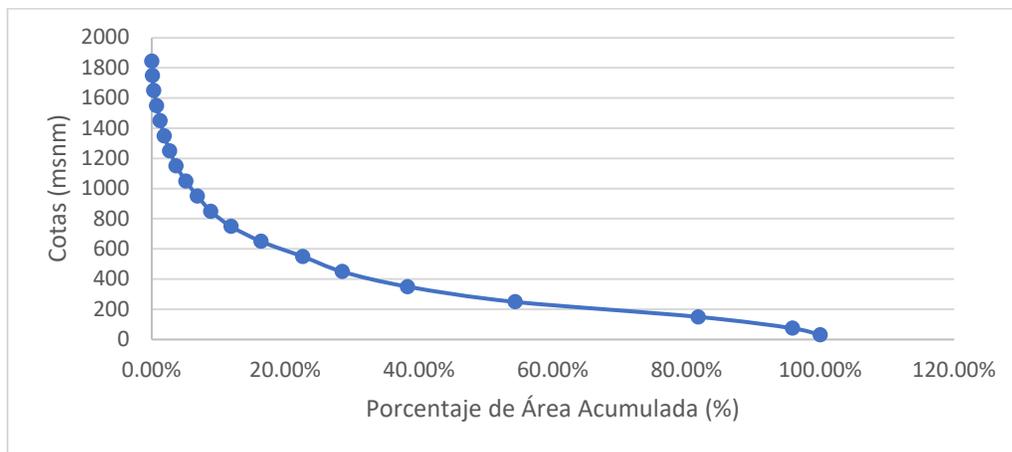


Figura 1-5. Curva Hipsométrica

Aproximadamente un 46% del área de la cuenca se encuentra por debajo de los 300 msnm, donde la franja de elevaciones entre los 100 y 200 msnm es la que abarca una mayor cantidad de terreno. Además, como se puede observar del Cuadro 1-3 la media de elevación está en 330 msnm.

Según Serrano (2016), de los resultados del histograma y la curva hipsométrica se concluye que la subcuenca tiene formaciones de cumbres escarpadas en su parte alta y valles extensos en su parte media y baja. Lo anterior sumado a la longitud del cauce principal evidencia la capacidad de amortiguación de la subcuenca ante eventos de precipitación.

De la curva hipsométrica se puede apreciar como la forma de la subcuenca es característica de una cuenca geomorfológicamente madura, lo cual es congruente con las características de la región (Serrano, 2016). Revisando las pendientes y el perfil del cauce principal se obtiene los siguientes resultados.

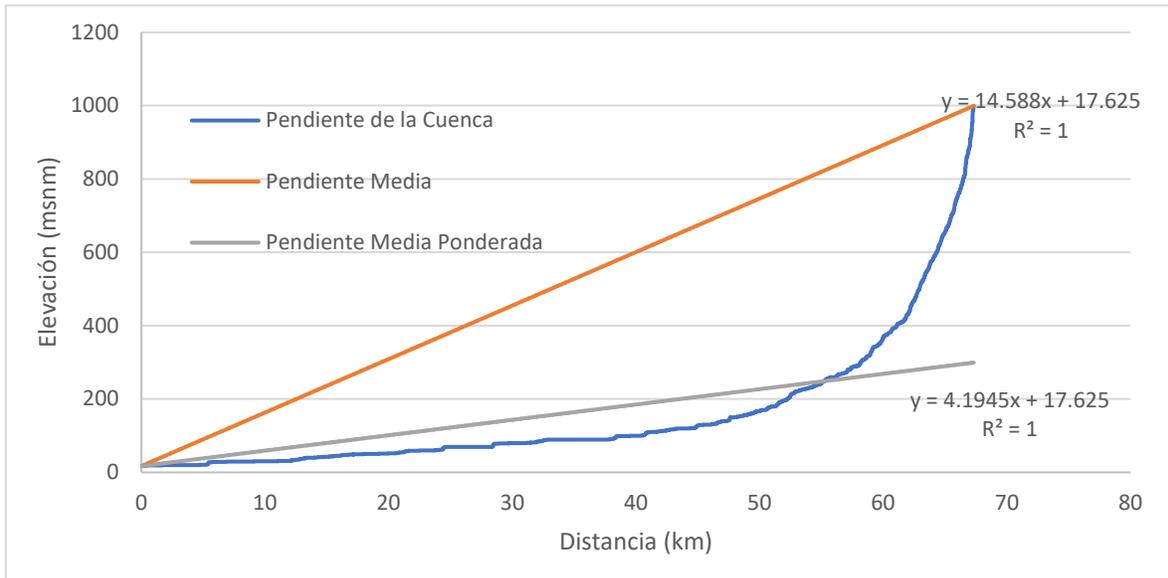


Figura 1-6. pendientes de la cuenca y cauce

Como se aprecia en el gráfico anterior la elevación máxima del cauce es de 1000 msnm, debido a que el río Tempisquito (inicio del cauce principal) nace en las faldas del Volcán Orosí. Tomando en cuenta el 0,42% de pendiente media ponderada y utilizando la fórmula de Kirpich se tiene un tiempo de concentración para la subcuenca de 13,95 horas.

Revisando el perfil de la subcuenca, a través del cauce principal, se confirma que en la parte alta predominan las cumbres escarpadas debido a la cordillera Volcánica de Guanacaste, luego, con forme se descienden en elevación, en su parte media y baja, la subcuenca cuenta con pendientes bajas debido a los valles extensos característicos de la sabana guanacasteca. Esta topografía caracteriza a la subcuenca como poco propensa a crecidas instantáneas y de drenaje lento. En el siguiente cuadro se presentan los parámetros de forma y de relieve de la subcuenca en estudio.

Cuadro 1-4. Parámetros de forma y de relieve de la subcuenca alta del río Tempisque

Parámetros	Unidad	Valor
Área de drenaje	A (km ²)	964,44
Perímetro de la cuenca	P (km)	161,35
Longitud total de los cauces de agua	Σ.L (km)	973,12
Longitud del cauce principal	L (km)	67,33
Forma de la cuenca		
-Índice de compacidad	I _G	1,47
-Factor de forma	K _f	0,21
Rectángulo equivalente		
-Lado mayor	L _{re} (km)	66,85
-Lado menor	I _{re} (km)	14,43
Elevación media de la cuenca	(msnm)	511,94
Elevación mediana de la cuenca	(msnm)	330,00
Elevación máxima de la cuenca	(msnm)	1890,00
Elevación mínima de la cuenca	(msnm)	17,00
Índice de pendiente	I _p	0,40
Pendiente media de la cuenca	(%)	1,46%
Pendiente del cauce principal		
-Pendiente media	S ₁ (%)	1,46%
-Pendiente media ponderada	S ₂ (%)	0,42%
-Pendiente de Taylor y Schwarz	S ₃ (%)	0,28%
Sistemas de drenaje		
-Número de orden		6
-Densidad de drenaje	D _d (km/km ²)	1,01

1.4. Características Geomorfológicas.

Meseta de Santa Rosa

Se extiende desde la frontera con Nicaragua hasta la ciudad de Cañas atravesando la cuenca alta del río Tempisque en dirección noroeste – sureste. (ver Figura 1-7). Es de origen volcánico y de acuerdo con Leitón (2011), cuenta con un patrón de cauces ligeramente rectangulares y con laderas verticales formados por la existencia de un sistema de fracturas de enfriamiento en el macizo. La meseta tiene una conformación escalonada producto de la existencia de unidades casi horizontales de ignimbritas, coladas de andesitas y basaltos. (Leitón, 2011)

Cordillera Volcánica de Guanacaste

Está conformada por una serie de macizos volcánicos ubicados al noreste del área de la subcuenca en estudio (ver Figura 1-7) en los que destacan los volcanes Rincón de la Vieja y Orosí. Estos poseen domos piroclásticos en su base, en los que destacan Cerro Gongora, San Roque y Cañas Dulces, con ubicación al sureste del Volcán Rincón de la Vieja, en algunos casos estas conformaciones presentan cráteres en su cima. Los ríos que bajan por sus laderas hacen en el contacto entre las distintas rocas y los espacios interfluviales son angostos. (Somarriba, 2003)

Llanura Aluvial del Río Tempisque

Se ubica en la margen derecha del río tempisque, Esta se extiende poco antes de la estación Guardia, desde la finca Monte Galán, hasta el golfo de Nicoya. Presenta un gradiente superficial de 1/600 y 1/800, con forma plana a ondulada, existen meandros y canales abandonados, lagos en herradura en toda la zona y malecones o diques formados por la acumulación de sedimento y materia de mayor tamaño. (Somarriba, 2003)

Península de Nicoya

Se ubica en la parte sureste se la zona de estudio (ver Figura 1-7), es una de las formaciones con mayor antigüedad de la región. En su mayoría formada por basaltos, data del periodo Cretácico y en conjunto con la península de Santa Elena conforman un complejo ofiolítico. (Leitón, 2011)

En el mapa de la siguiente figura se puede ver la distinguir cada una de estas formaciones geomorfológicas y como están ubicadas a lo largo del área de la subcuenca alta del río Tempisque.

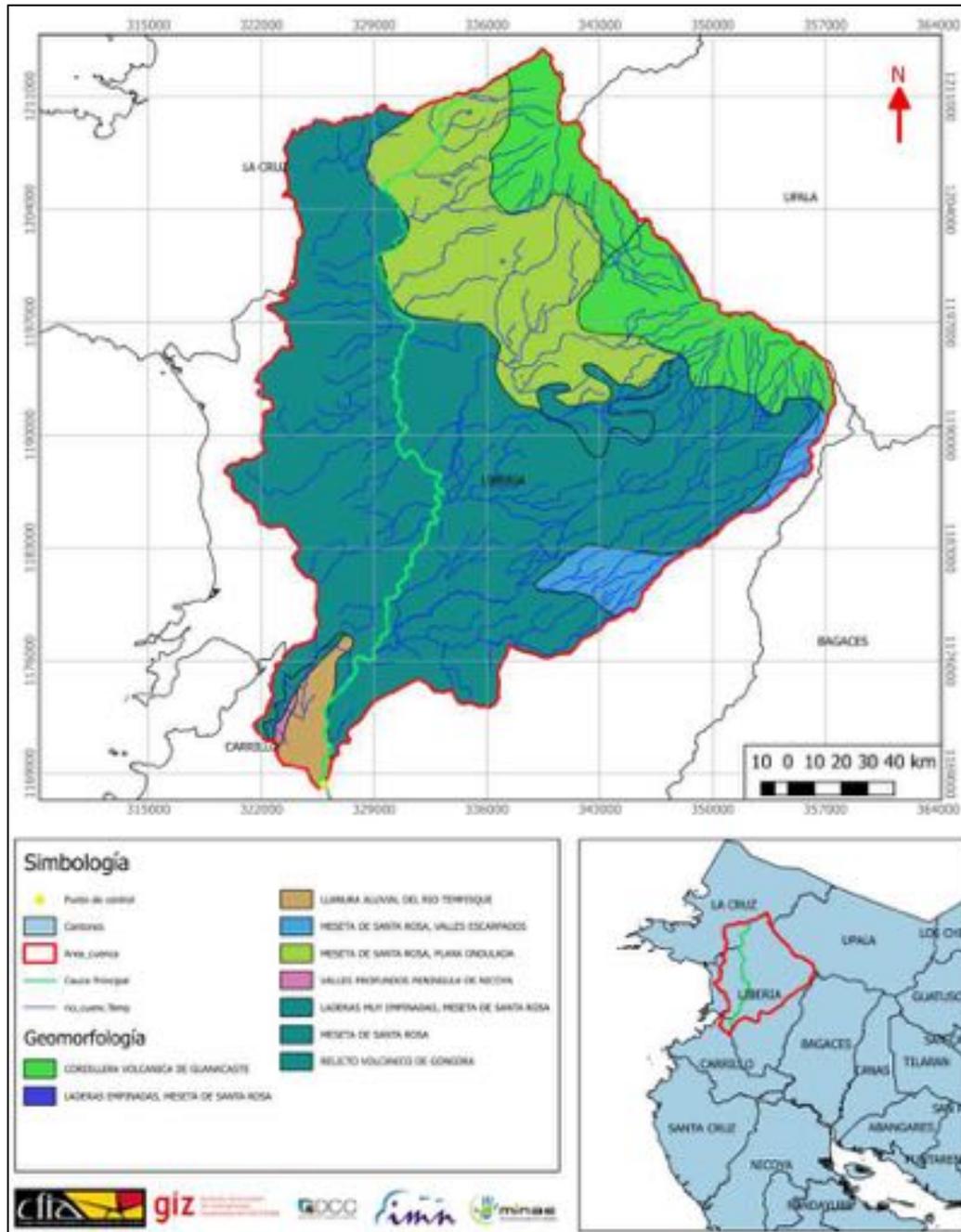


Figura 1-7. Geomorfología que conforma la subcuenca alta del río Tempisque
Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

Cuadro 1-5. Distribución porcentual de la formación geomorfológica en el área de la subcuenca

Nombre	Área (km)	% Área
CORDILLERA VOLCANICA DE GUANACASTE	130,7	13,55%
LADERAS MUY EMPINADAS, MESETA DE SANTA ROSA	4,14	0,43%
LLANURA ALUVIAL DEL RIO TEMPISQUE	19,01	1,97%
MESETA DE SANTA ROSA, PLANA ONDULADA	178,84	18,54%
MESETA DE SANTA ROSA, SUB UNIDAD PLANA	580,97	60,24%
MESETA DE SANTA ROSA, VALLES ESCARPADOS	30,46	3,16%
RELICTO VOLCANICO DE GONGORA	18,81	1,95%
VALLES PROFUNDOS DE LA PENINSULA DE NICOYA	1,53	0,16%
Total	964,5	100,00%

1.5. Caracterización del Suelo

Tipo de Suelo

En el Cuadro 1-6 se muestra los tipos de suelos que conforman la subcuenca alta del río Tempisque, donde el 95,9% del área está formada por entisoles e inceptisoles. En el mapa de la Figura 1-8 se puede ver la distribución de los tipos de suelo en toda el área de la subcuenca en estudio.

Cuadro 1-6. Tipo de suelo de la subcuenca alta del río Tempisque

Origen	Área (km)	% Área
ALFISOLES	0,25	0,03%
ENTISOLES	326,03	33,80%
ENTISOLES / INCEPTISOLES	59,52	6,17%
INCEPTISOLES	539,41	55,93%
MOLLISOLES	14,63	1,52%
9VERTISOLES	24,63	2,55%
Total	964,5	100,00%

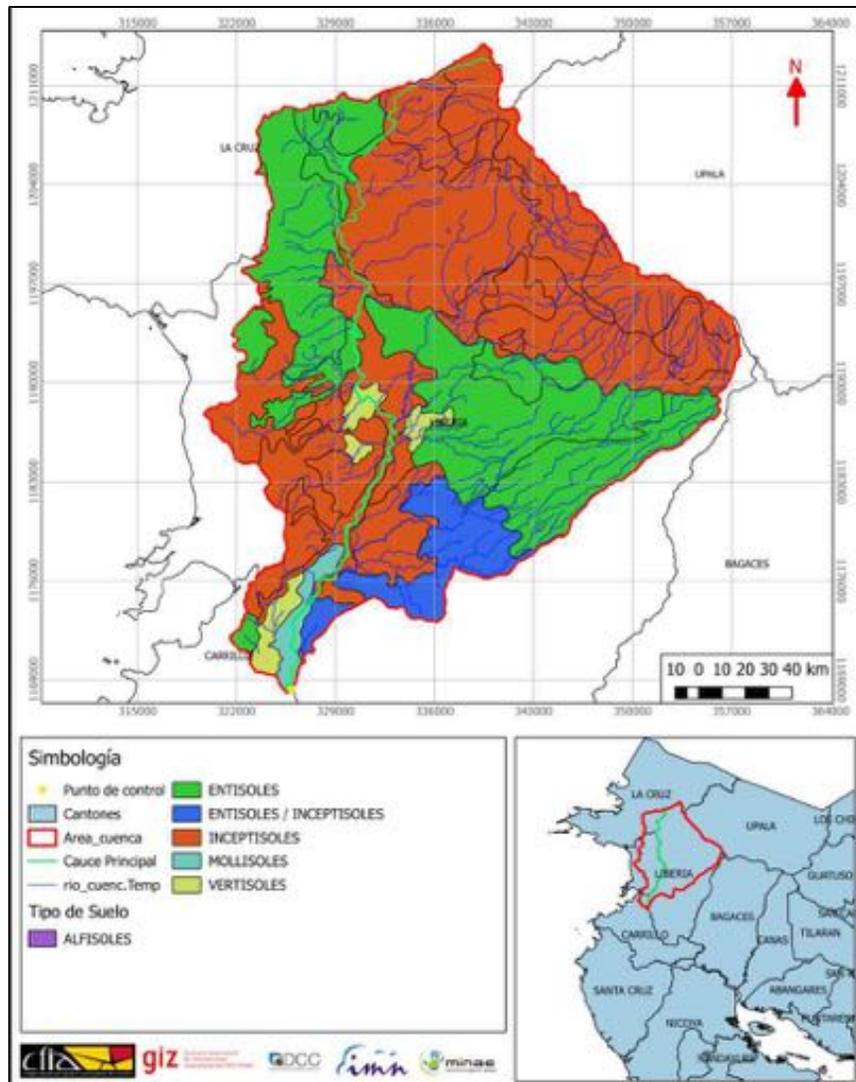


Figura 1-8. Tipos de suelo para subcuenca alta del río Tempisque
Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

El pacífico norte de Costa Rica es una zona rica en ecosistemas donde predominan los suelos inceptisoles, alfisoles, y entisoles. En la planicie, de constitución aluvial, se encuentran suelos fértiles, donde predomina la agricultura y producción de carne de carácter extensivo. (IMN, 2008)

Según se aprecia en la figura anterior, los inceptisoles son el tipo de suelo más común de la zona, con una cobertura entre el 56% y el 62%. Abarca tanto el terreno de la planicie como la parte alta de la subcuenca (Cordillera Volcánica de Guanacaste), se caracterizan por ser de textura variable, son arcillas moderadamente finas a finas y con profundidades entre los 20 y 100 cm de origen aluvial y de alta fertilidad. (Chinchilla, Mata, & Alvarado, 2011)

Los entisoles son el segundo tipo de suelo más común en la subcuenca, se ubican en la parte noroeste y sureste, con una cobertura entre el 33,8% y 39,9% del total de área de la subcuenca. Son suelos sedimentarios formados por el transporte y depositación de arcillas a causa de las inundaciones de la zona. (Chinchilla, Mata, & Alvarado, 2011)

Los alfisoles son uno de los suelos más viejos de país, además son suelos con minerales que los hacen productivos y húmedos, son profundos y se presentan en los ambientes más secos de la región, con origen arcilloso y una condición física excelente, en particular, en lo que a drenaje se refiere. (MAG, 2018)

Los molisoles y los vertisoles se ubican en la parte baja y sur de la subcuenca. Los molisoles son suelos profundos, oscuros, de estructura granular, con alto contenido de materia orgánica. Los vertisoles por su parte están formados en su totalidad por arcillas expansivas, con un drenaje deficiente y con presencia de agrietamiento en época. En Costa Rica También se conocen como "sonsocuitles". Se ubican en la parte baja de la subcuenca y debido a sus características de arcilla expansiva y al constante agrietamiento, están relacionadas con la variación de los desbordes del río Tempisque. (Alvarado, Mata, & Chinchilla, 2013)

Uso del Suelo

En el Cuadro 1-7 se muestra la clasificación del uso del suelo, para el área en estudio y su distribución se puede observar en la Figura 1-9. El mayor porcentaje de área está ocupada por el bosque secundario y bosque maduro con 38,87% y 25,23% respectivamente. Los pastizales también representan un porcentaje alto del uso de suelo con un 22,1%, esto se debe a que una de las actividades principales en la zona es la ganadería.

Cuadro 1-7. Uso de Suelo de la Subcuenca alta del río Tempisque

Cobertura	Área (km)	% Área
Áreas quemadas	2,44	0,25%
Áreas Urbanas	4	0,41%
Bosque maduro	243,42	25,23%
Bosque secundario	374,96	38,87%
Charral y tacotal	12,47	1,29%
Cuerpos de agua	4,01	0,42%
Cultivo permanente	29,18	3,03%
Cultivos anuales	25,77	2,67%
Manglar	0,45	0,05%

Cobertura	Área (km)	% Área
Nubes y sombras	26,33	2,73%
Pastos	213,09	22,09%
Plantaciones forestales	0,6	0,06%
Terreno descubierto	27,86	2,89%
Uso mixto	0,04	0,00%
Total	964,5	100,00%

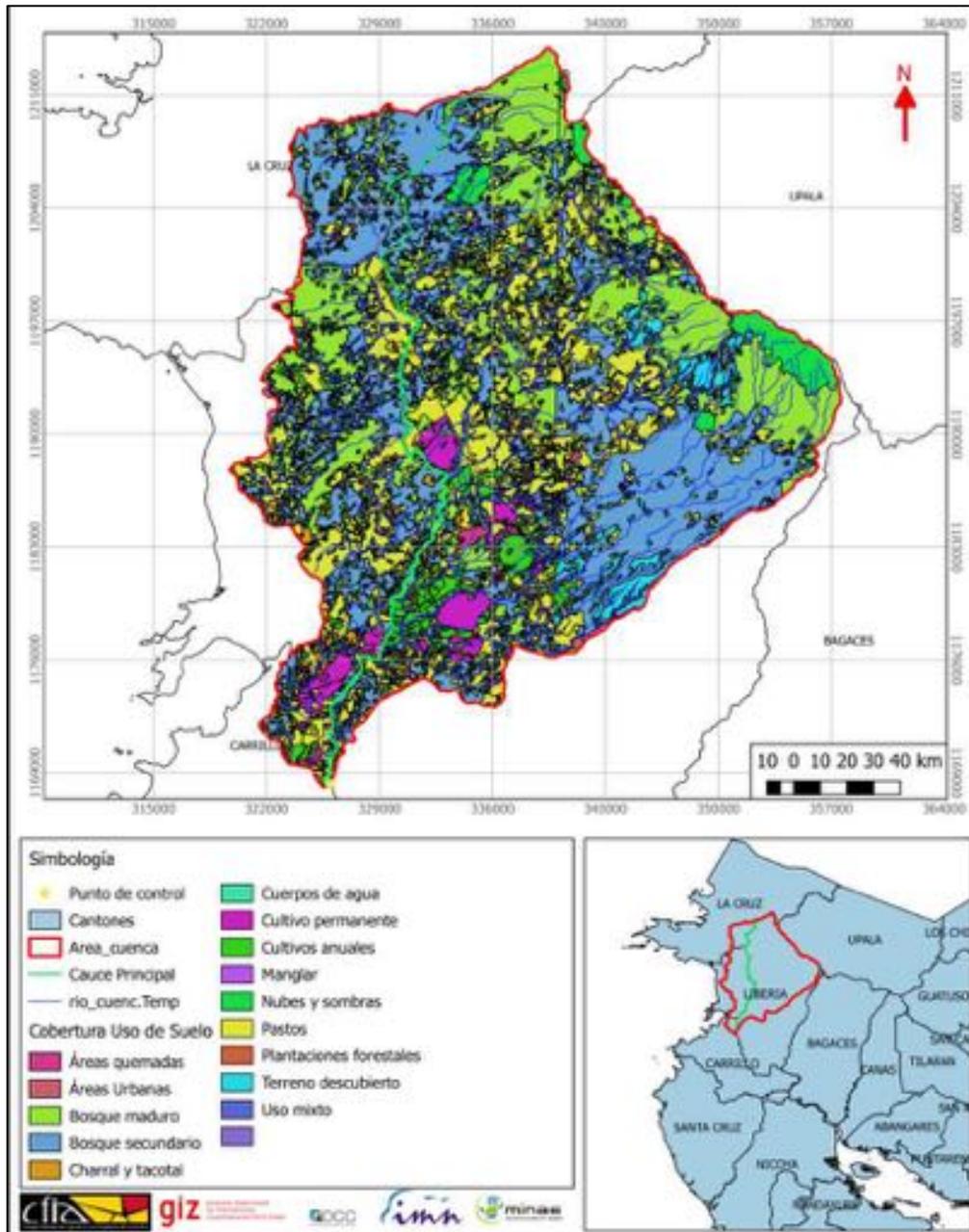


Figura 1-9. Uso de suelo para la subcuenca alta del río Tempisque
Fuente: (IMN, 2012)

1.6. Características del clima

Características climáticas de la zona

La subcuenca en estudio está ubicada en la región del Pacífico Norte, la cual se caracteriza por poseer una época seca y una lluviosa bien definidas. La seca se extiende de diciembre hasta el mes marzo, siendo Abril un mes de transición. Lo contrario sucede con el inicio de la época lluviosa. Este período va de mayo hasta octubre, donde noviembre un mes de transición. Se presenta una disminución relativa de la cantidad de lluvia durante los meses de julio y agosto (donde se presenta el "veranillo" o "canícula"). Los meses más lluviosos son setiembre y octubre debido a la influencia de los sistemas ciclónicos, los vientos Monzones provenientes del océano Pacífico ecuatorial y las brisas marinas, causantes de las lluvias intensas cuando unen su efecto a las barreras orográficas. (IMN, 2008)

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en esta región se puede resaltar las siguientes unidades fisiográficas:

Unidad Continental: Constituida por la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán, presenta una altitud media de 100 msnm, una precipitación anual de 2200 mm y temperaturas de 25 C° durante el día y 17 C° durante la noche.

Unidad Peninsular: Es la parte oeste de la región (Penínsulas de Santa Elena y Nicoya), una altura media de 1700 msnm, Temperaturas de 32 C° para el día y 22 C° para la noche y precipitación anual de 1700 mm.

Unidad de depresión del río Tempisque: Ubicada en la parte central del Pacífico Norte, es una zona llana en su mayoría, con una elevación media de 30 msnm, precipitación anual de aproximadamente 1900 mm y temperaturas entre los 33 y 22 C° durante el día y la noche

Zona de Convergencia intertropical (ZCIT)

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) es un cinturón de baja presión ubicado en la región ecuatorial del planeta, formado por la convergencia de aire cálido y húmedo debido a los vientos de los hemisferios norte y sur. La ZCI es uno del factor influyente en el régimen de precipitación del Pacífico, principalmente hacia el sur del país. Puede desplazarse hasta alcanzar parte de nuestro territorio. Las lluvias ocurren predominantemente durante la tarde y primeras horas de la noche. (IMN, 2008)

Con el desplazamiento de la ZCIT hacia el sur deja a la región bajo la influencia de los vientos alisios y la deja sin lluvias (inicio de la época seca), cuando se desplaza hacia el norte, el consecuente aumento de los vientos del suroeste provoca junto a otras condiciones el inicio de la época lluviosa en la región. (IMN, 2008)

Zonas de Vida

En la Figura 1-10 y en el Cuadro 1-8 se muestra la distribución de las distintas zonas de vida en el área de la subcuenca en estudio, basado en el las capas vectoriales de zonas de vida Holdridge del Atlas del Instituto Tecnológico Costarricense.

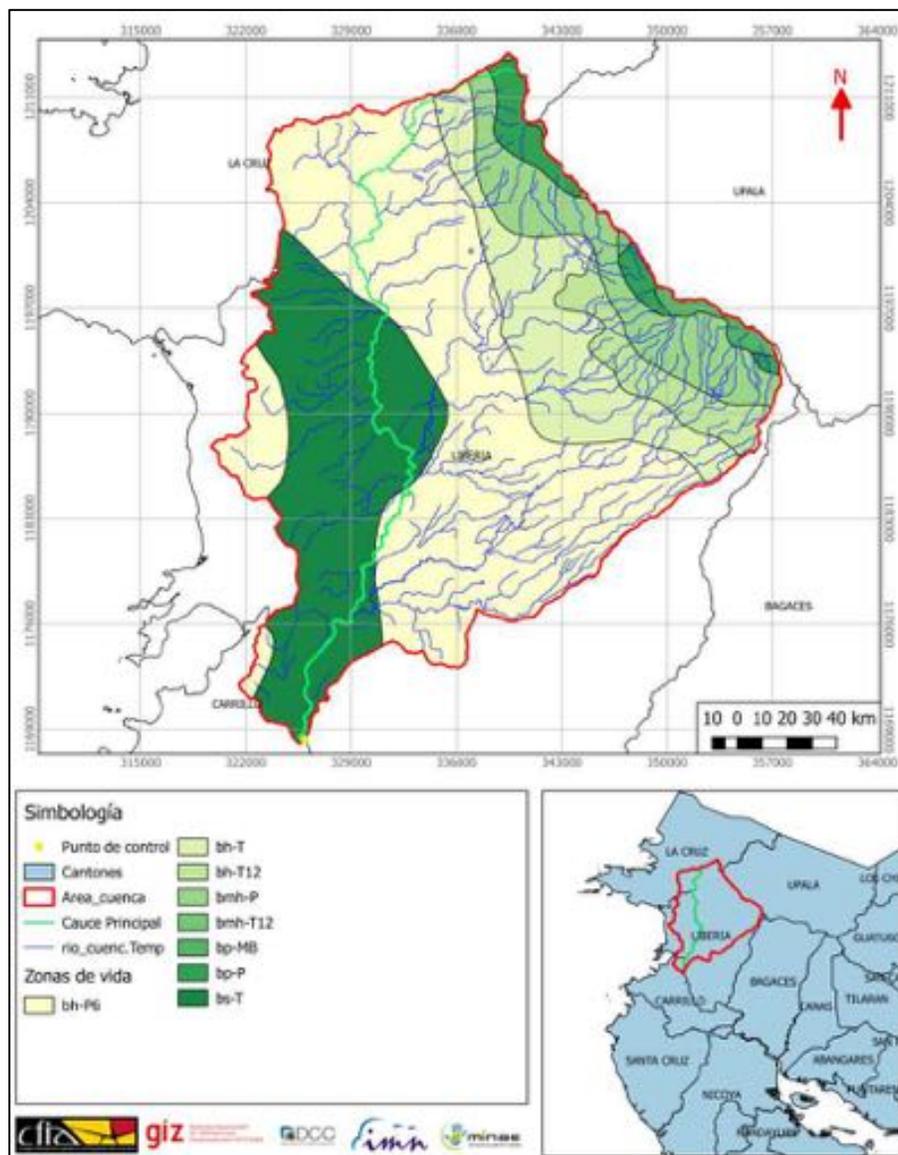


Figura 1-10. Zonas de Vida de la Subcuenca alta del río Tempisque
Fuente: (Atlas,TEC, 2008)

Cuadro 1-8. Zonas de distribución de las distintas zonas de vida en el área de la subcuenca alta del río Tempisque

Zona	Nombre	Área (km)	% Área
bh-P6	BOSQUE HUMEDO PREMONTANO TRANSICION A BASAL	442,35	45,87%
bh-T	BOSQUE HUMEDO TROPICAL	121,33	12,58%
bh-T12	BOSQUE HUMEDO TROPICAL TRANSICION A PREMONTANO	41,9	4,34%
bmh-P	BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO	87,74	9,10%
bmh-T12	BOSQUE MUY HUMEDO TROPICAL TRANSICION A PREMONTANO	1,22	0,13%
bp-MB	BOSQUE PLUVIAL MONTANO BAJO	9,92	1,03%
bp-P	BOSQUE PLUVIAL PREMONTANO	27,16	2,82%
bs-T	BOSQUE SECO TROPICAL	232,82	24,14%
Totales		964,5	100,00%

Para la subcuenca en estudio, las estribaciones del volcán Rincón de la Vieja es del tipo bosque pluvial montano bajo, conforme se disminuye gradualmente en elevación, la categorización pasa a ser del tipo bosque pluvial premontano, luego se localiza una franja de bosque húmedo tropical transición a premontano. (IMN, 2011)

Para la parte media de la cuenca la clasificación pasa a ser del tipo bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano transición a basal, la parte baja de la cuenca está cubierto por bosque seco tropical y transición a húmedo, así como bosque húmedo tropical transición a seco y bosque húmedo tropical. (IMN, 2011)

Bosque húmedo premontano transición a basal (bh-P6)

Comprende un 45,87% del área total de la subcuenca, el rango de precipitación varía entre los 2000 y 4000 mm anuales, con una biotemperatura con un rango de 18 a 24 C°. (Leitón, 2011).

Bosque húmedo Tropical (bh-T) y transición a premontano (bh-T12)

Abarca un porcentaje de área total alrededor del 16,92 %, con precipitaciones medias entre los 2000 y 4000 mm de lluvia anual, la biotemperatura en estas zonas se encuentra entre los 24 y 30 C°. (Somarriba, 2003)

Bosque muy húmedo premontano (Bmh-P)

Con una biotemperatura que oscila entre los 18-24 C°, presenta condiciones más favorables para los asentamientos humanos que el bh-T o el bh-T12, ya que la precipitación es abundante, mas no excesiva, esto para el mismo rango de precipitación media entre 2000-4000 mm anuales. (Somarriba, 2003)

Bosque muy húmedo tropical con transición a premontano (bmh-T12)

Este bioclima se presenta al costado este de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, presenta algunas limitaciones debido al exceso de precipitación, con una media anual entre los 4000 y 8000 mm, con una biotemperatura similares a los demás bioclimas, rango entre 24-30 C°. (Somarriba, 2003) y (Leitón, 2011)

Bosque pluvial montano bajo (bp-MB)

Este bioclima se ubica en la cumbre y compas de los cerros de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, su precipitación media anual supera los 8000 mm y la biotemperatura oscila entre los 12-18 C°, lo que la hace muy difícil para el desarrollo humano. (Somarriba, 2003)

Bosque pluvial premontano (bp-P)

Este clima se presenta en la cercanía de los conos volcánicos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, su precipitación y temperatura es similar al del bosque pluvial montano bajo (bp-MB). (Leitón, 2011)

Bosque seco Tropical (bs-T)

Es el bioclima con el menor registro de precipitación media anual, un rango entre los 1000-2000 mm, con una biotemperatura entre los 24-30 C°. se ubica a lo largo de la margen derecha del río Tempisque en el sector oeste y parte baja de la subcuenca. (Leitón, 2011)

Fenómeno Enos

Para comprender el fenómeno ENOS es fundamental tener un panorama general del comportamiento temporal y espacial de las temperaturas superficiales y subsuperficiales de las aguas ecuatoriales del Océano Pacífico. Dichas temperaturas modifican sus valores, tanto espacial como temporalmente, año tras año. (IMN, 2018)

Las áreas abarcadas por estos fenómenos pueden ser mayores o menores, por lo es muy variables y poco predecible ya que dependen de la intensidad del fenómeno, el cual puede ser débil, moderado, fuerte y muy fuerte. (IMN, 2018)

El ENOS debe conceptualizarse como un fenómeno periódico y recurrente, parte de la variabilidad climática, con una frecuencia de ocurrencia que va entre 2 a 4 años. En la historia meteorológica hay varios ejemplos de la ocurrencia consecutiva de ambas fases (en la Figura 1-11, se puede observar las distintas fases del Fenómeno Enos a lo Largo de la historia, reciente.). Si las fases no son consecutivas no se cumple el ciclo ENOS como ciclo, únicamente una de las fases que los constituyen. (IMN, 2018)

Para el pacífico norte (zona donde se ubica la subcuenca en estudio), la recurrencia del fenómeno Enos provoca la presencia de extremos tanto secos como lluviosos, los cuales afectan a la sociedad, a la industria agropecuaria y ganadera. Según el IMN (2008) para Liberia se han registrado déficit de hasta un 26% de lluvia para la época seca y un excedente de 36% para la época lluviosa. Este excedente se registra en los meses de Setiembre y Octubre (meses relacionados con la presencia de ciclones y demás eventos hidrometeorológicos lluviosos que impactan la zona). (IMN, 2008)

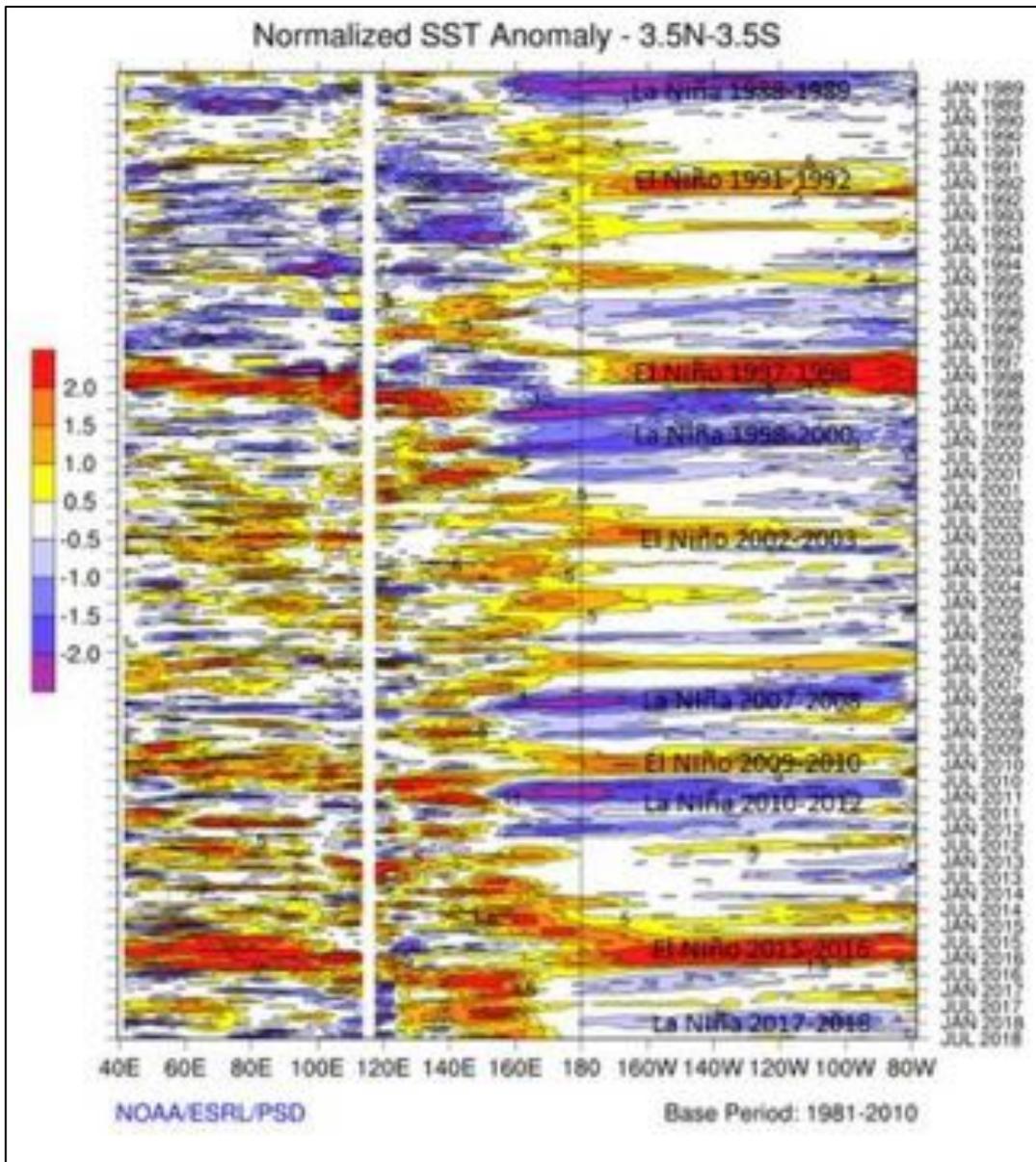


Figura 1-11. Historial de Fases del Fenómeno Enos
 Fuente: (IMN, 2018)

Tomando en cuenta las condiciones y características de la subcuenca en estudio y lo conocido hasta el momento sobre la afectación del puente sobre el río Tempisque ubicado en la comunidad de Guardia, Ruta 21, Liberia, Guanacaste, en el mes de octubre del 2007, donde el río Tempisque alcanzó la losa del rodamiento. Se decide corroborar y analizar los registros históricos de lluvia y caudal de las estaciones existentes en la zona, para entender y establecer las distintas condiciones hidrometeorológicas que se deben dar para que un evento como este suceda.

2. Estudio de las estaciones de precipitación

De la información revisada hasta el momento, se cuenta con el registro de 11 estaciones medidoras de precipitación cuya información se muestra en el siguiente cuadro, donde se puede apreciar las coordenadas de cada una y su punto de elevación en msnm.

Cuadro 2-1 Datos de las estaciones

Estación		Coordenadas CRTM-05		Elevación		
Cuenca	Estación	x	y			
74	20	331501.62	1172335.64	Altitud.	80	m.s.n.m.
74	51	330137.36	1171309.75	Altitud.	70	m.s.n.m.
74	21	332257.43	1177618.08	Altitud.	50	m.s.n.m.
74	7	328571.80	1176222.74	Altitud.	60	m.s.n.m.
74	12	337709.94	1179865.79	Altitud.	100	m.s.n.m.
74	10	337745.40	1187241.55	Altitud.	100	m.s.n.m.
74	19	348694.28	1189034.43	Altitud.	520	m.s.n.m.
74	57	344145.14	1191022.10	Altitud.	325	m.s.n.m.
74	33	345081.79	1196426.64	Altitud.	580	m.s.n.m.
74	4	335985.21	1200158.11	Altitud.	366	m.s.n.m.
72	106	323095.93	1198718.12	Altitud.	315	m.s.n.m.

Fuente: (Datos, IMN, 2018)

Del cuadro anterior se puede observar que la mayoría de las estaciones medidoras de precipitación están ubicadas a en elevación menor a los 400 msnm, por lo que no se cuenta con un punto de medición en la parte más alta de la subcuenca, lo que es de esperarse, debido a que los puntos más altos pertenecen a las cumbres escarpadas y compas volcánicas de la Cordillera Volcánica de Guanacaste y son sitios de difícil acceso.

Con las coordenadas se ubican las estaciones para ver su distribución a lo largo del área de la subcuenca en estudio, los resultados se muestran en los mapas de las siguientes figuras, donde se puede observar la ubicación de las estaciones sobre el modelo de elevación y su cercanía con los distintos afluentes de la subcuenca.

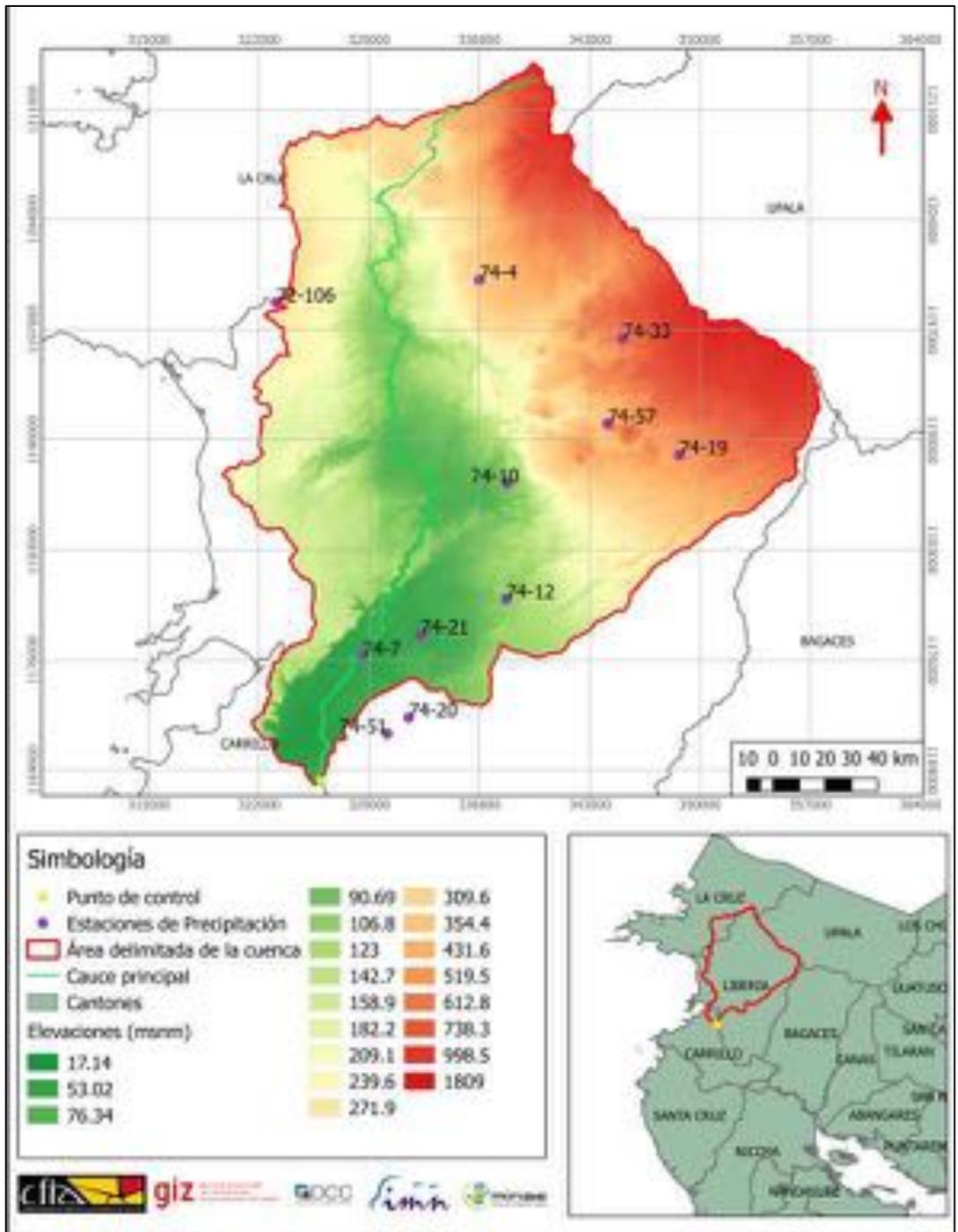


Figura 2-1. Mapa de ubicación de las estaciones en el sistema de elevación de la subcuenca
Fuente: (Datos, IMN, 2018)

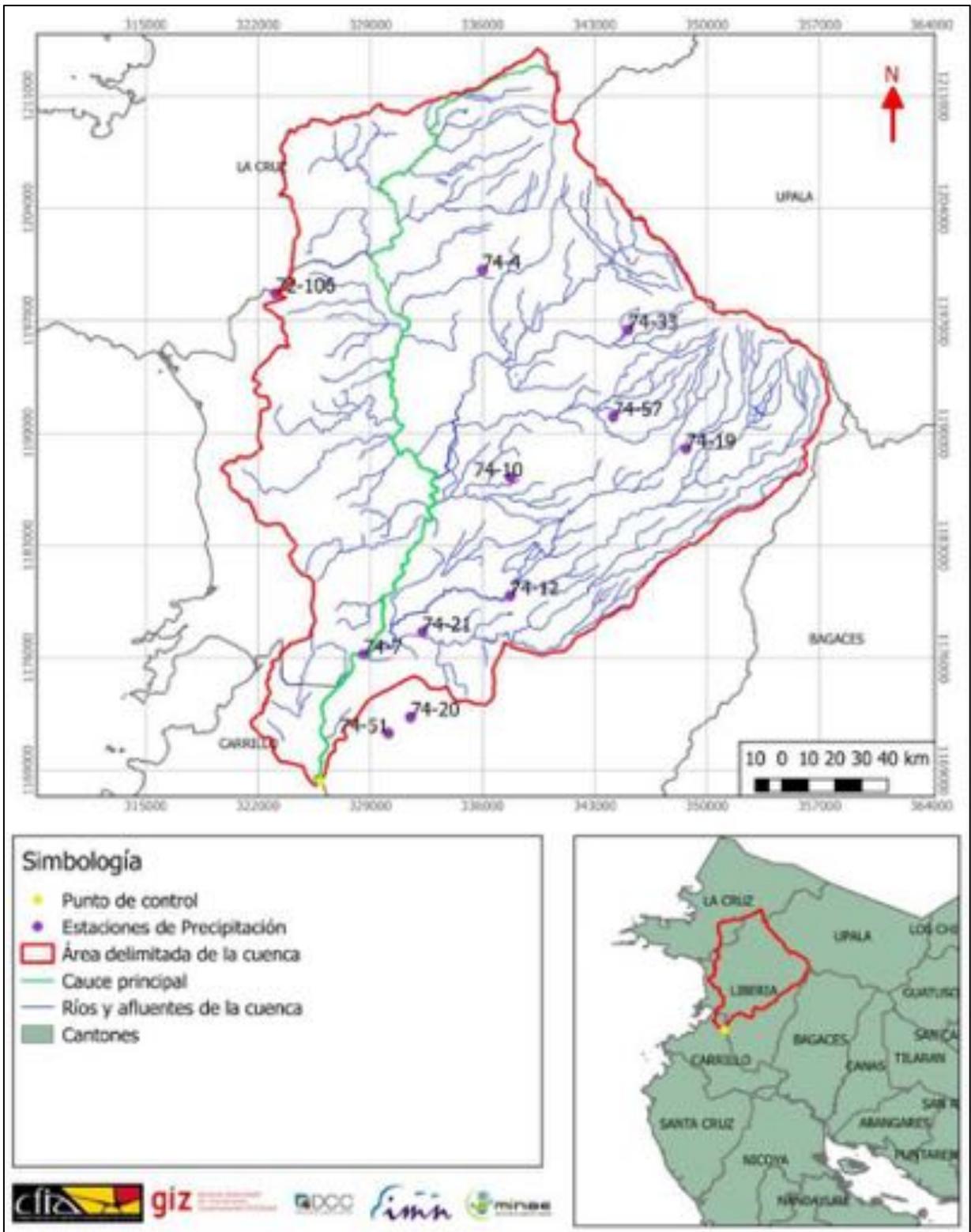


Figura 2-2. Mapa de ubicación de las estaciones en los distintos cauces de la subcuenca
Fuente: (Datos, IMN, 2018)

Realizando una revisión a groso modo, en el mes de octubre del año 2007 (fecha de donde parte la investigación), del día 13 al 19 se registró un sistema de baja presión, con lluvias intensas en Liberia, Guanacaste, provocando un extenso temporal que impactó la región y esto se ve reflejado en la crecida y desbordamiento del río Tempisque (IMN, 2007).

Revisando la estación 74-20 del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), ubicada en el aeropuerto internacional Daniel Oduber, se registró un acumulado de precipitación del 15 al 19 de octubre del 2007 superior a los 300 mm.

El umbral anterior está relacionado con el evento lluvioso extremo registrado el 15 de octubre de 2007, donde se tiene conocimiento de que hubo un cierre temporal del paso sobre el puente en Guardia Ruta 21 (Liberia, Guanacaste), inhabilitando la operación y función de la infraestructura. Además, para esa misma fecha, se presentaron inundaciones en los poblados de Guardia, Comunidad, Palmira y Filadelfia.

Por lo tanto, se decide revisar las demás fechas del registro de la estación 74-20 y los registros de las restantes 10 estaciones que se encuentran ubicadas a lo largo del área de la subcuenca, con el fin conocer la existencia de umbrales y acumulados de precipitación similares a los del mes octubre del 2007 y su relación con la afectación a la infraestructura del puente en Guardia, debido a crecidas del río Tempisque.

Por otra parte, se desea conocer la relación de estos eventos con fenómenos meteorológicos, para poder así proyectar los efectos del cambio climático sobre estos fenómenos y la afectación sobre la infraestructura actual o bien sobre un nuevo diseño, con el fin de tomar medidas para generar una obra resiliente.

2.1. Metodología del análisis de las estaciones

Para revisar en cada estación umbrales de 8-5 días continuos con acumulados de precipitación de 300 mm, se realiza el siguiente procedimiento, tomando de ejemplo la estación 74-20, ubicada en la parte baja de la subcuenca, específicamente en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber.

Procedimiento para el análisis de las estaciones medidoras de precipitación:

1. Se filtran del archivo original, facilitado por el IMN, los datos de cada año por separado.
2. Se revisa la existencia de datos negativos (-8 y -9) y se descartan del análisis.

El descarte de estos datos negativos se realiza debido a que representan anomalías o pérdidas en el registro debido a:

- Una posible "descalibración" de los sensores de la estación.
- Una desconexión de la estación con la unidad que registra los datos.
- Un mal proceso de recopilación de datos.
- Daños a la estación (una descarga eléctrica, pérdida de la fuente de electricidad, pérdida del equipo por robo o avería)
- Entre otras posibles causas.

Por lo tanto, estos datos pueden provocar ruido e incertidumbre en los resultados del análisis.

Si bien se pueden utilizar métodos para aproximar datos con ayuda de los registros de otros años para una misma estación, las aproximaciones pueden generar también incertidumbre en el análisis, ya que se estaría tomando en cuenta aproximaciones y no datos reales.

Al tener un amplio registro y al ser tan pocos los datos que presentan estas anomalías se decide descartar los registros negativos, además, al considerar solo datos reales se logra un mejor análisis (sin aproximaciones o suposiciones).

3. Se realizan los acumulados de cada mes y se calcula el total anual.
4. Estos acumulados mensuales se grafican para una mejor revisión. En la siguiente figura se muestra un ejemplo.

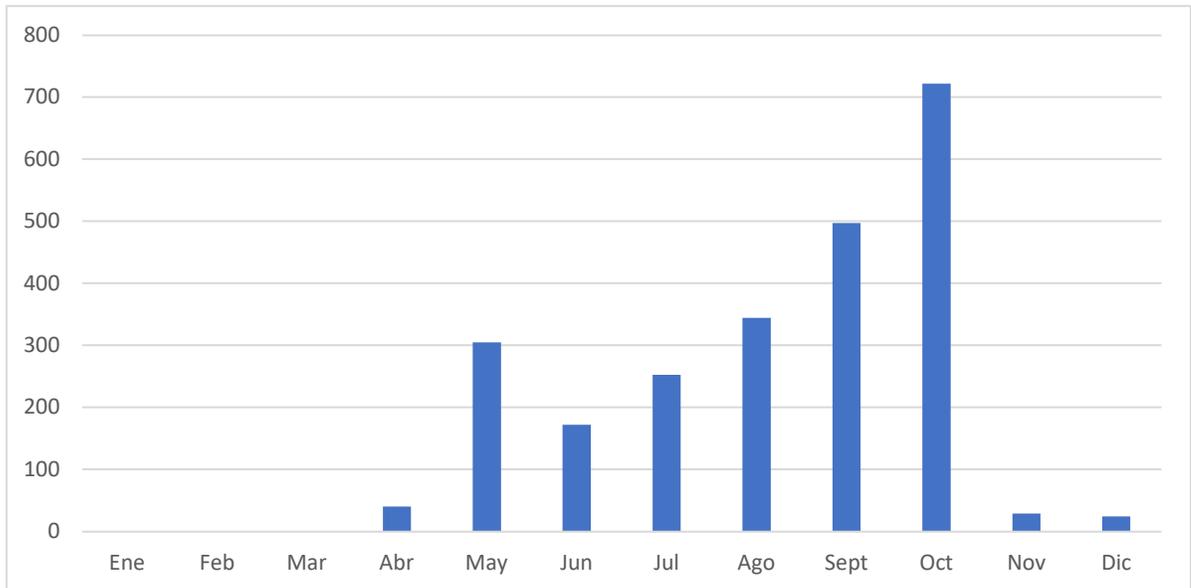


Figura 2-3. Totales mensuales de la precipitación, Estación 74-20, año 2007

5. De los acumulados mensuales se realizan una revisión de aquellos meses con un total de precipitación mayor o igual a 300 mm, para esto se crea un gráfico donde se muestra la distribución de precipitación a lo largo del mes. Un ejemplo de este gráfico se muestra en la siguiente figura.

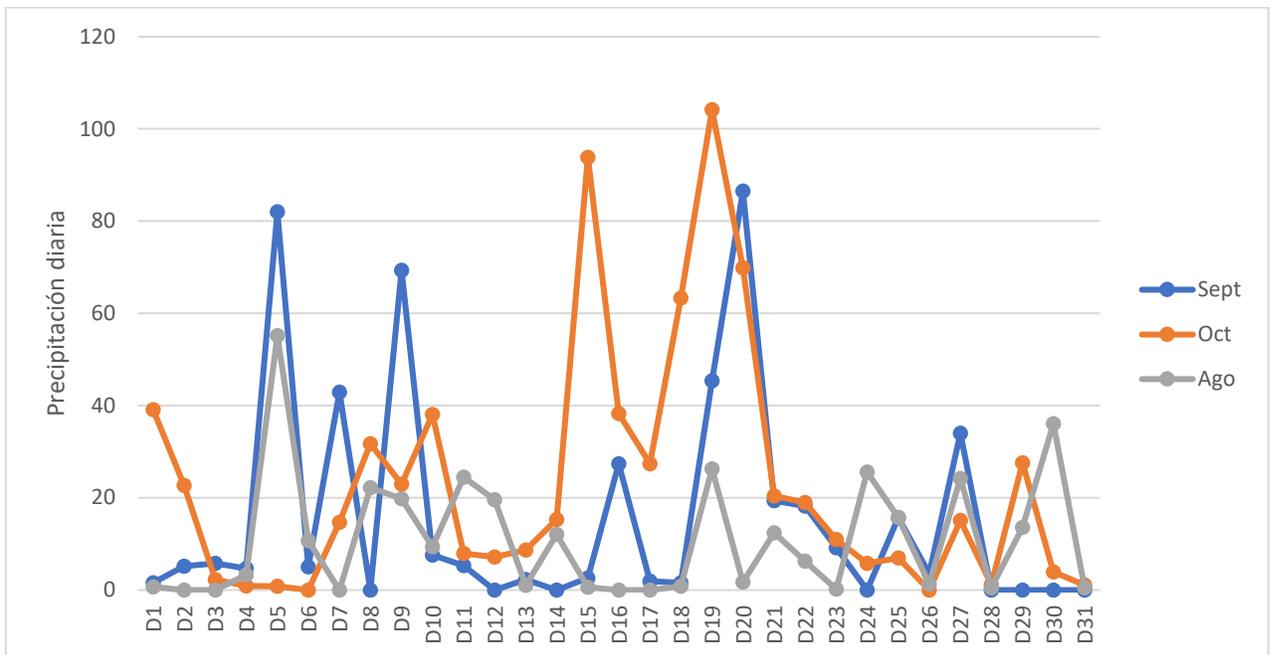


Figura 2-4. Precipitación diaria (mm), Estación 74-20 año 2007, mes de agosto, setiembre y octubre

6. Con ayuda del gráfico de la figura anterior se revisa, donde aproximadamente estaría el umbral de los 5 días, haciendo una identificación visual.

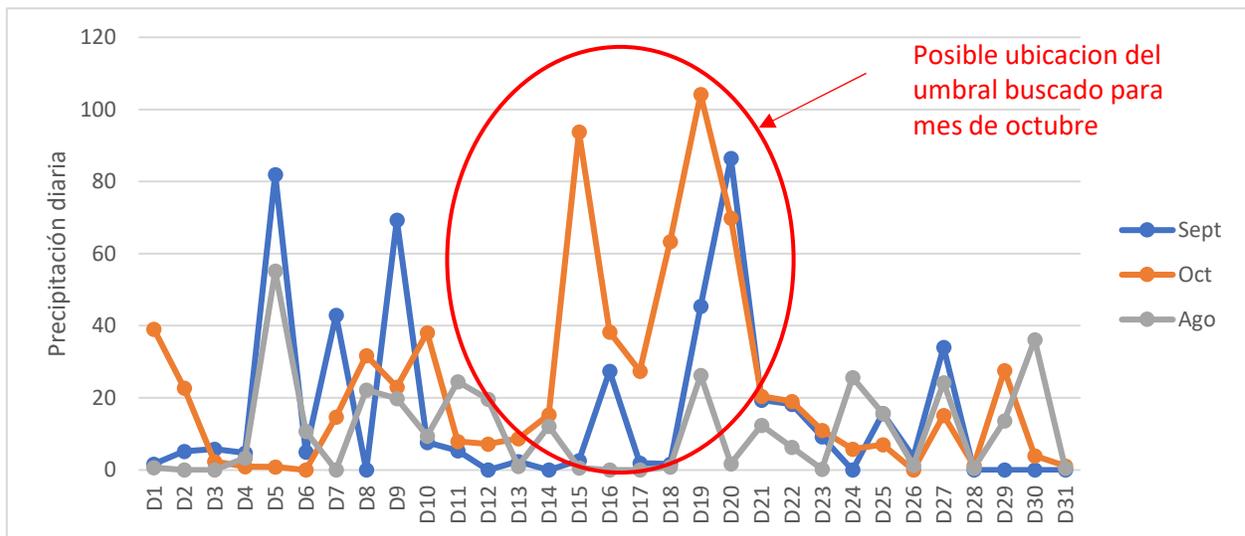


Figura 2-5. Ejemplo de la revisión visual estación 74-20 año 2007 para el mes de octubre

7. Con la revisión anterior se va a la tabla se datos y se ubica el umbral de precipitación de 5-8 días continuos, luego, la información se dispone en un recuadro (Cuadro 2-2) con la identificación respectiva del mes, día de inicio, día final del umbral, cantidad acumulada de precipitación en mm y la cantidad de días (entre 5 y 8). Esto se realiza para cada mes revisado, aunque este no cumpla al final con la acumulación de 300 mm. Ver ejemplo de este punto en el siguiente cuadro.

Cuadro 2-2. Cuadro para la inspección del umbral, estación 74-20 año 2007

Mes	Agosto	Septiembre	Octubre
Primer día	5	5	15
Ultimo día	12	9	19
Total de precipitación	161,4	212,1	327
Total de días	8	8	5

Al final solo se tomará en cuenta el mes que cumpla con todas las condicionantes del umbral, para este ejemplo el mes de octubre.

8. Una vez realizado este procedimiento para todos los años de la estación, se realiza un resumen donde se presentan los acumulados anuales en un gráfico como el siguiente.

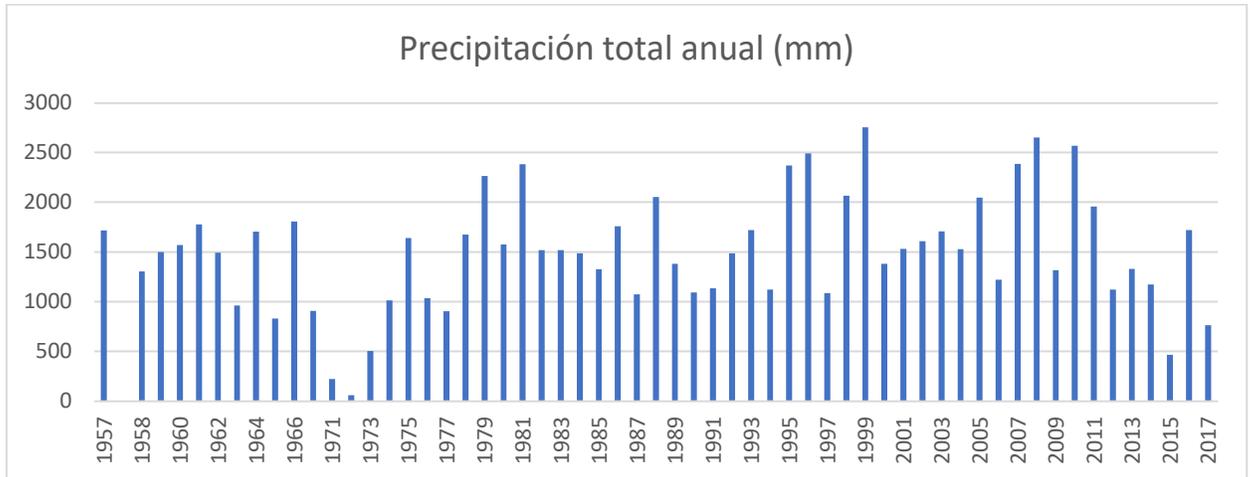


Figura 2-6. Precipitación anual acumulada para la Estación 74-20

9. se realiza una tabla resumen donde aparecen cada una de las fechas donde se cumple con el umbral, la diferencia de años entre cada fecha y el evento relacionado (ver Cuadro 2-3).

Cuadro 2-3. Resumen de los umbrales de precipitación para 5 días continuos con 300 mm, estación 74-20

Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Eventos Relacionados			Enos
					Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	
1981	Junio	1	5	303,1	-	Fuertes lluvias	-	-
1982	Mayo	23	27	328,6	-	Fuertes lluvias	-	-
1986	Mayo	23	27	447,8	-	Fuertes lluvias	-	-
1986	Junio	3	7	361,4	-	Temporal y fuertes lluvias desbordamiento del río Tempisque	-	-
1995	Octubre	3	8	311,4	Roxana (Oct-7 al Oct-21), Opal (Set-27 al Oct-5)	Temporal y fuertes lluvias (*)	Aguaceros que provocaron inundaciones debido a la fuerte inestabilidad atmosférica originada por el Huracán Opal, esto altera la posición habitual de la Zona de Confluencia intertropical (ZCIT). En Guanacaste se presentó un Temporal de 7 días catalogado como el más intenso de los últimos 35 años. Se suma además la afectación de la tormenta tropical N.17 provocando aguaceros de alta intensidad. Se requirió refugiar personas en filadelfia, se presentaron afectaciones en carreteras y puentes.	-

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos
2005	Septiembre	21	25	356,8	Rita (17-Set al 25-Set)	Temporal y fuertes lluvias desbordamiento del río Tempisque (*)	La duración del temporal fue entre los días 19 y 25 del mes, para una duración de 6 días donde se presentó la mayor cantidad de lluvias registrada en el mes, según la estimación satelital de lluvia en esta zona se presenta un acumulado entre los 200 y 300 mm. El temporal fue ocasionado por la intensificación de las corrientes monzónicas asociadas a la gran circulación ciclónica asociada con el huracán Rita y a la Zona de Convergencia Intertropical. se registró un total de 310 comunidades afectadas 247 carreteras con algún daño y 144 puentes con algún tipo de afectación y 4 personas Fallecidas.	Paso de niño a niña

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos
2007	Octubre	15	19	327	-	Temporal y fuertes lluvias	El sistema de baja presión afectó al país del 7 al 14 de octubre, generando un temporal de grandes impactos en el Pacífico Norte y el Pacífico Central. Esto provocó uno de los meses de octubre más lluviosos de los últimos años en Liberia. El 15 de octubre, el río Tempisque se desborda afectado a comunidades como Guardia y Filadelfia, el Puente en Guardia se ve afectado por la crecida del río, además se cancelaron vuelos en el Aeropuerto de Liberia. La afectación del temporal fue a lo largo de todo el país con víctimas mortales, afectación en varios puentes y carreteras, además de caídas de diques.	Niña moderada

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos
2008	Septiembre	2	6	335,2	Gustav (25-Agos al 4-set), Hanna (29-Agos al 8-Set), Ike (1-Sept al 14- Set)	Fuertes lluvias s(*), sistema de lluvias	El huracán produjo un severo temporal en el Pacífico Norte, especialmente en Guanacaste, entre el 2-5 de septiembre. Con acumulados de precipitación en Liberia de 184 mm y 121 mm para los días 3 y 4. Los efectos climáticos se sintieron con mayor intensidad en Guanacaste principalmente en los poblados de La cruz, Santa Cruz, Liberia y Nicoya. Los efectos sobre el país fueron provocados por una combinación de los ciclones donde la mayor afectación fue de Hanna e Ike, este último afectó principalmente la región central del país. En total se registraron 147 comunidades afectadas, múltiples cierres en carreteras y afectación en puentes.	Neutral

Eventos Relacionados								
Año	mes	Día inicial	Día Final	Precipitación acumulada (mm)	Ciclones con afectación directa o indirecta	sistemas de baja presión, temporales o fuertes lluvias	Eventos Específicos, Boletines del IMN	Enos
2008	Octubre	12	16	370,8	Omar (13-Oct al 18-Oct)	Fuertes lluvias (*), sistema de lluvias	En la zona Norte y Central se presentó un amplio sistema de baja presión del Pacífico sumado al paso de la Depresión Tropical 16 por Centroamérica. Estos fueron los sistemas sinópticos generadores de dos fuertes temporales que afectaron las regiones Norte y Central del país, la precipitación registrada en los primeros días del mes superó el registro histórico de los acumulados para el mes de Octubre. Además, en Costa Rica, la Depresión Tropical 16 ocasionó condiciones de temporal en el litoral Pacífico del 13 al 17 de octubre, el sistema indujo un aumento en las precipitaciones desde que era un sistema de baja presión. Se reportaron 486 comunidades afectadas con inundaciones, deslizamientos, afectación en puentes, carreteras, infraestructura y otros.	Neutral

(*) Está relacionado con los Ciclones

10. Por último, se hace un gráfico del cuadro anterior para una mejor lectura de los acumulados del umbral para cada fecha.

Cuando en un mismo mes se registra más de un umbral se utiliza la siguiente identificación:

- Setiembre I: Primer umbral registrado en el mes de Setiembre.
- Setiembre II: segundo umbral registrado en el mes de Setiembre.
- Y así para los demás registros, con el consecutivo de números romanos.

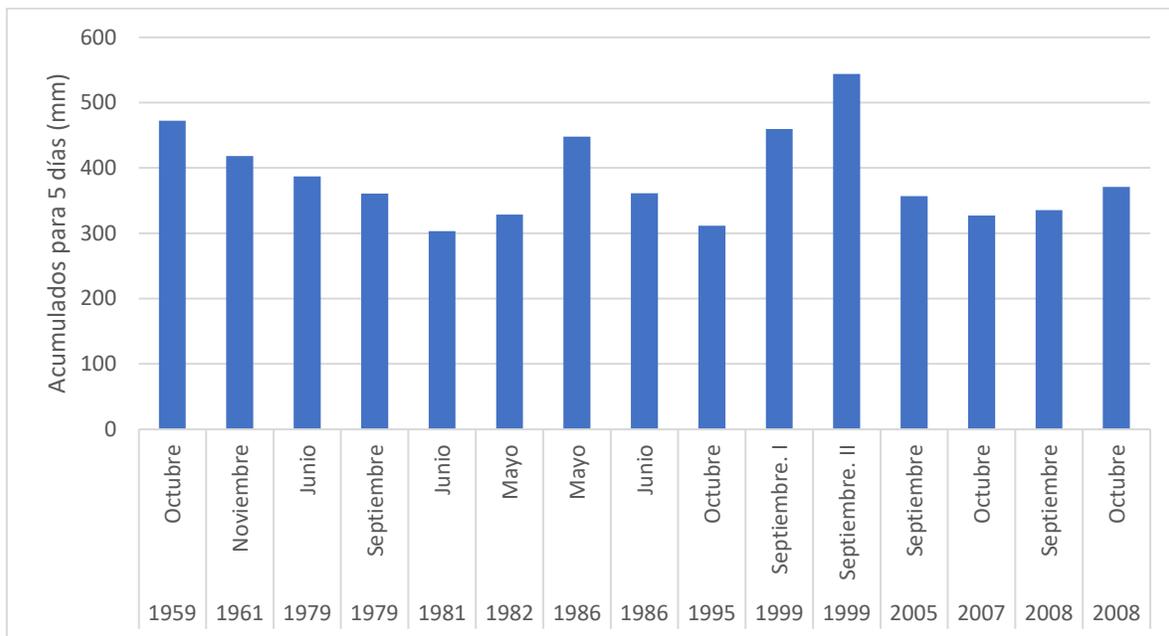


Figura 2-7. Umbrales de precipitación para 5 días continuos con 300 mm para la estación 74-20

Esta metodología es aplicada a las 11 estaciones en análisis, con el fin de definir el umbral para el evento de precipitación y así crear la matriz de riesgos, como parte del paso 3 del Protocolo PIEVC, además, se espera tener información valiosa en caso de necesitar aplicar el paso 4 del protocolo a la infraestructura en estudio.

2.2. Resultados de los Datos de Precipitación

Se revisaron 11 estaciones medidoras de precipitación (ver Cuadro 2-1) para un umbral de 5-8 días con un acumulado de precipitación mayor o igual a 300 mm, para un periodo de 37 años (de 1980 a 2017) y se obtuvieron los siguientes resultados:

- No todas las estaciones tienen el registro completo (1980 a 2017). En el siguiente cuadro se muestra el registro de datos por estación partiendo del año 1980.

Cuadro 2-4. Registro por estación a partir del año 1980

Estaciones	Registro de Datos por Estación	
	Fecha de inicio	Fecha Final
74-04	Setiembre-1980	Diciembre-1987
74-07	Enero-1980	Junio-1994
74-10	Enero-1980	junio-1985
74-12	Enero-1980	Julio-1994
74-19	Enero-1980	Diciembre-1980
74-20	Enero-1980	Julio-2017
74-21	Enero-1980	Marzo-2004
74-33	Enero-1980	Junio-1985
74-51	Enero-1998	Diciembre-2017
74-57	Febrero-2007	Noviembre-2015
74-106	Enero-1980	Julio-2015

- Se revisaron todas las estaciones medidoras de precipitación (11 en total), obteniendo los meses y fechas donde el acumulado de precipitación cumple con el umbral establecido (5 a 8 días con acumulados de precipitación iguales o mayores a 300 mm). Con esta información se desarrolló un resumen por estación donde se muestran los acumulados de precipitación, sus fechas, duración, eventos hidrometeorológicos (Ciclón, Sistema de baja presión, onda tropical, etc) Generadores de lluvia (ver ejemplo en el Cuadro 2-3).
- Con ayuda de los boletines meteorológicos del IMN se asigna a cada umbral el comportamiento de lluvias, tormentas y temporales, así como la afectación de estos eventos en la zona donde se ubica la infraestructura en estudio (ver ejemplo en el Cuadro 2-3).
- El mes donde mayormente se presenta el umbral es el mes de octubre. Se registraron 12 años donde en el mes de octubre se presentó el umbral al menos una vez (Ver Cuadro 2-5).

Cuadro 2-5. Registros de umbrales por mes y año

Años	Meses								Total de eventos por año
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	
1980						1	2		3
1981			1						1
1982		3							3
1984						2	1		3
1985							1		1
1986		2	1				1		4
1987		1							1
1988						2			2
1995							1		1
1996							1		1
1998							1		1
1999						2			2
2001								1	1
2002		1							1
2005						1	3		4
2007		1					3		4
2008						1	1		2
2010	1				1	2			4
2011							3		3
2017							3		3
Total de eventos por mes	1	8	2	0	1	11	21	1	45

- De la información de las 11 estaciones y revisando los registros existentes entre 1980 y 2017, se obtuvieron 11 eventos de mayor significancia para la investigación, de los cuales, en 9 eventos se registró el umbral en más de dos estaciones ubicadas tanto en la parte alta como en la parte baja de la subcuenca y en 3 eventos solo se presentó una vez el umbral, en una única estación. Además, para la mayoría de estos eventos se tiene evidencia documental de algún tipo de afectación sobre la infraestructura de puente en Guardia. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los acumulados de precipitación por fecha y estación para los 11 eventos con mayor significancia.

Cuadro 2-6. Registros de los eventos de precipitación con mayor relevancia

Fecha con eventos más relevantes	Estaciones donde se presentaron los umbrales									
	74-04	74-7	74-10	74-12	74-20	74-21	74-33	74-51	74,57	74-106
May-22-30-1982	395,5	431,2	474,1	321,2	431,2	417,4	407,5	-	-	774,2
Jun-3-7-1986	151,9	-	-	199	361,4	413	-	-	-	336,1
Oct-3-8-1995	-	-	-	-	311,4	358,8	-	-	-	186,4
Oct-24-31-1998	-	-	-	-	230,8	273,9	-	-	-	364,9
Set-26-30-1999	-	-	-	-	543,8	542	-	365,3	-	360,9
Set-21-25-2005	-	-	-	-	365,8	-	-	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	341,2	708
Oct-12-16-2008	-	-	-	-	370,8	-	-	314,1	409	545
Oct-2-6-2017	-	-	-	-	-	-	-	485	-	-

Nota: Rojo: Fecha sin registro, Amarillo: Registro con una magnitud de precipitación acumulada menor a la establecida en el umbral, Verde: Cumple con la magnitud de precipitación acumulada establecida en el umbral.

- El mes de mayor intensidad de lluvias es el mes de octubre.
- En los meses de mayo y setiembre se presentaron umbrales con magnitudes similares al mes de octubre.
- Las estaciones con mayor registro de umbrales son la 74-106 y 74-57 ubicadas en la parte alta de la subcuenca y la 74-21, 74-51 y 74-20 ubicadas en la parte baja de la subcuenca.

Revisando los eventos climáticos registrados para los periodos en los que se presentan cada uno de los umbrales, se ha identificado la presidencia de huracanes, tormentas tropicales, ondas tropicales, sistemas de baja presión y comportamientos atípicos de masas atmosféricas que afectan el comportamiento de la zona intertropical. El país y en particular el pacífico central y norte, la zona norte y valle central, se ven afectados por temporales con duración de 5 a 11 días con fuertes lluvias, provocando la saturación del suelo, la crecida de los río, desbordamientos, deslizamientos e inundaciones. (IMN, 2018).

Esta situación se refleja en Guanacaste, donde lugares como Filadelfia, Palmira y Guardia se ven afectados por las crecidas y desbordamientos del río Tempisque. Afectado poblados, carreteras y puentes. (IMN, 2018)

Al relacionar estos eventos y afectaciones con el registro de precipitación, se evidencia que existe una relación directa en tiempo y espacio de los umbrales estudiados, los eventos hidrometeorológicos y las afectaciones en poblados, vivienda e infraestructura vial en la zona.

3. Análisis de Hidrogramas de Caudal

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) facilitó una serie de hidrogramas desde 1995 hasta 2008, con picos de caudal iguales o mayores a los 375 m³/s, con un registro de 24 horas antes y después que se presentó este valor máximo de caudal. La información es recopilada de la estación Guardia que se ubica en la margen derecha del puente en Guardia sobre el río Tempisque.

Revisando los datos de los hidrogramas, para el 15 de octubre del 2007 (día del evento que se ha tomado como base para el análisis) se presentó un pico de caudal de 993 m³/s con un registro de altura en la escala de 9,27 m. (Ver Figura 3-1 y Figura 3-2) Tomando este valor como la referencia del evento detonante se realiza una revisión de los demás hidrogramas para ubicar registros similares o superiores al del 2007. A partir de la revisión de los datos se obtienen los siguientes resultados.

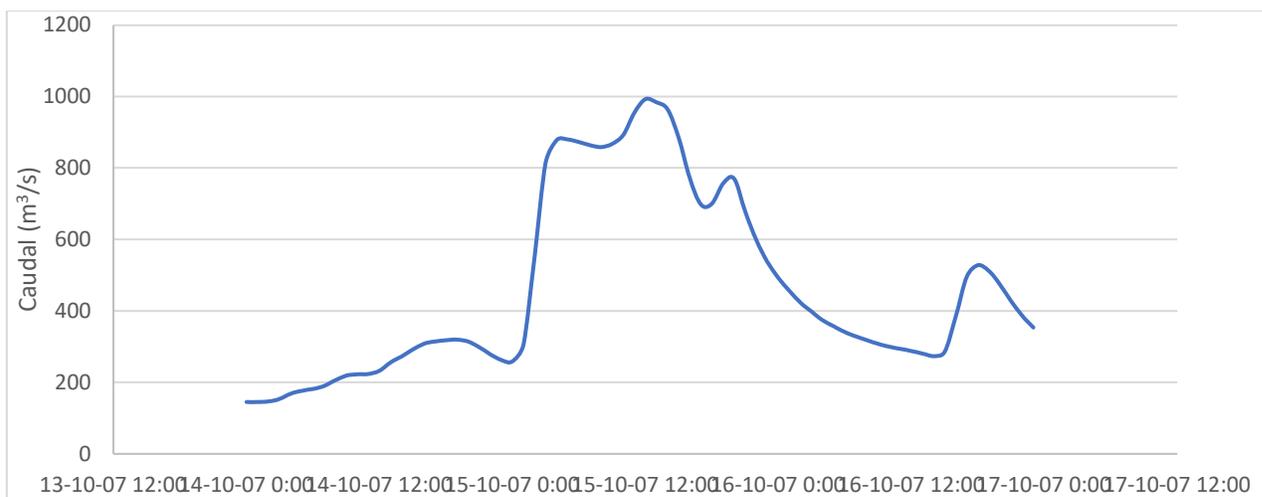


Figura 3-1. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007

Fuente: (Datos, ICE, 2018)

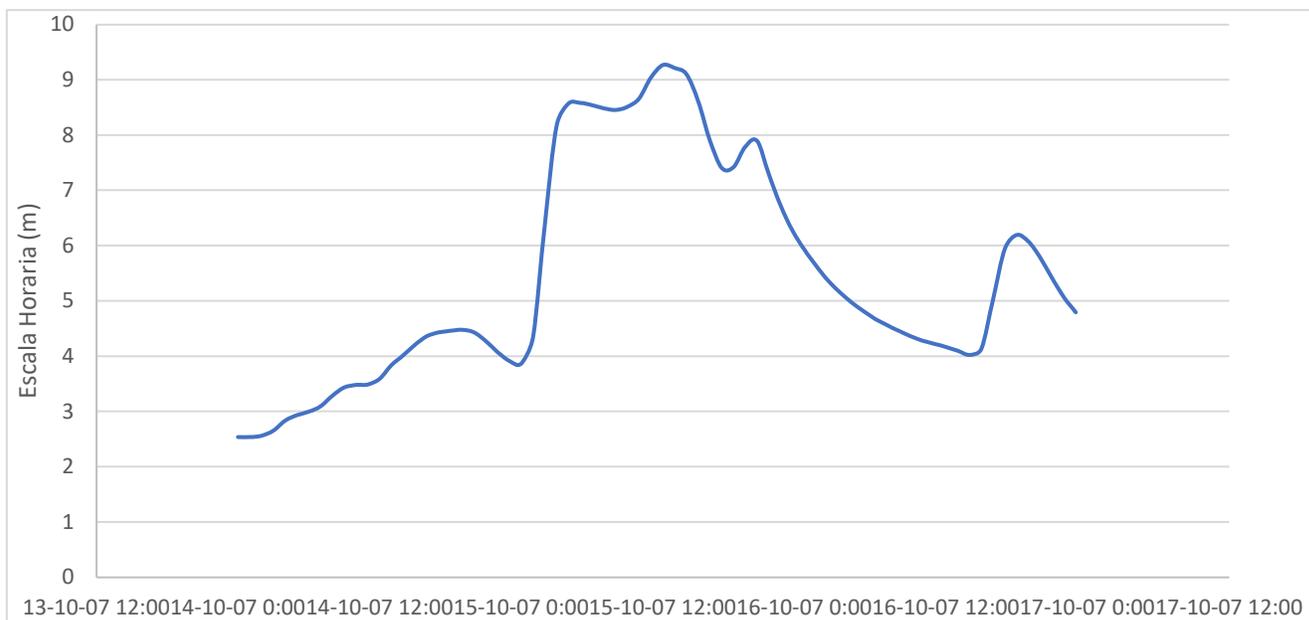


Figura 3-2. Registro de escalas horarias para el hidrograma del 14/10/2007 al 16/10/2007
Fuente: (Datos, ICE, 2018)

Cuadro 3-1. Registro de caudales máximos y escalas máximas obtenidos de los hidrogramas del ICE, Estación Guardia 1995-2008.

Valores máximos de hidrogramas similares al del 2007			Evento hidrometeorológico lluvioso
Fecha	Q m ³ /s	Esc. m	
04-11-98	1141	10,11	Huracán Mitch (22-Oct al 5-Nov)
27-09-99	1273	10,82	Sistema Baja Presión
02-11-01	1116	9,97	H. Michelle (28 - Oct al 5 - Nov)
02-10-05	1106	9,91	-
12-10-05	1355	11,25	Resaca Huracán Stan y Huracán Wilma (Oct-15 al Oct-25)

Valores máximos de hidrogramas similares al del 2007			Evento hidrometeorológico lluvioso
Fecha	Q	Esc.	
	m ³ /s	m	
15-10-07	993	9,27	Sistema Baja Presión (Año Niña Fuerte)
04-09-08	1019	9,42	Huracán Gustav (25-Ago al 04-Set) Huracán Hanna (29-Ago al 8-Set)
15-10-08	1263	10,77	Depresión Tropical No. 16

De los datos anteriores se puede observar que han existidos años con caudales y alturas superiores a los registrados en el mes de octubre del año 2007. Revisando el comportamiento de los hidrogramas de las fechas mostradas en el cuadro anterior, se puede observar un incremento progresivo del caudal debido a un aumento progresivo de la escorrentía, generalmente relacionado con un periodo extenso de lluvia (temporal).

Relacionando estos picos de caudal con los umbrales obtenidos de las estaciones de precipitación, se tiene que todas las fechas están relacionadas con la existencia de uno o más umbrales por lo que el evento de crecida del río está directamente relacionado con un evento extenso e intenso de lluvia.

Algunos registros de las estaciones medidoras de precipitación ubicadas en la parte alta de la cuenca presentan un desfase temporal con respecto a los registros de caudal máximo de la estación en Guardia, ubicada en la parte baja de la subcuenca, esto se debe a las 13,95 horas de tiempo de respuesta con que cuenta la subcuenca.

Debido a que hay registros en los que se presentó una mayor magnitud de caudal y altura de escala que la reflejada en octubre del 2007, se procedió a investigar si existen registros de afectación del puente por estos eventos.

4. Registros de Eventos que ha afectado el puente en Guardia

Revisando artículos de noticias, boletines e información en la Web, se obtiene la siguiente evidencia documental acerca de la afectación por eventos hidrometeorológicos lluviosos en la zona donde se ubica el puente en Guardia sobre el río Tempisque, Ruta. 21.

4.1. 04 Noviembre 1998.

La nota del periódico digital La Nación indica: "En horas de la tarde, Filadelfia ya sufría, nuevamente, las consecuencias de las inundaciones, lo mismo que las localidades de Corralillo y La Guinea". (La Nación, 2018)

"La gente debe estar alerta; ya estamos dentro de la época normal de lluvia, pero los suelos están muy saturados después de la afectación indirecta de Mitch" (La Nación, 2018)

Además, existe una aparente inundación en Guardia y Palmira y cierres en carretera debido a una crecida del río Tempisque.

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/el-pais/sin-paso-a-pueblos-de-acosta/L7IZEYQX45BXHKTXP4DJ47JRAA/story/>

4.2. 3- Octubre -2005

Las fuertes lluvias propiciadas por la tormenta tropical Stan produjeron un importante aumento del caudal de los ríos Cañas, Bebedero, Corobici, Tempisque, entre otros, lo que produjo una movilización importante de personal y vehículos de Cruz Roja a valorar y apoyar las acciones de evacuación en diferentes lugares. (ReliefWeb, 2018)

Hasta el momento las lluvias han causado efecto en el territorio de los cantones de Cañas, Nosara, Filadelfia, Las Juntas, La Cruz, Liberia y Bagaces donde los ríos siguen creciendo y se han presentado derrumbes en Nicoya y Las Juntas. (ReliefWeb, 2018)

Fuente: Plataforma digital ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/costa-rica/costa-rica-stan-incrementa-laborez-de-cruz-roja-en-guanacaste>

4.3. 4- Octubre -2005

El nivel del río tempisque aumenta de forma extraordinaria, afectando la comunidad de Guardia y Filadelfia. El periódico la Nación escribe en su pagina Web: "Según la Cruz Roja de Carrillo, 142 habitantes de Filadelfia y 90 de Corralillo y La Guinea debieron abandonar

sus casas debido a que los ríos Tempisque y Las Palmas se salieron del cauce". (La Nación, 2018)

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/el-pais/inundaciones-dejan-400-evacuados-en-guanacaste/3Q3I2NVBEBBLTNN6ZRX7SMQ5OQ/story/>

4.4. 11 Agosto 2007

EL periódico La Nación en su página web menciona: "Esta semana se iniciaron las obras de reparación del puente sobre el río Tempisque, en Guardia de Liberia". Se realiza un refuerzo de la losa de rodamiento y un recarpeteo. (La Nación, 2018)

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/reparan-puente-en-guardia-de-liberia-guanacaste/M7KFXFLXGNH2BLYDGKFF4ZXLUY/story/>

4.5. 13-October-2007



Figura 4-1. Puente en Guardia 13 de Octubre del 2007
Mediante un video captado el 13 de octubre del 2007 en el sitio del puente en Guardia de Liberia, se evidencia como el agua toca la estructura, al punto de casi sobrepasar la losa de rodamiento del puente viejo. (PUPUPU12345, 2018)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>

4.6. 16 Octubre 2007

CNE presenta el Informe de Situación Preliminar N. 8 donde informa entre otras cosas:

Ruta 21: Liberia –Guardia-Filadelfia, con anegamiento en aproximadamente 10 km, además con problemas por daños potenciales en el puente sobre el río Tempisque, sector de Guardia. La crecida del río en este punto duró más de 3 días. (CNE, 2007)

Fuente: Plataforma digital ReliefWeb
https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/9425F37DBEC4807EC12573780039DECC-Reporte_completo.pdf

4.7. 5-Setiembre 2008

Nota en la página web del periódico la Nación.

“El paso de vehículos por la vía que une Liberia, el aeropuerto Daniel Oduber y los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya estuvo cerrado debido a la crecida del río Tempisque, que amenazó con sobrepasar el puente en Guardia”. (La Nación, 2018)

Las lluvias intermitentes se han mantenido en el Pacífico Norte más de 24 horas continuas y las origina la nubosidad que arrastra la tormenta tropical Hanna, que se desplaza por el mar Caribe. (La Nación, 2018)

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/sucesos/1-000-evacuados-en-guanacaste-por-el-desbordamiento-de-rios/GYIFIJFKU5EG5HDFKKQPPGCITY/story/>

4.8. 9-Setiembre del 2008

Un Video Muestra el paso cerrado para vehículos y el nivel de río es muy cercano a la losa del puente. Existen comentarios que indican que el nivel del río topó con la estructura del puente (losa de rodamiento)



Figura 4-2. Puente en Guardia 9 de Setiembre del 2008



Figura 4-3. 9 de setiembre del 2008, solo se permite el paso de peatones

La crecida del río provoca que el cierre en el puente durara más de 5 días y solo se habilitó para el paso de peatones. (Viales, 2018)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>

4.9. 25-Noviembre-2016

Importante nivel del río, no hay indicios que el caudal del río haya tocado el puente. (amprensa, 2018)



Figura 4-4. Puente en Guardia, Paso de Huracán Otto

Fuente: <https://amprensa.com/2016/11/galeria-precaucion-rio-tempisque-se-desborda/>

4.10. 25-Noviembre-2016

Caída de árboles y una crecida no tan extraordinaria a la altura del puente. (La prensa libre, 2018)



Figura 4-5. Caída de árboles en el relleno de aproximación del puente, huracán Otto

La afectación en la zona producto del huracán Otto está relacionada con fuertes ráfagas de viento, las cuales provocaron la caída de árboles y ramas sobre la carretera.

Fuente: <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/94248/calles-afectadas-en-zonas-de-guanacaste-por-huracan-otto->

4.11. 5-octubre-2017

Nota en el diario digital El Independiente:

La Comisión Nacional de Emergencias (CNE) solicitó a los habitantes de Filadelfia, cabecera de Carrillo, abandonar sus casas pues el río Tempisque estaba muy crecido y amenazaba con anegar la ciudad. Igual medida se aplicó para los pobladores de Guinea y Corralillo. (El Independiente, 2018). Asimismo, el paso entre Liberia y Filadelfia estaba cerrado en Guardia, ya que el río Tempisque pasaba sobre la carretera, en esos momentos no hubo paso por la Ruta 21 de Liberia a Nicoya. (El Independiente, 2018)



Figura 4-6. Zona de inundación aguas arriba del puente



Figura 4-7. Puente en Guardia, 5 de octubre del 2017 antes de la crecida que sobrepasara el puente

Fuente: <https://diariodigitalelindependiente.com/2017/10/05/guanacaste-castigado-por-tormenta-tropicalhay-muchas-comunidades-aisladas/>

4.12. 9-October-2017

De acuerdo con la página web de radio La Pampa, así se mantenía el nivel del río sobre el puente en Guardia. (Radio la Pampa, 2018)



Figura 4-8. Continúa las Crecidas y el paso inhabilitado en el puente

Fuente: <http://www.radiolapampa.net/2017/10/liberia-carrillo-y-la-cruz-aun-no-entregan-informes-de-primeros-impactos/>

4.13. 10 Octubre-2017

En un video captado en el lugar del puente para esta fecha se muestra la situación en el puente durante la Tormenta Nate. (Emanuelli, 2018)

Se puede observar como el nivel del río amenaza con entra en contacto con la estructura del puente. El agua toca en algunos sectores la estructura (margen derecha), existe turbulencia y vorticidad en los bastiones. No hay un contacto total.



Figura 4-9. Nivel del río aún no baja

Se Registran más de cinco días donde la situación en el puente en Guardia se mantiene tal que el paso por esta infraestructura estuvo inhabilitado al menos para el paso de vehículos.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=9IzddTJ4zq4>

4.14. Sin fecha de referencia.

La CNE presenta un informe llamado “Deslizamientos Inundaciones sismos” donde puntualiza dentro de los ríos y quebradas con mayor frecuencia de inundaciones al río Tempisque a la altura del puente en Guardia, con una frecuencia de afectación cada 5 años y que afecta a los poblados de Guardia, Filadelfia y Paso Tempisque. (CNE)

Fuente: https://www.cne.go.cr/educacion_asesoria/7/Folleto_Deslizamientos.pdf

De las evidencias mostradas, la afectación que ha sufrido la infraestructura del puente está ligada al aspecto operativo y funcional no tanto al aspecto meramente estructural. Si se analiza la región, los albergues en caso de inundación están ubicados, en su mayoría, en Liberia (Margen Izquierda) y la mayoría de los evacuados provienen de los poblados de Filadelfia, Palmira y Comunidad (Margen Derecha). El acceso terrestre a estos poblados son el Puente en Guardia Ruta 21 y el Puente La Amistad Ruta 18, ubicado a más de 68 km aguas abajo, por lo que un cierre del puente en Guardia, desde el punto de vista funcional, afecta no solo el tránsito normal en la zona y el comercio, sino que además afecta el trabajo y pone en riesgo la actuación de las entidades encargadas de brindar apoyo ante situaciones de emergencia y evacuación en la zona producto de las inundaciones.

5. Secciones transversales del río Tempisque a la altura del puente en Guardia

Al revisar el registro de las mediciones de la sección transversal del río Tempisque realizadas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) a la altura del puente en Guardia, Ruta 21, realizadas entre el "puente viejo" y el "puente nuevo", se puede identificar el comportamiento y conformación del lecho del río, la variación de la sección transversal y su relación con los eventos hidrometeorológicos en estudio. En el siguiente cuadro se muestra cada una de las fechas en que se realizó la medición y que institución la realizó.

Cuadro 5-1. Registro de mediciones de la sección transversal del río Tempisque a la altura del puente en Guardia

Fecha	Institución	Longitud de la Sección	Profundidad Máxima
		m	m
12-04-11	ICE	52	2,2
09-06-11	ICE	53	2,4
31-08-11	ICE	53	2,25
26-11-11	ICE	54	4,44
14-03-12	ICE	53	2,95
07-06-12	ICE	50	3,15
22-11-12	ICE	53	3
29-05-13	ICE	48	2,38
22-08-13	ICE	51,6	2,55
17-10-13	ICE	53,3	3,58
22-04-15	ICE	46,8	2,74
16-04-15	AyA	46,96	2,35
19-11-15	AyA	52,71	2,83
27-04-16	AyA	46,35	1,82
20-10-16	AyA	56,33	3,24
15-03-17	AyA	51,7	2,54
06-09-17	AyA	50,6	2,5
14-12-17	AyA	46,11	6,49
18-07-18	AyA	47,91	5,94

Nota: Consultando con los personeros tanto del ICE como del AyA, se aclara, que por parte de estas instituciones no existen datos de secciones transversales del río, en este punto, para años anteriores a los mostrados en el Cuadro 5-1.

5.1. Perfiles del río a la altura del Puente AyA – ICE.

Realizando una superposición de las secciones del río medidas por el AyA y el ICE se obtuvo el siguiente resultado (ver Figura 5-1), donde se puede apreciar la variación de la sección transversal del río Tempisque a la altura del puente en Guardia, desde el 12 de abril del 2011 hasta el 18 de Julio del 2018. Como se puede apreciar se tienen dos comportamientos muy marcados de la sección del río y muy distintos entre sí.

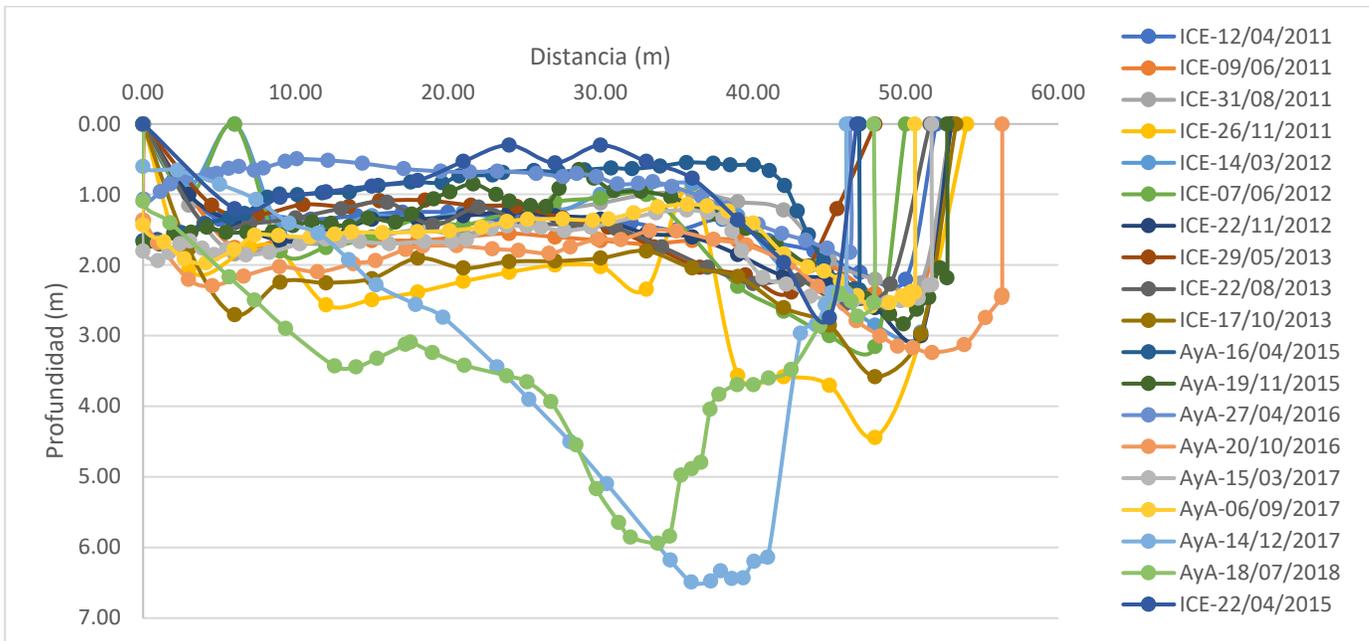


Figura 5-1. Superposición de perfiles AyA-ICE

Observando el gráfico anterior, desde abril del 2011 hasta setiembre del 2017 las variaciones en el fondo de la sección no supera los 2m, sin embargo, de inicios del mes de setiembre a mediados del mes de diciembre del 2017, la variación en la sección del río fue significativa (más de 4 m). Dentro de este periodo se registró para el mes de octubre la afectación directa de la Tormenta Tropical Nate sobre la zona de Liberia, por lo que se puede relacionar la variación de la sección del río con el impacto de la tormenta Nate.

Se nota, además, cómo en los últimos meses el lecho del río se ha ido recuperando, por lo tanto, la variación de la sección del río puede estar relacionada directamente con eventos hidrometeorológicos que provocan crecidas extraordinarias, ocasionando, entre otras cosas, la socavación del lecho del río y luego del evento, el arrastre y depositación de sedimento provoca una recuperación del fondo de la sección.

Lo anterior puede estar ligado al constante arrastres y depositación del semiento del río debido a la gran cantidad de entisoles que existen en la parte alta y media de la subcuenca, tanto al noroeste como al sureste, en ambas márgenes del río Tempisque (ver Figura 1-8 y Cuadro 1-6). (Leitón, 2011)

6. Conclusiones.

- Debido a sus características geométricas y de relieve, la subcuenca en estudio se define como poco propensa a crecidas instantáneas, con una longitud del cauce suficiente para llevar a cabo un proceso de escorrentía lento.
- La longitud del cauce principal (973 km), un coeficiente de compacidad alto, el relieve y un factor de forma bajo, hacen que la subcuenca de la parte alta del río Tempisque sea irregular, relativamente alargada y con una alta capacidad de amortiguación de los eventos de precipitación, presentado así un drenaje lento.
- Según la geomorfología de la subcuenca y los tipos de suelo que la caracterizan, es propensa a sufrir inundaciones por periodos largos, debido a un proceso muy lento de escurrimiento, la presencia de meandros y canales abandonados que producen estancamiento de las aguas y la presencia de suelos con poca capacidad de infiltración y fáciles de saturar (mayoritariamente arcillas).
- La presencia de sedimentos de origen volcánico, fáciles de arrastrar por el cauce del río, más aún cuando existen crecidas e inundaciones, hacen que el lecho del río tempisque sea cámbiate, principalmente cuando se presentan crecidas extraordinarias.
- Las estaciones con mejor registro de precipitación son la 74-20 y 74-51, ambas ubicadas en el aeropuerto internacional Daniel Oduber.
- La relación de los umbrales de precipitación con eventos meteorológicos, la información de afectación por inundación en la zona y la evidencia documenta sobre la afectación en el puente en Guardia, hacen que el análisis se reduzca a 11 eventos o umbrales de mayor significancia para la investigación.
- De los 11 eventos de mayor significancia, existen 8 eventos registrados en los que coinciden el registro de umbrales con crecidas extraordinarias del río Tempisque y para las cuales existe evidencia documental de algún tipo de afectación en el puente en Guardia, Ruta 21.

- El mes de octubre es el mes con mayor registro de umbrales de precipitación, afectación por inundación en la zona debido al desbordamiento del río Tempisque. Además, el mes de octubre está relacionado con la mayor presencia de huracanes y sistemas de baja presión, siendo el mes más lluvioso para todo el país.
- El mes con un registro de eventos similares al mes de octubre es el mes de setiembre.
- Del análisis de caudales, se concluye que existe 7 fechas donde la estación Guardia registró un pico de caudal y altura en la escala, con magnitudes mayores al registrado el 15 de octubre del 2007 (fecha de donde parte el análisis de este trabajo).
- En los últimos años los huracanes Joan en 1988, César en 1996 y Mitch en 1998, además de las tormentas tropicales Alma en el 2005, Tomas en el 2010 y Nate e el 2017 han causado severos daños en Costa Rica, especialmente en el pacífico norte.
- A pesar de que los huracanes se forman en el mar Caribe afectan el litoral del Pacífico costarricense, debido a la circulación de los vientos y del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el país, lo cual se ve evidenciado en la afectación por inundaciones y desbordamientos del río Tempisque en el pacífico norte, a causa de los fuertes e intensos temporales que afectan la zona.
- Según la superposición de las mediciones de los perfiles transversales del río Tempisque a la altura del puente en Guardia, el lecho del río sufrió una importante socavación desde el centro hacia la margen derecha durante la crecida del río, debido a la influencia de la Tormenta Nate, en el año 2017.
- Según la evidencia documental encontrada se concluye que la mayor afectación que a sufrido la infraestructura es en sus aspectos operativo y funcional. Por lo tanto, se espera que el riesgo en estos aspectos tenga un valor mayor que en el aspecto meramente estructural.

7. Referencias Bibliográficas

- Alvarado, A., Mata, R., & Chinchilla, M. (2013). *ARCILLAS IDENTIFICADAS EN SUELOS DE COSTA RICA A NIVEL GENERALIZADO DURANTE EL PERÍODO 1931-2014: II. MINERALOGÍA DE ARCILLAS EN SUELOS CON CARACTERÍSTICAS VÉRTICAS Y OXÍDICO CAOLINÍTICAS*. San José: Agronomía Costarricense 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 / 2014 www.mag.go.cr/revagr/index.html, www.cia.ucr.ac.cr.
- amprensa. (2018, 10 04). *amprensa.com*. Retrieved from <https://amprensa.com/2016/11/galeria-precaucion-rio-tempisque-se-desborda/>.
- Atlas,TEC. (2008). *Archivos, GIS, Atlas del Instituto Tecnológico Nacional*. Cartago.
- Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). *ANDISOLES, INCEPTISOLES Y ENTISOLES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO, PIRRÍS, REGIÓN DE LOS SANTOS, TALAMANCA, COSTA RICA*. Agronomía Costarricense 35(1): 83-107. ISSN:0377-9424 / 2011, www.mag.go.cr/revagr/index.html, www.cia.ucr.ac.cr.
- CNE. (2007). *TEMPORAL PACIFICO CENTRAL, PACIFICO NORTE Y VALLE CENTRAL ASOCIADOS A BAJAS PRESIONES*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- CNE. (n.d.). *DESLIZAMIENTOS INUNDACIONES SISMOS*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Datos, ICE. (2018). *Higrogramas de caudal, en archivos con formato Excel, del Instituto Costarricense de Electricidad*. San José.
- Datos, IMN. (2018). *Datos y Metadatos, archivo en formato Excel, de las estaciones medidoras de precipitación por parte del IMN*. San José.
- El Independiente. (2018, 10 04). *diario digital el independiente*. Retrieved from <https://diariodigitaleindependiente.com/2017/10/05/guanacaste-castigado-por-tormenta-tropicalhay-muchas-comunidades-aisladas/>.
- Emanuelli, J. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=9IzddTJ4zq4>. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=9IzddTJ4zq4>.
- IMN. (2007). *Boletín Meteorológico IMN del mes de Octubre del año 2007*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- IMN. (2008). *Cambio Climatico, Clima, Variabilidad y Cambio Climatico en Costa Rica*. San José: Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hidráulicos.
- IMN. (2011). *Estudio de la Cuenca hidrográfica del río Tempisque*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- IMN. (2012). *Atlas GIS, de Instituto Meteorológico Nacional, sobre la cobertura o uso de suelo para la subcuena alta del río Tempisque*. Instituto Meteorológico Nacional.

- IMN. (2018, 10 11). *EL ENOS OCEÁNICO-ATMOSFÉRICO COMO EVENTO PERIÓDICO*. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/4-Periodicidad+del+ENOS.pdf/0d7bdb3d-2634-4218-af6d-4e5ae461be6c>.
- IMN. (2018, 10 11). *ESCENARIOS DEL ENOS*. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/3-Escenarios+del+ENOS.pdf/5cac5bf5-7a16-4146-a4f6-9b6ff1ac6d50>.
- IMN. (2018, Setiembre 27). *Instituto Meteorológico Nacional*. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>.
- La Nación. (2018, 10 04). *La Nación Digital*. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/sin-paso-a-pueblos-de-acosta/L7IZEYQX45BXHKTXP4DJ47JRAA/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). *La Nación Digital*. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/inundaciones-dejan-400-evacuados-en-guanacaste/3Q3I2NVBEBBLTNN6ZRX7SMQ5OQ/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). *La Nación Digital*. Retrieved from <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/reparan-puente-en-guardia-de-liberia-guanacaste/M7KFXFLXGNH2BLYDGKFF4ZXLUY/story/>.
- La Nación. (2018, 10 04). *La Nación Digital*. Retrieved from <https://www.nacion.com/sucesos/1-000-evacuados-en-guanacaste-por-el-desbordamiento-de-rios/GYIFIJFKU5EG5HDFKKQPPGCITY/story/>.
- La prensa libre. (2018, 10 04). *laprensalibre.cr*. Retrieved from <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/94248/calles-afectadas-en-zonas-de-guanacaste-por-huracan-otto->.
- Leitón, J. (2011). *Cambio en el Patrón de la Escorrentía Superficial de la Cuenca Alta del Tempisque Ante Diferentes Escenarios de Cambio Climático*. San José: Universidad de Costa Rica.
- MAG. (2018, 10 19). *Principales Suelos de Costa Rica*. Retrieved from http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html.
- Mata, A. (2018, 10 19). *Riqueza y Complejidad de la Cuenca del Río Tempisque*. Retrieved from <https://archive.tropicalstudies.org/images/downloads/biological-stations/palo-verde/publications/libro-cueca-tempisque/capitulo-2%20.pdf>.
- PUPUPU12345. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>.
- Radio la Pampa. (2018, 10 04). *Radio la Pampa*. Retrieved from <http://www.radiolapampa.net/2017/10/liberia-carrillo-y-la-cruz-aun-no-entregan-informes-de-primeros-impactos/>.
- ReliefWeb. (2018, 10 04). *ReliefWeb*. Retrieved from <https://reliefweb.int/report/costa-rica/costa-rica-stan-incrementa-laborez-de-cruz-roja-en-guanacaste>.
- Serrano, A. (2016). *Notas de Clase del Curso IC0808, Hidrología*. San José.

Somarriba, E. (2003). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Tempisque*. San José.

Viales, J. (2018, 10 04). <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>.

ANEXO N°11

Evidencia documental de eventos extremos que han generado aumento en el nivel del río a la altura del puente sobre el río Tempisque en la localidad de Guardia, Liberia

04 Noviembre de 1998

La nota del periódico digital La Nación indica:” En horas de la tarde, Filadelfia ya sufría, nuevamente, las consecuencias de las inundaciones, lo mismo que las localidades de Corralillo y La Guinea”. (La Nación, 2018)

"La gente debe estar alerta; ya estamos dentro de la época normal de lluvia, pero los suelos están muy saturados después de la afectación indirecta de Mitch" (La Nación, 2018)

Además, existe una aparente inundación en Guardia y Palmira y cierres en carretera debido a una crecida del río Tempisque.

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/el-pais/sin-paso-a-pueblos-de-acosta/L7IZEYQX45BXHKTXP4DJ47JRAA/story/>

3 Octubre de 2005

Las fuertes lluvias propiciadas por la tormenta tropical Stan produjeron un importante aumento del caudal de los ríos Cañas, Bebedero, Corobici, Tempisque, entre otros, lo que produjo una movilización importante de personal y vehículos de Cruz Roja a valorar y apoyar las acciones de evacuación en diferentes lugares. (ReliefWeb, 2018)

Hasta el momento las lluvias han causado efecto en el territorio de los cantones de Cañas, Nosara, Filadelfia, Las Juntas, La Cruz, Liberia y Bagaces donde los ríos siguen creciendo y se han presentado derrumbes en Nicoya y Las Juntas. (ReliefWeb, 2018)

Fuente: Plataforma digital ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/costa-rica/costa-rica-stan-incrementa-laborez-de-cruz-roja-en-guanacaste>

4 Octubre de 2005

El nivel del río Tempisque aumenta de forma extraordinaria, afectando la comunidad de Guardia y Filadelfia. El periódico la Nación escribe en su pagina Web: “Según la Cruz Roja de Carrillo, 142 habitantes de Filadelfia y 90 de Corralillo y La Guinea debieron abandonar sus casas debido a que los ríos Tempisque y Las Palmas se salieron del cauce”. (La Nación, 2018)

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación. <https://www.nacion.com/el-pais/inundaciones-dejan-400-evacuados-en-guanacaste/3Q3I2NVBEBBLTNN6ZRX7SMQ5OQ/story/>

13-Octubre-2007



Figura 7. Puente en río Tempisque, Guardia 13 de Octubre del 2007

Mediante un video captado el 13 de octubre del 2007 en el sitio del puente en Guardia de Liberia, se evidencia como el agua toca la estructura, al punto de casi sobrepasar la losa de rodamiento del puente viejo. (PUPUPU12345, 2018)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=xy0CoMoK3sQ>

16 Octubre 2007

CNE presenta el Informe de Situación Preliminar N. 8 donde informa entre otras cosas:

Ruta 21: Liberia –Guardia-Filadelfia, con anegamiento en aproximadamente 10 km, además con problemas por daños potenciales en el puente sobre el río Tempisque, sector de Guardia. La crecida del río en este punto duró más de 3 días. (CNE, 2007)

Fuente: Plataforma digital ReliefWeb

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/9425F37DBEC4807EC12573780039DECC-Reporte_completo.pdf

5 Setiembre 2008

Nota en la página web del periódico la Nación.

“El paso de vehículos por la vía que une Liberia, el aeropuerto Daniel Oduber y los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya estuvo cerrado debido a la crecida del río Tempisque, que amenazó con sobrepasar el puente en Guardia”. (La Nación, 2018)

Las lluvias intermitentes se han mantenido en el Pacífico Norte más de 24 horas continuas y las origina la nubosidad que arrastra la tormenta tropical Hanna, que se desplaza por el mar Caribe. (La Nación, 2018)

Fuente: Plataforma digital del periódico La Nación.

<https://www.nacion.com/sucesos/1-000-evacuados-en-guanacaste-por-el-desbordamiento-de-rios/GYIFIJFKU5EG5HDFKKQPPGCITY/story/>

9 Setiembre del 2008

Un Video Muestra el paso cerrado para vehículos y el nivel de río es muy cercano a la losa del puente. Existen comentarios que indican que el nivel del río topó con la estructura del puente (losa de rodamiento)



Figura 8. Puente en Guardia 9 de Setiembre del 2008



Figura 9. El 9 de setiembre del 2008, solamente se permitió el paso de peatones

La crecida del río provoca que el cierre en el puente durara más de 5 días y solo se habilitó para el paso de peatones. (Viales, 2018)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=33yzE8CUIXY>

25 Noviembre de 2016

Caída de árboles y una crecida no tan extraordinaria a la altura del puente. (La prensa libre, 2018)



Figura 10. Caída de árboles en el relleno de aproximación del puente, huracán Otto

La afectación en la zona producto del huracán Otto está relacionada con fuertes ráfagas de viento, las cuales provocaron la caída de árboles y ramas sobre la carretera.

Fuente: <http://www.laprensa libre.cr/Noticias/detalle/94248/calles-afectadas-en-zonas-de-guanacaste-por-huracan-otto->

5 octubre de 2017

Nota en el diario digital El Independiente:

La Comisión Nacional de Emergencias (CNE) solicitó a los habitantes de Filadelfia, cabecera de Carrillo, abandonar sus casas pues el río Tempisque estaba muy crecido y amenazaba con anegar la ciudad. Igual medida se aplicó para los pobladores de Guinea y Corralillo. (El Independiente, 2018). Asimismo, el paso entre Liberia y Filadelfia estaba cerrado en Guardia, ya que el río Tempisque pasaba sobre la carretera, en esos momentos no hubo paso por la Ruta 21 de Liberia a Nicoya. (El Independiente, 2018)



Figura 11. Zona de inundación aguas arriba del puente



Figura 12. Puente en Guardia, 5 de octubre del 2017 antes de la crecida que sobrepasara el puente
Fuente: <https://diariodigitalelindependiente.com/2017/10/05/guanacaste-castigado-por-tormenta-tropicalhay-muchas-comunidades-aisladas/>

9 Octubre de 2017

De acuerdo con la página web de radio La Pampa, así se mantenía el nivel del río sobre el puente en Guardia. (Radio la Pampa, 2018)



Figura 13. Crecida en el cauce y paso inhabilitado en el puente

Fuente: <http://www.radiolapampa.net/2017/10/liberia-carrillo-y-la-cruz-aun-no-entregan-informes-de-primeros-impactos/>

10 Octubre de 2017

En un video captado en el lugar del puente para esta fecha se muestra la situación en el puente durante la Tormenta Nate. (Emanuelli, 2018)

Se puede observar como el nivel del río amenaza con entra en contacto con la estructura del puente. El agua toca en algunos sectores la estructura (margen derecha), existe turbulencia y vorticidad en los bastiones. No hay un contacto total.



Figura 14. Nivel del río se mantiene crecido

Se Registran más de cinco días donde la situación en el puente en Guardia se mantiene tal que el paso por esta infraestructura estuvo inhabilitado al menos para el paso de vehículos.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=9IzddTJ4zq4>

Una vez recopilada la información de los eventos lluviosos que cumplen con el umbral establecido para este estudio, así como otros eventos identificados, pero que no cumplen con dicho umbral, y basándose en la documentación de la CNE en su informe denominado Deslizamientos Inundaciones Sismos (SF), donde puntualiza que la frecuencia de inundaciones por desbordamiento del río Tempisque, ocurre con una frecuencia de 5 años y que afecta a los poblados de Guardia, Filadelfia y Paso Tempisque (CNE, SF).

DECRETO 34045-MP

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y EL MINISTRO DE LA PRESIDENCIA

En ejercicio de las facultades que les confieren los artículos 140, incisos 3) y 18) y 180 de la Constitución Política, artículos 25 inciso 1), 2.7 inciso 1), 28 "inciso b)", de la Ley 6227 del 2 de mayo de 1978 que es Ley General de la Administración Pública, y la Ley 8488 del 11 de enero del 2006, que es la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias.

Considerando:

1º—Que desde hace varias semanas, específicamente a partir del 9 de septiembre el país se ha visto afectado por diversos eventos, generados por condiciones meteorológicas, adversas, tales como ondas y depresiones tropicales que unidas a las condiciones atmosféricas inestables han generado abundantes lluvias en diversos puntos de país, Valle Central, y Pacífico Sur. Esto unido a los eventos que desde día 10 de octubre se han presentado por las condiciones de temporal en el Pacífico Central y Norte, Valle Central y Cordillera de Guanacaste, asociado a un sistema de baja presión, a nivel regional en el mar caribe, con características de lluvias intermitentes de variable intensidad, asociados a sistemas de baja presión sobre Centroamérica, y al posicionamiento de la zona de convergencia Intertropical (confluencia de vientos del suroeste u noreste).

2º—Que el día 9 de septiembre la provincia de Heredia se vio afectada por intensas lluvias generando inundaciones y daños cuantiosos en varios sectores; el día 3 de octubre en la provincia de Cartago se produjo una avalancha generada por las intensas lluvias y en el Valle Central se presentaron lluvias durante la tarde, noche y madrugada de los días 10, 11, 12 y 13 de octubre, provocando saturación de los suelos, crecimientos de los cauces y aumento considerable de escorrentía superficial principalmente en quebradas y ríos urbanos, siendo que los índices de humedad en el suelo, unido a las altas pendientes dispararon deslizamientos e inundaciones en varios lugares del país. Que tales condiciones persisten los días 14, 15 y 16 de octubre, inclusive, debido a las condiciones generadas por la presencia de una nueva onda tropical que está afectando el país.

3º—Estos fenómenos han ocasionado inundaciones, deslizamientos y daños a los bienes y a las personas, afectando la infraestructura vial, las comunicaciones, la agricultura, los servicios públicos y las viviendas, por lo que la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias declaró alerta roja para activar a todas las instituciones en la atención de esta emergencia.

4º—Que como consecuencia de estos fenómenos se debió evacuar a muchas personas damnificadas y ubicarlas en diferentes albergues instalados por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

5º—Que según los pronósticos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en conjunto con la CNE, el análisis de las condiciones establecen sistemas nubosos asociados a una onda tropical, que transita sobre Centroamérica y sistemas de baja presión muy cerca de nuestro territorio, reportándose nuevos incidentes debido a la saturación de los suelos, aumento de la escorrentía superficial e incremento de la amenaza de inundaciones y deslizamientos.

6º—Que la vida de la población es un bien de interés público tutelado por el Estado, quien debe velar por su protección y por la seguridad de los habitantes y en general por la conservación del orden social.

7º—Que la Ley Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias dispone que en caso de calamidad pública ocasionada por hechos de la naturaleza o del hombre que son imprevisibles o previsibles pero inevitables y no puedan ser controlados, manejados ni dominados con las potestades ordinarias de que dispone el Gobierno, el Poder Ejecutivo podrá declarar emergencia nacional en cualquier parte del territorio nacional, a fin de integrar y definir las responsabilidades y funciones de todos los organismos, entidades públicas, privadas y poder brindar una solución acorde a la magnitud del desastre.

8º—Que en razón de lo expuesto se hace necesaria la promulgación de un marco jurídico para tomar las medidas de excepción que señala la Constitución Política y la Ley Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, para hacerle frente a los efectos ocasionados por este fenómeno hidrometeorológico y mitigar las consecuencias que ocasionó su impacto en las diferentes zonas del país.

Por tanto,

DECRETAN:

Artículo 1º—Se declara estado de emergencia nacional la situación provocada por condiciones de

temporal y paso de una onda tropical en el Pacífico Central, Norte, Sur, Valle Central y Cordillera de Guanacaste, asociados a sistemas de baja presión y onda tropical a nivel regional en el mar caribe que generó abundantes lluvias en todos los cantones de la provincia de Guanacaste, los cantones de Esparza, Garabito, Parrita, Puntarenas, Aguirre, Golfito, Osa, Coto Brus, Corredores, Buenos Aires, Montes de Oro de la provincia de Puntarenas; los cantones de Atenas, Naranjo y Grecia de la Provincia de Alajuela; los cantones de Aserrí, Acosta, Santa Ana,-Desamparados, Puriscal, Mora, Turrubares, Tarrazú, Escazú, Dota, León Cortes y Pérez-Zeledón de la provincia de San José, y los cantones del Guarco, Oreamuno, Cartago y La Unión de la provincia de Cartago; los cantones de Heredia, Barba, Santa Bárbara y Flores, de la provincia de Heredia.

Artículo 2º—Para los efectos correspondientes, se tienen comprendidas dentro de la presente declaratoria de emergencia las tres fases que establece la Ley Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias, a saber:

- a) Fase de respuesta.
- b) Fase de rehabilitación.
- c) Fase de reconstrucción.

Artículo 3º—Se tienen comprendidas dentro de esta declaratoria de emergencia todas las acciones y obras necesarias para la atención, rehabilitación, reconstrucción y reposición de la infraestructura, las viviendas, las comunicaciones y la agricultura dañadas y en general todos los servicios públicos dañados que se ubiquen dentro de la zona de cobertura señalada en el artículo 1) de este Decreto, todo lo cual debe constar en el Plan General de la Emergencia aprobado por la Junta Directiva de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, para poder ser objeto de atención conforme al concepto de emergencia.

Artículo 4º—La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias será el órgano encargado del planeamiento, dirección, control y coordinación de los programas y actividades de protección, salvamento, atención, rehabilitación y reconstrucción de las zonas declaradas en estado de emergencia, para lo cual podrá designar como unidades ejecutoras a las instituciones que corresponda por su competencia, o a ella misma.

Artículo 5º—De conformidad con lo dispuesto por la Ley Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias, el Poder Ejecutivo, las instituciones públicas, entidades autónomas y semiautónomas, empresas del Estado, municipalidades, así como cualquier otro ente u órgano público están autorizados para dar aportes, donaciones, transferencias y prestar la ayuda y colaboración necesaria a la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Artículo 6º—Para la atención de la presente declaratoria de emergencia la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, de conformidad con la Ley Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, podrá destinar fondos y aceptar donaciones de entes públicos y privados.

Artículo 7º—La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, para la atención de esta emergencia podrá utilizar fondos remanentes no comprometidos de otras emergencias finiquitadas o vigentes, según disponga la Junta Directiva de este órgano.

Artículo 8º—Los predios de propiedad privada ubicados en el área geográfica establecida en esta declaratoria de emergencia, deberán soportar todas las servidumbres legales necesarias para poder ejecutar las acciones, los procesos y las obras que realicen las entidades públicas en la atención de la emergencia, siempre y cuando ello sea absolutamente indispensable para la atención oportuna de la misma, de conformidad con lo dispuesto en la primera fase de la emergencia.

Artículo 9º—La presente declaratoria de emergencia se mantendrá vigente durante el plazo que el Poder Ejecutivo disponga, según los informes que sean emitidos por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias o en su defecto por el plazo máximo que establece la Ley 8488.

Artículo 10.—Rige a partir del 9 de septiembre del 2007.

Dado en la Presidencia de la República.—San José, a los diecisiete días del mes de octubre del dos mil siete.

ÓSCAR ARIAS SÁNCHEZ.—El Ministro de la Presidencia, Rodrigo Arias Sánchez.—1 vez.—(Solicitud 49804-Comisión Nacional de Emergencias).—C-60520.—(D34045-94704).

ANEXO N°13

Escala de Beaufort

La escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es **escala de Beaufort de la fuerza de los vientos**.

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto del mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flujito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vívida, sin romper	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12 a 19	7 a 10	Flujo (Brisa Ligera)	Pequeñas olas, crestas rompiendo	Se agitan las hojas, ondulán las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonachón (Brisa moderada)	Bonachones surtidos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, bonachones muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones. Arrastre de vehículos.
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones. Daños mayores en objetos a la intemperie.
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas. Voladura de personas y de otros muchos objetos.
12	+ 118	+64	Temporal huracanado (Huracán)	Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula	Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort