

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Metodología para la evaluación hidráulica y priorización de puentes**

**Trabajo Final de graduación para optar por el grado de**

**Licenciatura en Ingeniería Civil**

Presenta:

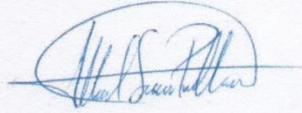
**Jeremy Solís Fonseca**

Director del Proyecto de Graduación:

**Ing. Alberto Serrano Pacheco, PhD**

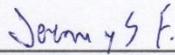
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

**HOJA DE APROBACIÓN**



---

**Ing. Alberto Serrano Pacheco, PhD**  
Director del Proyecto de Graduación



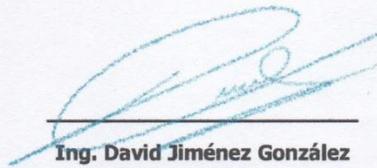
---

**Jeremy Solís Fonseca**  
Autor del Proyecto de Graduación



---

**Ing. Luis Villalobos Pacheco, M.Sc.**  
Asesor del Proyecto de Graduación



---

**Ing. David Jiménez González**  
Asesor del Proyecto de Graduación

## **Derechos de propiedad intelectual**

**Fecha: 14/12/21**

El suscrito, Jeremy Solís Fonseca, cédula 1-1583-0822, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B46828, manifiesta que es autor del Proyecto final de Graduación "Metodología para la evaluación hidráulica y priorización de puentes", bajo la dirección del Ingeniero Alberto Serrano Pacheco, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos No 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

A mi mamá por su apoyo en toda la vida.

## **Agradecimientos**

A mi madre, pareja y amigos cercanos por todo su aliento a seguir adelante. A mi director de trabajo final y asesores por la gran guía que me brindaron en este proceso.

## Tabla de contenidos

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivos.....	1
1.1.1	Objetivo general.....	1
1.1.2	Objetivos específicos.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.2.1	El problema específico .....	1
1.2.2	Importancia .....	2
1.2.3	Antecedentes .....	2
1.3	Marco teórico conceptual .....	4
1.3.1	Definición de un puente .....	4
1.3.2	Definición de la evaluación de puentes .....	5
1.3.3	Aspectos hidráulicos del puente a evaluar.....	6
1.4	Delimitación del problema.....	8
1.4.1	Alcance.....	8
1.4.2	Limitaciones.....	8
1.5	Descripción de la metodología utilizada.....	9
1.5.1	Generación de la metodología.....	10
1.5.2	Generación de la herramienta informática.....	10
1.5.3	Aplicación de la metodología .....	10
2	Metodología de inventariado e inspección de puentes .....	11
2.1	Literatura sobre inspección, inventario y toma de decisiones.....	11
2.2	Inventario de puentes .....	12
2.2.1	Datos generales .....	12
2.2.2	Registros fotográficos .....	17
2.2.3	Elementos adicionales.....	19

2.2.4	Proceso y frecuencia de inventariado e inspección.....	19
2.2.5	Equipo necesario para efectuar un inventario o inspección .....	20
2.2.6	Formulario para inventario .....	20
2.3	Inspección del estado del puente .....	23
2.3.1	Evaluación hidrológica de las características de la cuenca .....	23
2.3.2	Indicadores de estabilidad de la corriente .....	24
2.3.3	Evaluación de la puntuación del método .....	33
2.3.4	Formulario para inspecciones.....	36
3	Priorización de acciones en múltiples puentes .....	39
3.1	Importancia de un puente .....	39
3.1.1	Evaluación por el tránsito promedio diario (TPD) y clase de vías .....	40
3.1.2	Evaluación por longitud de desvío y líneas de vida.....	41
3.1.3	Evaluación por longitud del puente .....	42
3.2	Factor de riesgo y concatenación de criterios.....	42
3.3	Áreas de oportunidad .....	43
4	Casos de estudio .....	44
4.1	Análisis de la metodología aplicada en campo.....	47
4.2	Resultados generales obtenidos en las giras .....	48
4.3	Priorización.....	54
5	Conclusiones y recomendaciones .....	56
5.1	Conclusiones .....	56
5.2	Recomendaciones .....	57
6	Bibliografía.....	58
7	Anexos .....	63
7.1	M. Aguilar Ruta Nacional 2.....	63
7.1.1	Inventario.....	63

7.1.2	Inspección .....	65
7.2	Tiribí Ruta Nacional 210.....	68
7.2.1	Inventario.....	68
7.2.2	Inspección .....	70
7.3	M. Aguilar RN 204.....	73
7.3.1	Inventario.....	73
7.3.2	Inspección .....	75
7.4	Jorco RN 209.....	78
7.4.1	Inventario.....	78
7.4.2	Inspección .....	80
7.5	Cañas RN 217.....	83
7.5.1	Inventario.....	83
7.5.2	Inspección .....	85
7.6	Cañas RN 217.....	88
7.6.1	Inventario.....	88
7.6.2	Inspección .....	90
7.7	Virilla RN 117.....	93
7.7.1	Inventario.....	93
7.7.2	Inspección .....	95
7.8	Ipís RN 117 .....	98
7.8.1	Inventario.....	98
7.8.2	Inspección .....	100
7.9	Porrosatí RN 119.....	103
7.9.1	Inventario.....	103
7.9.2	Inspección .....	105
7.10	La Fuente RN 122 .....	108

7.10.1	Inventario.....	108
7.10.2	Inspección .....	110

## Tabla de Figuras

Figura 1. Elementos principales del puente.....	5
Figura 2. Esquema general del proceso de socavación con presencia de un puente.....	7
Figura 3. Diagrama de flujo de metodología .....	9
Figura 4. Medición del ángulo entre el puente y el río.....	17
Figura 5. Croquis de la ubicación de los sitios estándar de registro fotográfico.....	18
Figura 6. Formulario para la realización de inventario, página 1.....	21
Figura 7. Formulario para la realización de inventario, página 2.....	22
Figura 8. Formación de barras en un río y otros elementos.....	25
Figura 9. Formación de diques naturales y terrazas.....	27
Figura 10. Esquema del desarrollo de la metodología de inspección.....	35
Figura 11. Formulario para la realización de la inspección, página 1.....	37
Figura 12. Formulario para la realización de la inspección, página 2.....	38
Figura 13. Mapa de ubicación de los puentes evaluados .....	44
Figura 14. Mapa de las cuencas de los puentes evaluados .....	46
Figura 15. Puente cercano al puente sobre el río M. Aguilar, Ruta Nacional 2 .....	49
Figura 16. Indicadores críticos en puente sobre río Tiribí, Ruta Nacional 210.....	50
Figura 17. Fotografías del puente sobre la Quebrada La Fuente, Ruta Nacional 122.....	51
Figura 18. Resultados del indicador "Formación de llanura de inundación" .....	52
Figura 19. Resultados del indicador "Descarga de otros afluentes" .....	52
Figura 20. Resultados del indicador "Sesgo del puente respecto al río" .....	53
Figura 21. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 1 .....	63
Figura 22. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 2 .....	64
Figura 23. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 1 .....	65
Figura 24. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 2 .....	66
Figura 25. Principales fotografías del M. Aguilar Ruta Nacional 2 .....	67
Figura 26. Inventario Tiribí Ruta Nacional 210, página 1.....	68
Figura 27. Inventario Tiribí Ruta Nacional 210, página 2.....	69
Figura 28. Inspección Tiribí Ruta Nacional 210, página 1 .....	70
Figura 29. Inspección Tiribí Ruta Nacional 210, página 2 .....	71
Figura 30. Principales fotografías del Tiribí Ruta Nacional 210 .....	72
Figura 31. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 1.....	73

Figura 32. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 2.....	74
Figura 33. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 1.....	75
Figura 34. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 2.....	76
Figura 35. Principales fotografías del M. Aguilar Ruta Nacional 204.....	77
Figura 36. Inventario Jorco Ruta Nacional 209, página 1 .....	78
Figura 37. Inventario Jorco Ruta Nacional 209, página 2 .....	79
Figura 38. Inspección Jorco Ruta Nacional 209, página 1.....	80
Figura 39. Inspección Jorco Ruta Nacional 209, página 2.....	81
Figura 40. Principales fotografías del Jorco Ruta Nacional 209.....	82
Figura 41. Inventario Cañas Ruta Nacional 217, página 1 .....	83
Figura 42. Inventario Cañas Ruta Nacional 217, página 2 .....	84
Figura 43. Inspección Cañas Ruta Nacional 217, página 1.....	85
Figura 44. Inspección Cañas Ruta Nacional 217, página 2.....	86
Figura 45. Principales fotografías del Cañas Ruta Nacional 217.....	87
Figura 46. Inventario Ocloro Ruta Nacional 175, página 1.....	88
Figura 47. Inventario Ocloro Ruta Nacional 175, página 2.....	89
Figura 48. Inspección Ocloro Ruta Nacional 175, página 1 .....	90
Figura 49. Inspección Ocloro Ruta Nacional 175, página 2.....	91
Figura 50. Principales fotografías del Ocloro Ruta Nacional 175.....	92
Figura 51. Inventario Virilla Ruta Nacional 117, página 1 .....	93
Figura 52. Inventario Virilla Ruta Nacional 117, página 2 .....	94
Figura 53. Inspección Virilla Ruta Nacional 117, página 1.....	95
Figura 54. Inspección Virilla Ruta Nacional 117, página 2.....	96
Figura 55. Principales fotografías del Virilla Ruta Nacional 117 .....	97
Figura 56. Inventario Ipís Ruta Nacional 117, página 1.....	98
Figura 57. Inventario Ipís Ruta Nacional 117, página 2.....	99
Figura 58. Inspección Ipís Ruta Nacional 117, página 1 .....	100
Figura 59. Inspección Ipís Ruta Nacional 117, página 2 .....	101
Figura 60. Principales fotografías del Ipís Ruta Nacional 117 .....	102
Figura 61. Inventario Porrosatí Ruta Nacional 119, página 1 .....	103
Figura 62. Inventario Porrosatí Ruta Nacional 119, página 2 .....	104
Figura 63. Inspección Porrosatí Ruta Nacional 119, página 1.....	105

Figura 64. Inspección Porrosatí Ruta Nacional 119, página 2.....	106
Figura 65. Principales fotografías del Porrosatí Ruta Nacional 119.....	107
Figura 66. Inventario La Fuente Ruta Nacional 122, página 1.....	108
Figura 67. Inventario La Fuente Ruta Nacional 122, página 2.....	109
Figura 68. Inspección La Fuente Ruta Nacional 122, página 1 .....	110
Figura 69. Inspección La Fuente Ruta Nacional 122, página 2 .....	111
Figura 70. Principales fotografías de La Fuente Ruta Nacional 122.....	112

## Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Datos generales obtenidos en campo.....	13
Cuadro 2. Datos dimensionales obtenidos en campo .....	14
Cuadro 3. Datos generales obtenidos en escritorio .....	15
Cuadro 4. Evaluación hidrológica de la cuenca .....	24
Cuadro 5. Características del lecho del río y la llanura de inundación .....	26
Cuadro 6. Características de las márgenes del río.....	28
Cuadro 7. Otros efectos.....	29
Cuadro 8. Características del puente .....	31
Cuadro 9. Determinación del puntaje de riesgo (RP) usando los valores de cada indicador (RV) .....	35
Cuadro 10. Evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla (RP) .....	36
Cuadro 11. Evaluación por volumen de tráfico .....	40
Cuadro 12. Evaluación por clase de vía .....	41
Cuadro 13. Evaluación por longitud de desvío.....	41
Cuadro 14. Evaluación por longitud del puente .....	42
Cuadro 15. Coordenadas en WGS84 de los puentes analizados .....	45
Cuadro 16. Evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla modificado (RM) .....	48
Cuadro 17. Resultados de la evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla modificado (RM) .....	48
Cuadro 18. Importancia de un puente en términos de vialidad .....	54
Cuadro 19. Prioridad relativa de cada puente.....	55

Solís Fonseca, Jeremy

Metodología para la evaluación hidráulica y priorización de puentes.

Proyecto de graduación – Ingeniería Civil – San José, C. R.:

J. Solís F., 2021

xii, 62, [50]h; ils. col. -40 refs.

## **Resumen**

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar una metodología para la evaluación de puentes mediante visita al sitio y trabajo de oficina, que sirva a su vez para realización de un inventario y priorización de las estructuras para futuras intervenciones. El resultado de dicho trabajo servirá para mejorar la uniformidad y objetividad en la evaluación de los puentes en términos hidráulicos.

Como primera parte de este trabajo se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de contrastar las diferentes formas de abordar el inventariado, inspección, toma de decisiones y priorización de recursos. Una vez finalizado el proceso anterior, se generó una metodología de inventariado e inspección de puentes, enfocado en aspectos hidráulicos relacionados al puente y su entorno, además, la generación de la respectiva metodología de priorización de recursos en la que se utilizan los resultados de la inspección y una evaluación de características prioritarias de la vía.

Como resultado, se aplicaron las metodologías descritas en diez puentes de la Gran Área Metropolitana y, a partir de esto, se procedió a realizar la respectiva depuración, acorde a lo identificado en campo y en consecuencia de lo obtenido en la evaluación de los indicadores hidráulicos durante la inspección, además, se identificaron áreas de mejora para futuros proyectos similares o que se realicen a partir de este.

Ing. Alberto Serrano Pacheco PhD

Escuela de Ingeniería Civil

# **1 Introducción**

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo general*

Desarrollar una metodología para la evaluación hidráulica de puentes mediante visita al sitio y trabajo de oficina, que sirva a su vez para la realización de un inventario y priorización de las estructuras para futuras intervenciones.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

- Establecer una metodología complementaria de inspección e inventario de puentes, con base en aquellas existentes.
- Implementar una metodología de priorización de puentes.
- Aplicar dichas metodologías a varios puentes en rutas nacionales para su respectiva depuración y determinación de áreas de mejora para futuros proyectos de esta índole
- Generar una herramienta informática que facilite la aplicación de la metodología de inventariado e inspección.

## **1.2 Justificación**

### *1.2.1 El problema específico*

En Costa Rica, el inventariado e inspección de puentes es un tema que durante los últimos años cada vez ha tomado más importancia, sin embargo, esto ha sido difícil de implementar en el país, por lo que en muchos casos “los problemas son atendidos cuando ya los daños son evidentes y causan o podrían causar en el corto plazo la interrupción del tránsito o problemas de seguridad de los usuarios” (Benavides, 2018).

En cuanto a la inspección de puentes, en muchos de los sistemas de gestión de puentes o BMS por sus siglas en inglés (Bridge Management System) consultados, no se les ha dado la debida atención a los aspectos hidráulicos relacionados a la estructura y su entorno, en los cuales, la prevención ante daños sí es tomada en cuenta, sin embargo, se le da poco peso a la interacción que pueda tener el río con el puente y mayor relevancia a los elementos estructurales.

### *1.2.2 Importancia*

Los ríos son corrientes naturales de agua que por su propia naturaleza pueden ser dinámicos y cambiantes, por lo que su comportamiento debe ser tomado en cuenta en el diseño, inspección y mantenimiento de puentes, pues según Rocha (2010) "la acción del agua es la causa principal de las fallas que ocurren en los puentes que interactúan con ríos". De ahí la importancia de tomar en cuenta aspectos hidráulicos en la evaluación de puentes, en donde en muchos casos las principales causas de falla son por una excesiva socavación alrededor de las pilas de los puentes y la acumulación de escombros (Akay, Baduna, Melih, 2019).

En general, la condición de los puentes en Costa Rica es un aspecto importante a considerar dado el papel fundamental que tienen para el desarrollo y crecimiento de la economía del país, sin embargo, la mayoría de los que se encuentran en vías principales han cumplido su vida útil o no han recibido un adecuado mantenimiento por parte de las autoridades gubernamentales, por lo que se requiere una mayor atención, que responda a la planificación y asignación de los recursos bajo un sistema de gestión de puentes (Benavides, 2018).

### *1.2.3 Antecedentes*

Alrededor del mundo se han desarrollado diferentes metodologías o manuales estandarizados para la inspección de puentes. Estados Unidos de América (EEUU) es uno de los países que han tenido un gran avance en este tema, impulsado principalmente por la Administración Federal de Carreteras (FHWA). Ellos han desarrollado una serie de manuales para proporcionar orientación para el análisis de la estabilidad de los cauces y la socavación de puentes, dichos manuales han servido de referencia para la creación de distintas metodologías relacionadas con la inspección de puentes tanto en los EEUU como en otros países.

Entre estos documentos desarrollados por la FHWA está el HEC-18 "Evaluation Scour at bridges" (Ameson et al, 2012), el cual tiene como objetivos principales inspeccionar, evaluar y estimar la socavación en los puentes, así como el diseño de puentes nuevos y de remplazo de manera que resistan la socavación. También, el HEC-20 "Stream Stability at Highway Structures" (Lagasse, Zevenbergen, Spitz & Arneson, 2012) que tiene como objetivo principal el proporcionar estrategias para la identificación de problemas de inestabilidad de la corriente en cruces de autopistas. Además, el HEC 23 "Bridge Scour and Stream Stability Countermeasures" (Lagasse et al, 2009) que tiene como objetivo el identificar y proporcionar

pautas de diseño para la limpieza de puentes y contramedidas para la inestabilidad de los cauces.

El Departamento de Transporte de Michigan (MDOT, 2017) es otra de las instituciones en los EEUU que se han preocupado por desarrollar un manual el cual sirve para proporcionar a los inspectores de seguridad de los puentes, una guía para cumplir con los requisitos de las normas y procedimientos del National Bridge Inspection Standards (NBIS, 2014) y del Programa de Inspección de Puentes de Michigan, además, mejorar el cumplimiento de lo establecido en los documentos del FHWA mencionados anteriormente.

Australia es otro de los países que presentan un gran desarrollo en relación con la evaluación y prevención de riesgos en puentes. Main Roads Western Australia (MRWA) posee una serie de documentos que, en conjunto, detallan la gestión de inspección de puentes. Uno de estos sirve de guía para que el inspector conozca los aspectos que debe considerar al evaluar los elementos de un puente, para permitir un enfoque coherente en la inspección y los informes del puente (MRWA, 2009).

Main Roads también desarrolló varios documentos de inspecciones detalladas de puentes cuyo objetivo principal es la evaluación del estado del puente y la detección temprana de cualquier daño o deterioro que pueda representar un peligro para la seguridad de la estructura y de los usuarios de esta. Dos ejemplos de estos son el referente a puentes de concreto y acero (MRWA, 2008) y uno con respecto a los puentes de madera (MRWA, 2014), estos describen el procedimiento de evaluación de los puentes en detalle, además de brindar información estándar y la documentación respectiva para cada caso.

En Turquía recientemente se ha desarrollado un documento llamado "Development of a Safety-Inspection Method for River Bridges in Turkey", el cual está enfocado principalmente en los riesgos relacionados con el agua, razón por la que se le da mucha importancia a este documento para el presente trabajo. En dicha metodología se toman en cuenta aspectos como la limpieza en la base del puente y la acumulación de escombros, además, se le da un especial énfasis a la evaluación de la socavación en los elementos del puente dada las posibles fallas asociadas con eventos de inundación (Akay, Baduna, Melih, 2019).

En el caso de Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) posee un manual de inspección de puentes, el cual se enfoca principalmente en la parte estructural y no

tanto en los aspectos hidráulicos. Esto es una carencia significativa dada a la posibilidad de falla o daños que se pueden ocasionar por el efecto del agua hacia el puente (MOPT, 2007).

El Sistema de Administración de Estructuras de Puentes, SAEP, es una herramienta informática del MOPT, que ofrece información a los ingenieros para la toma de decisiones sobre el estado actual de los puentes en Costa Rica, sin embargo, presenta algunas falencias importantes, ya que la información brindada por el software “no da explícitamente una calificación que describa cualitativamente su condición”, lo anterior descrito por Muñoz (2017), quien además, desarrolló una guía de evaluación que califica la condición de los puentes en 6 rangos que van desde satisfactorio hasta riesgo inaceptable, esto en conjunto con la Unidad de Puentes del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).

En cuanto a metodologías de evaluación de puentes en Costa Rica, Cordero, Garro y Vargas (2010) desarrollaron un documento llamado Metodologías de Evaluación de la Vulnerabilidad de la Infraestructura Vial Nacional, el cual se enfoca en las amenazas sísmicas y la susceptibilidad a deslizamientos en taludes de corte y relleno.

### **1.3 Marco teórico conceptual**

#### *1.3.1 Definición de un puente*

Un puente se define como una estructura que incluye soportes erigidos sobre una depresión u obstrucción, como agua, carretera o ferrocarril, y que tiene una pista o pasaje para transportar tráfico u otras cargas en movimiento, y que además posee una extensión de más de 20 pies (6 m) (FHWA, 2004). Cabe destacar que en el presente proyecto el enfoque estará orientado a aquellos puentes que pasen sobre cuerpos de agua.

Los puentes están compuestos por: accesorios, los cuales son elementos sin funciones estructurales pero necesarios para el correcto funcionamiento del puente, tales como superficie de rodamiento y juntas de expansión; superestructura, conformada por elementos principales como vigas, cerchas y arcos, entre otros elementos secundarios como diafragmas y sistemas de arriostamiento; subestructura, compuesta por los apoyos, bastiones y pilas; y los accesos de aproximación, que se componen de rellenos y la losa de aproximación en los casos que exista (MOPT, 2007).

Algunos de los elementos de un puente pueden estar contruidos con distintos materiales, donde los más comunes son el concreto, acero y madera, para lo cual normalmente se pueden categorizar dichas estructuras como puentes de concreto, de acero o de madera, sin embargo, se debe considerar que en ocasiones es posible encontrar puentes mixtos, los cuales, por ejemplo, su superestructura podría estar conformada por acero y su subestructura por concreto. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de los principales elementos presentes en un puente.

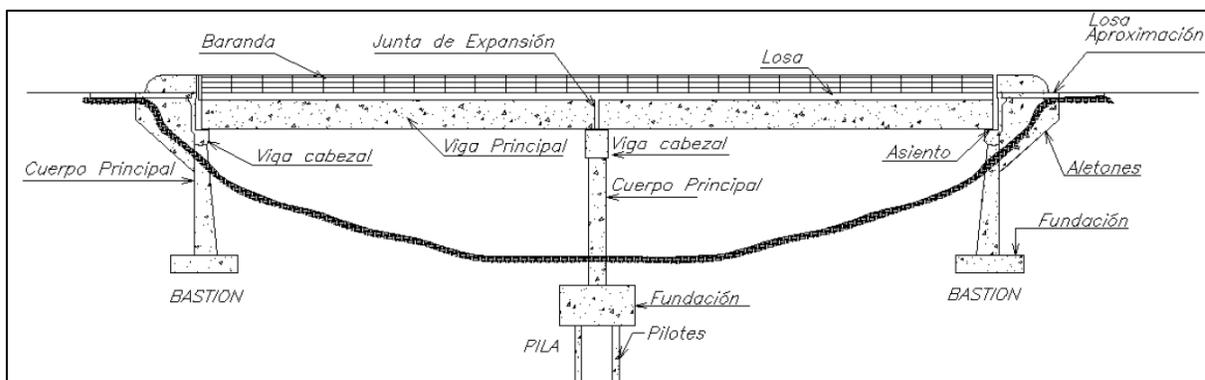


Figura 1. Elementos principales del puente

Fuente: MOPT, 2017

### 1.3.2 Definición de la evaluación de puentes

La evaluación de puentes pretende obtener una calificación sobre el estado o condición de los elementos de este, lo cual es una herramienta importante para la gestión eficiente de los recursos, dado que según Muñoz (2017) "ayuda a la Administración a identificar la necesidad de labores de mantenimiento, rehabilitación, reparación o recambio de puentes".

De manera análoga a lo mostrado en el proyecto de graduación Metodología para la evaluación y priorización de pasos de agua tipo alcantarilla de Jiménez (2015), se puede decir que la evaluación de un puente se refiere al proceso que lleva a determinar:

- A. La configuración: geométrica, estructural y circunstancial del puente, lo que implica realizar un inventario.
- B. El estado estructural y desempeño del puente, lo que implica realizar una inspección.
- C. El grupo de acciones que deben ejecutarse con base en su estado y configuración, lo que implica un proceso de toma de decisiones, el cual puede ser asistido o no por un proceso sistemático.

Para cada uno de los puntos mencionados anteriormente, se planteará una metodología específica en este trabajo. También, de manera análoga al trabajo de Jiménez (2015), es necesario incluir criterios de eficiencia para determinar a qué puentes se les debe asignar prioritariamente los recursos económicos. Por todo lo anterior, se concluye que una evaluación de puentes como la que se desarrollará en este trabajo es el resultado de un proceso de inventario, inspección, toma de decisiones y priorización en el uso de recursos (Jiménez, 2015).

### *1.3.3 Aspectos hidráulicos del puente a evaluar*

#### 1.3.3.1 Evaluación hidrológica de las características de la cuenca

Para este tipo de evaluación es necesario considerar varios indicadores hidrológicos tales como: el uso de suelo y la presencia de estructuras de retención en la cuenca. Como se puede apreciar, los indicadores para la evaluación hidrológica corresponden principalmente a trabajo de oficina, más que a una inspección visual del puente, sin embargo, dichas características son cruciales para evaluar la estabilidad del cauce existente y futura (Akay, Baduna, Melih, 2019).

#### 1.3.3.2 Características del lecho del río y la llanura de inundación

Las características del lecho consisten en el patrón del canal, que toma en consideración la existencia de meandros cercanos al puente, el desarrollo de barras y características de su cobertura vegetal, tanto aguas arriba como aguas abajo del puente. En este caso, la mayoría de los parámetros pueden ser obtenidos en campo mediante una inspección visual, sin embargo, por las condiciones propias del río, puede que para algunos no sea posible obtener una medición o que esta no sea del todo precisa (Akay, Baduna, Melih, 2019).

En el caso de la llanura de inundación, se evalúa la presencia de las que son activas, así como la existencia de diques naturales o terraceo en la zona. Para efectos de estos criterios será necesario la consulta de mapas u otras fuentes, así como una inspección visual de la zona para una mayor claridad de la condición actual (Akay, Baduna, Melih, 2019).

#### 1.3.3.3 Características de las márgenes del río

Según Akay et al (2019) las márgenes del río son los componentes más importantes de una sección transversal del canal para la evaluación de la estabilidad vertical de las corrientes, esto dado a que la inestabilidad de la corriente puede provocar erosión lateral de la margen, profundización o ensanchamiento del canal y las llanuras de inundación, esto debido al material

caído de la margen. Entre los aspectos a evaluar en la margen están: su altura, desgaste masivo o falla y el corte de la margen (Akay, Baduna, Melih, 2019).

#### 1.3.3.4 Otros efectos

Akay et al (2019) observó que algunas actividades inducidas por humanos y características específicas del canal se transformaron en problemas de inestabilidad en la vecindad de los puentes, por lo que se consideran aspectos como confluencias de otras fuentes de agua, acumulación de escombros y la recuperación del río (Akay, Baduna, Melih, 2019).

#### 1.3.3.5 Características del puente

Además de los aspectos hidráulicos, es necesario tomar en cuenta algunas características referentes al puente, dado que pueden incrementar la socavación local alrededor de las fundaciones u otros elementos. Según Suárez (2001) la socavación se puede definir como “el levantamiento y transporte de los materiales del lecho del río en el momento de una avenida o creciente, o por la construcción de una obra dentro del cauce”, lo cual se muestra a modo de ejemplo en la Figura 2.

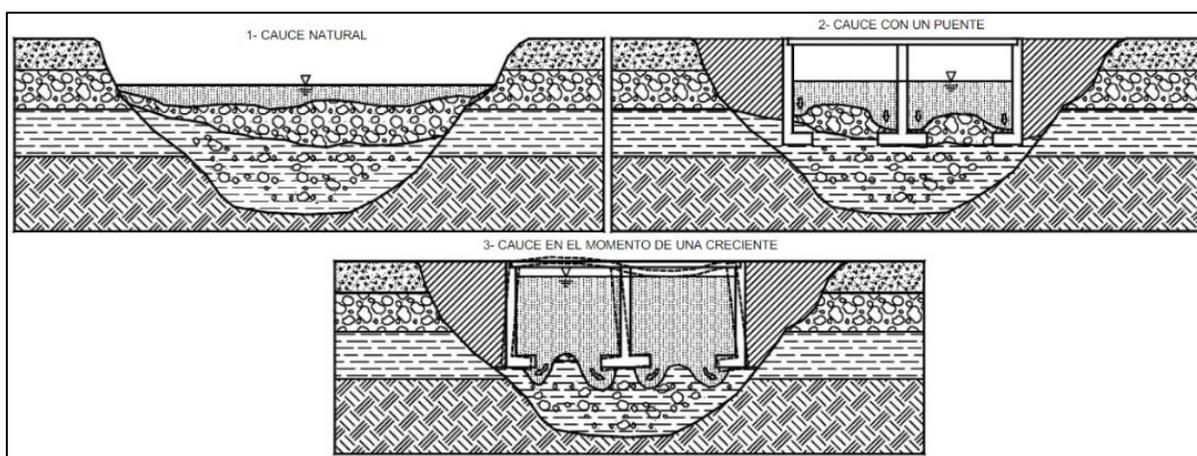


Figura 2. Esquema general del proceso de socavación con presencia de un puente

Fuente: Suarez, 2001

Entre los aspectos a evaluar con respecto a las características del puente se tiene: la ubicación del puente, distancia aguas arriba al puente desde el impacto del meandro, inclinación del puente, flujo en los tramos, y características de pilas y bastiones (Akay, Baduna, Melih, 2019).

## **1.4 Delimitación del problema**

### *1.4.1 Alcance*

Se presenta una metodología sistemática que permite, para la mayoría de las configuraciones y situaciones encontradas a menudo en puentes, realizar un inventario, una inspección y la respectiva toma de decisiones sobre la priorización de recursos evaluado para cada puente.

En conjunto con lo anterior, se presenta una metodología para la priorización de inversión de recursos en una serie de puentes donde se realizó el proceso previo de inventario e inspección. Además, se complementa con la asignación de rangos para los aspectos evaluados en los puentes, de acuerdo a la metodología de inspección.

Lo anterior se ejemplifica con varios estudios de caso, con la finalidad de llevar a la práctica la metodología y de esta forma realizar su depuración.

Además, se desarrolló una herramienta informática, que permite simplificar el proceso de escritorio de la metodología, además del almacenamiento de la información tomada en campo y oficina. Para dicha herramienta se utilizó la aplicación "KoBoToolbox" la cual consiste en un conjunto de utilidades para la recopilación de datos en campo (KoBoToolbox, s.f.)

### *1.4.2 Limitaciones*

La investigación se limita a fuentes de información encontradas en el idioma español o inglés.

La metodología de priorización comprende el empleo de un análisis de rutas alternas y las variables obtenidas previamente en el inventario e inspección.

Las restricciones sanitarias debido a la situación con el COVID-19 limitaron la realización de las giras, las cuales debieron efectuarse por cuenta propia debido a la imposibilidad de utilizar un vehículo específico para efectuar las evaluaciones en campo. Además, el proyecto se limita a lugares dentro de la Gran Área Metropolitana, dada la mayor facilidad de transporte mediante autobuses, taxis o a pie.

Ninguno de los puentes evaluados cuenta con pilas, sino que la subestructura consiste de dos bastiones, uno en cada margen del cauce, por lo que en este análisis particular se eliminó la condición de puentes con pilas.

## 1.5 Descripción de la metodología utilizada

La metodología por seguir para la elaboración del proyecto propuesto se muestra en la Figura 3.

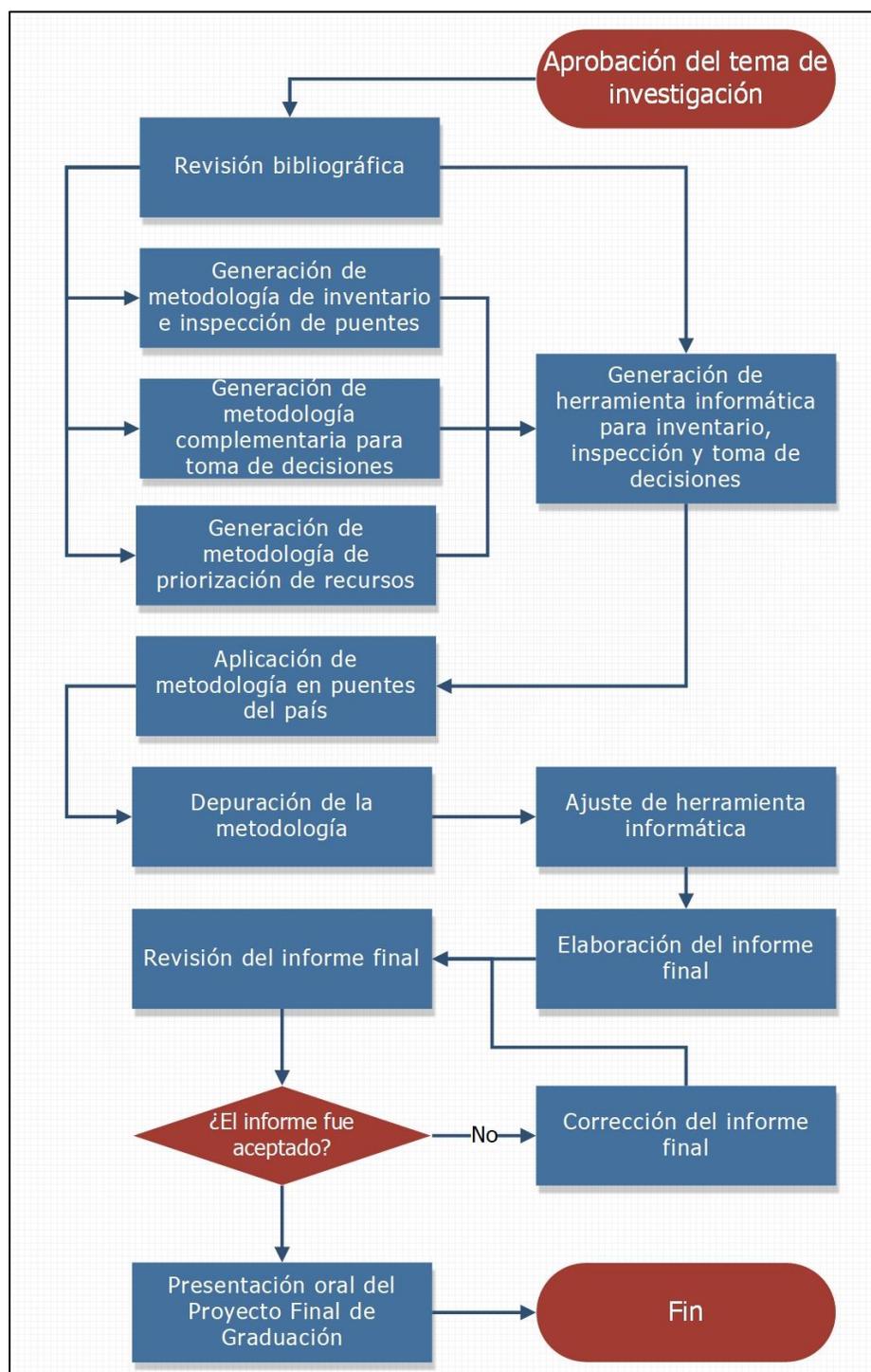


Figura 3. Diagrama de flujo de metodología

### *1.5.1 Generación de la metodología*

Para definir las metodologías mostradas en la Figura 3, se buscó contrastar las diferentes formas de abordar el inventariado, inspección, toma de decisiones y priorización de recursos por parte de las fuentes consultadas, las cuales incluyen uno o varios de estos temas de interés para el proyecto.

Algunas de las fuentes consideradas son: Akay et al (2019), Jiménez (2015), Main Roads (2008, 2009, 2014), Arneson et al (2012) y Lagasse et al (2009, 2012). Con dichas fuentes se determinó un esquema general de la evaluación de los puentes con enfoque en parámetros hidráulicos, esto basado principalmente en Akay et al (2019), pero de igual forma se debe contrastar con el resto (en los casos que aplique). Una vez realizado lo anterior, se verificó que cada una de las etapas fueran congruentes entre sí. Además, fue necesario realizar una lista de los materiales mínimos necesarios para el proceso de inventario e inspección en campo.

### *1.5.2 Generación de la herramienta informática*

Basado en los resultados de la generación de la metodología, se utilizaron las utilidades del software KoBoToolbox con el cual se pueden generar formularios prácticos para utilizar en campo, y mediante la aplicación en su versión Android se realiza el levantamiento de los datos. Dicha herramienta se diseñó de manera que se ajustara con las necesidades del proyecto y se pretende que sus funciones sean intuitivas para que quien la use no requiera de explicaciones complejas sobre su uso práctico (KoBoToolbox, s.f.).

### *1.5.3 Aplicación de la metodología*

Se empleó la metodología de inventariado, inspección, toma de decisiones y priorización en varios puentes del país. Para lo cual se empleó la herramienta informática desarrollada para la toma de datos en campo. La información que no sea posible obtener en campo, se debió revisar en mapas específicos, realizar consulta a profesionales u otras fuentes confiables según fuera el caso.

Finalmente, con ayuda de la experiencia obtenida en campo y la búsqueda de los datos que forman parte de la investigación de oficina, se procedió a mejorar la metodología y acorde a lo anterior, se modificó la herramienta informática.

## **2 Metodología de inventariado e inspección de puentes**

Para el correcto funcionamiento y extensión de la vida útil de los puentes de una región, es necesario brindarles un mantenimiento según su condición, la cual es cambiante con el tiempo y su entorno, de manera que se prevengan daños a la estructura, a los usuarios de esta y a los vecinos de la zona. Por todo lo anterior, se le debe dar un adecuado seguimiento al estado del puente, esto mediante el inventariado, inspección y acciones correctivas a realizar en el puente o su entorno para mantener sus condiciones operativas con normalidad y seguridad.

### **2.1 Literatura sobre inspección, inventario y toma de decisiones**

Tal como se mencionó en la sección 1.2.3, alrededor del mundo se aplican actualmente diferentes metodologías para la inspección de puentes. En el caso de Estados Unidos de América (EEUU), además de la norma impulsada por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) existen en algunos estados normas específicas para dichas zonas. Ejemplo de lo anterior, se tienen las metodologías consultadas de Michigan y Arizona, MDOT (2017) y ADOT (2014) respectivamente, además, se consultó la del estado de Delaware (2017).

En Australia, Main Roads desarrolló una serie de documentos (mencionados en la sección 1.2.3) que se enfocan en la evaluación y prevención de riesgos en puentes, esto para diferentes tipos de puentes, como lo son los de concreto y acero (MRWA, 2008) o madera (MRWA, 2014).

En las metodologías mencionadas anteriormente, en lo relacionado a la inspección de puentes, el énfasis es la evaluación de elementos y aspectos de la parte estructural del puente, y en la mayoría de los casos consultados, se tiene una clara definición entre la metodología de inventariado y la de inspección rutinaria. Por ejemplo, en el caso de ADOT (2014) se tienen varios tipos de inspecciones, pero para efectos de este trabajo son de principal interés las "Inspecciones iniciales", las cuales básicamente proveen información general de la estructura; y las "Inspecciones rutinarias", las cuales proveen documentación del estado físico y funcional de las condiciones del puente.

En Turquía Akay et al (2019) desarrolló una metodología con énfasis en evaluación de aspectos hidráulicos que pueden afectar negativamente el puente, debido a la gran cantidad de casos de fallas por temas relacionadas al funcionamiento hidráulico de estos, en especial las ocasionadas por la socavación en cimientos del puente, acumulación de escombros, entre otros.

## **2.2 Inventario de puentes**

Es de gran importancia llevar una base de datos actualizada del inventario de puentes con los que cuenta una región, de esta forma se pueda tener un control sobre el estado de cada uno y posibles acciones que estos requieran para que trabajen de forma aceptable y segura.

En dicha base de datos se debe incluir preferiblemente, información que caracterice la estructura, como el tamaño, materiales con los que está construido, localización, entre otros detalles que permitan dar una idea del estado general del puente en comparación con futuras inspecciones.

Toda la información recopilada durante una inspección o elaboración del inventario respectivo es importante para programar un mantenimiento oportuno de la estructura (MOPT, 2007). Además, es fundamental tomar en cuenta aspectos como el historial de inundaciones de la zona, así como fechas de la última reparación, mantenimiento y evaluación, en los casos en los que se cuente con dicha información, de manera que favorezca la toma de decisiones (Jiménez, 2015).

### *2.2.1 Datos generales*

Parte de los datos que se requiere para el inventario de un puente deben ser obtenidos en campo, sin embargo, otros comprenden la consulta a fuentes bibliográficas, instituciones, entre otros. Estos últimos se muestran en el Cuadro 3.

Además, en campo puede subdividirse en aquellas mediciones (Cuadro 2) y la que no se obtiene de esa manera (Cuadro 1). Algunas de las mediciones o datos de la estructura podrán ser verificados o consultados en bases de datos existentes, como lo es, por ejemplo, la del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) del MOPT (Gutiérrez & Muñoz, 2017)

Para la organización de la información de los Cuadros mencionados anteriormente se utilizará como base el trabajo realizado por Jiménez (2015), además de otras fuentes que han sido mencionadas en este documento, de las cuales se toman elementos que son de relevancia para la evaluación de la estructura.

Cuadro 1. Datos generales obtenidos en campo

<b>Elemento</b>	<b>Significado</b>
Elementos potencialmente afectados <sup>1</sup>	Se identifica tanto en campo como en escritorio elementos que podrían estar potencialmente afectados por el colapso del puente como: edificaciones, vías, ductos, torres de telecomunicaciones.
Tipo de protección del terraplén en ambas márgenes del río <sup>1</sup>	Se reporta el tipo de protección que tiene el terraplén, por ejemplo: gaviones, concreto, mallas, empedrados, etc. En el caso de no tener se debe especificar su ausencia como "ninguno".
Materiales principales del puente <sup>1,2,3,4,5</sup>	Se identifican los materiales principales de la superestructura y subestructura del puente. Los materiales más usuales son: concreto, metal y madera.
Número de subestructuras <sup>1,2,3,4,5</sup>	Se reporta el número de superestructuras existentes en el puente.
Control de socavación aguas arriba y aguas abajo del puente <sup>1</sup>	Se identifica si existen obras de control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente, tales como rocas, gaviones, concreto lanzado, concreto, etc.
Tipo de aguas que se observan <sup>1</sup>	Se identifica si existen indicios de descargas de aguas grises o negras al río, también basura o escombros. Se puede escoger más de una opción si aplica.
Estimación general del área mojada por debajo de la cuerda inferior del puente	Se estima el área mojada debajo de la cuerda inferior del puente. De ser posible se determina en campo, de lo contrario pueden utilizarse como referencia planos disponibles del plano en caso de que estos existan.

*Fuentes:* <sup>1</sup>Jiménez, 2015; <sup>2</sup>MOPT, 2007; <sup>3</sup>MDOT, 2017; <sup>4</sup>MRWA, 2008; <sup>5</sup>DeIDOT, 2017.

*Nota:* <sup>6</sup>Para esta medición puede requerirse mejores instrumentos o más entrenamiento que los necesarios en una inspección regular.

Cuadro 2. Datos dimensionales obtenidos en campo

<b>Elemento</b>	<b>Significado</b>
Longitud total del puente <sup>2,3,4,5</sup>	Distancia medida entre los bordes extremos de los bastiones del puente a nivel de rasante.
Ancho total del puente <sup>2,3,4,5</sup>	Sumatoria de los anchos de calzada, espaldones, ciclovía, aceras y barandas.
Separación promedio entre aperturas <sup>2,3,5</sup>	Se mide horizontalmente la separación promedio entre las aperturas del río.
Pendiente del terraplén <sup>1</sup>	Se identifica la pendiente de los taludes del terraplén en ambas márgenes del río. Si hubiera terrazas debe de estar detallado en el dibujo de la sección transversal del puente.
Ángulo del río con el puente aguas arriba y aguas abajo <sup>1</sup>	Se mide el ángulo que existe entre la dirección de entrada bajo el puente y el río, así como en la salida. Ver Figura 4.
Nivel de crecientes visto en campo aguas arriba y aguas abajo <sup>1</sup>	En caso de presentarse basura en el sitio se identifica de ser posible la altura máxima a la que la basura se encuentra, en caso de no existir, se identifica el punto donde comienza a existir vegetación no acostada. También se puede preguntar a los vecinos de la zona hasta donde aproximadamente llega el río durante crecientes.

Fuentes: <sup>1</sup>Jiménez, 2015; <sup>2</sup>MOPT, 2007; <sup>3</sup>MDOT, 2017; <sup>4</sup>MRWA, 2008; <sup>5</sup>DeIDOT, 2017.

Nota: <sup>6</sup>Para está medición puede requerirse mejores instrumentos o más entrenamiento que los necesarios en una inspección regular.

Cuadro 3. Datos generales obtenidos en escritorio

<b>Elemento</b>	<b>Significado</b>
Año de construcción <sup>1,2,3,5</sup>	Se reporta el año en que fue construido el puente
Fecha de última reparación <sup>1,2,3</sup>	Se reporta la fecha en que fue reparado el puente (Mes/Año).
Fecha de último mantenimiento <sup>1,2,3</sup>	Se reporta la fecha en que se le dio el último mantenimiento preventivo al puente (Mes/Año).
Fecha de último inventario e inspección <sup>1</sup>	Se reporta la fecha en que se dio la última evaluación del puente con el método del presente documento (Mes/Año).
Ubicación geográfica <sup>1,2,3,4</sup>	Se reportan las coordenadas Norte y Este del punto en el espaldón de la carretera en la línea de centro del puente en la ladera aguas arriba. Se usan coordenadas en longitud-latitud, y proyección CRTM 05 en el reporte final de la ubicación geográfica.
Ubicación política <sup>1,2</sup>	Se reportan distrito, cantón y provincia en la que está ubicada el puente o bien, de cuáles distritos, cantones o provincias es divisoria.
Ruta <sup>1,2,3,4,5</sup>	Se reporta el número de ruta nacional a la que pertenece el puente.
Río que cruza <sup>2,4</sup>	Se reporta el nombre del río sobre el que se encuentra el puente.
Número de carriles <sup>1,2,3,5</sup>	Se reporta el número de carriles presentes de la carretera en el punto de paso del puente.
Tránsito promedio diario <sup>1,2,3,4,5</sup>	Se identifica el tránsito promedio diario anual acorde a la última información disponible de la página de la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT (MOPT, 2020).
Distancia de recorrido en rutas alternas <sup>1,2,5</sup>	Se anota cuál es la distancia de recorrido de las rutas alternas acorde a la información del SAEP.
Tipo de zona <sup>1,3</sup>	Se identifica tanto en campo como en escritorio el tipo de zona en la que se encuentra el puente: residencial, industrial-comercial, mixta o despoblada.
Potencial de inundaciones <sup>1</sup>	Se identifica si el puente está dentro de una zona con potencial de inundaciones acorde a la capa de amenaza natural de la Comisión Nacional de Emergencias disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT, s.f.)
Área y perímetro de la cuenca, longitud del cauce, y diferencia de altura de cuenca	Se calcula el área y perímetro de la cuenca con salida ubicada en la sección del puente. Se calcula la longitud del cauce hasta el punto de control, y la diferencia de altura entre inicio y fin de cuenca.

Fuentes: <sup>1</sup>Jiménez, 2015; <sup>2</sup>MOPT, 2007; <sup>3</sup>MDOT, 2017; <sup>4</sup>MRWA, 2008; <sup>5</sup>DeIDOT, 2017.

Como se mencionó anteriormente, muchos de los elementos de la información a recolectar en el inventario se tomaron del trabajo final de graduación de Jiménez (2015), cuyo trabajo realizado es homólogo al presentado en este documento, pero en el área de alcantarillas, por lo que se da una gran aplicabilidad con respecto a los puentes y se pretende mantener un formato similar de los elementos del presente trabajo, para que en caso de una posible unión a futuro de ambas metodologías esto pueda ser llevado de una forma más sencilla.

También se toman algunos elementos generales del SAEP (2017) como datos geométricos tales como largo y ancho total de puente, información histórica del mismo, en otros. En algunos de los casos la información requerida podrá ser extraída directamente de la base de datos de puentes del SAEP y corroborada en campo, como lo son las medidas principales del puente o ubicación geográfica.

Uno de los elementos propuestos por Jiménez (2015) fue el tipo de aguas observables lo cual es un aspecto de gran importancia en caso de requerirse acciones correctivas ante situaciones que afecten al puente o su entorno, además, el tipo de zona, también encontrado en MDOT (2017) donde en el caso de dicha metodología se identifica el tipo de uso de suelo aguas arriba. Los parámetros mencionados pueden ser de gran utilidad para una eventual priorización sobre los recursos disponibles para intervención de los puentes del país.

También se consideran algunos elementos adicionales, como la estimación general del área mojada por debajo de la cuerda inferior del puente, la distancia entre cuerda inferior del puente y llanura de inundación, el área de la cuenca, longitud del cauce, y diferencia de altura entre inicio y fin de cuenca, los cuales son datos que podrían ser de gran utilidad en caso de ser necesario un análisis hidráulico más profundo del puente.

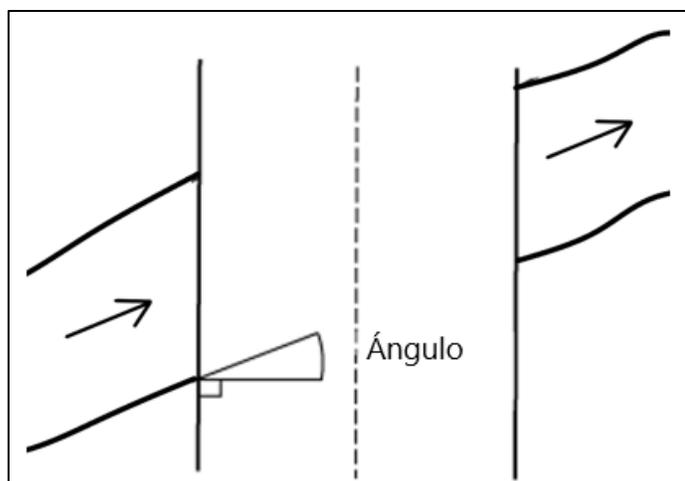


Figura 4. Medición del ángulo entre el puente y el río

Fuente: Main Roads West Australia, 2008

### 2.2.2 Registros fotográficos

Las fotografías son una parte importante de cualquier inventario o inspección que se realice en un puente, dado que ayudan a documentar la configuración y las condiciones del puente con más detalles que solo palabras. A menudo son esenciales para comprender el entorno general del puente o partes específicas que requieran de mayor atención.

En las metodologías consultadas se destaca lo descrito en el párrafo anterior y en todas ellas se menciona la necesidad de dos tipos de fotografías. Por ejemplo, en DeIDOT (2017) se utilizan fotografías estándar y de condición. Las fotografías estándar representan la configuración general del puente y su entorno, y son requeridas principalmente para el inventariado del puente. Para efectos del presente trabajo, las fotografías de condición se enfocan en problemas específicos encontrados en elementos en contacto con el río, como problemas de erosión en los bastiones o pilas del puente, o en el entorno del río como erosión de las márgenes cercanas al puente, ya sea aguas arriba o aguas abajo.

Además, las fotografías sirven para llevar un registro histórico de las condiciones del puente y su entorno, con lo que para que estas sean comparables, al realizar una nueva inspección o actualización del inventario, se debe tomar la fotografía de forma que el enfoque sea lo más parecido posible a la fotografía pasada, ya sea que se utilicen fotografías georreferenciadas o intentar repetir el encuadre de esta (Jiménez, 2015).

Con respecto a las fotografías de condición, se deben incluir aquellos elementos en los que se presenten problemas específicos que atenten contra la seguridad del puente y el entorno, además, cabe destacar que dicho tipo de fotografía son esperadas en una inspección regular. En el caso de las fotografías estándar, tal como se mencionó anteriormente se esperan como mínimo las siguientes fotografías para el inventariado del puente, de manera que se muestre la configuración general del puente y su interacción con el río:

- Vista a lo largo de línea centro de la carretera, preferiblemente en ambos sentidos.
- Vista general del puente en ambos lados, de forma que se muestre la configuración general del mismo y los elementos en contacto con el río.
- Vista del cauce desde el puente, tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo.
- Vista de cada bastión, de manera que se enfoque principalmente su contacto con el río.
- Vista de cada pila, de manera que se enfoque principalmente su contacto con el río.

En la Figura 5 se muestra un croquis de los sitios estándar desde donde tomar las fotografías, de manera que haya uniformidad al momento de realizar dicha tarea en cada puente.

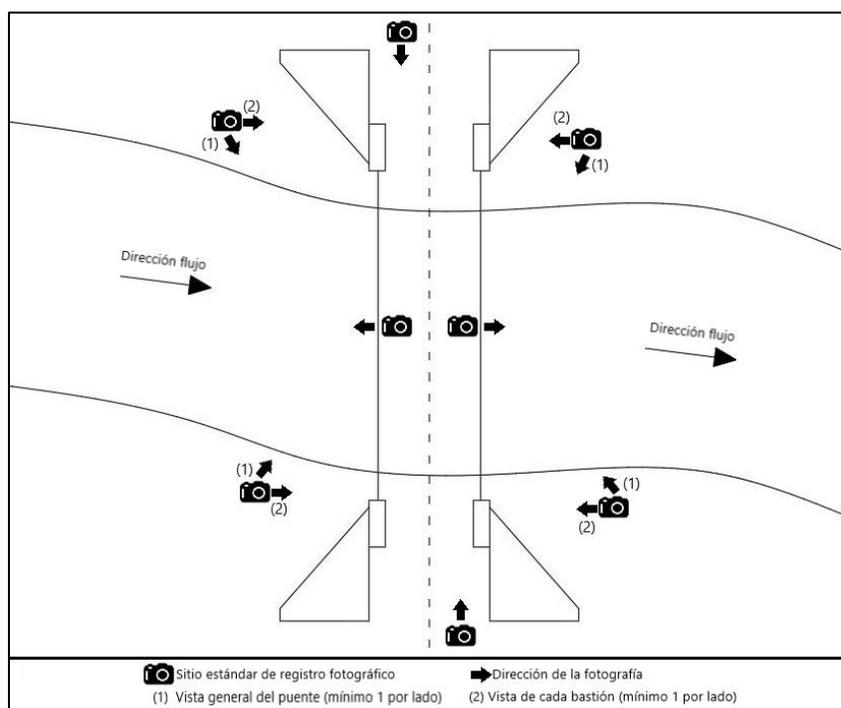


Figura 5. Croquis de la ubicación de los sitios estándar de registro fotográfico

Fuentes: Jiménez, 2015; Solís, 2021

### *2.2.3 Elementos adicionales*

Una buena opción para establecer un panorama más claro de lo observado en campo es generar un croquis del puente y su entorno, o ya sea una imagen satelital de la zona de interés, de manera que se puedan incluir detalles como los edificios cercanos, ubicación de los carriles y otras estructuras de la carretera. Además, es importante incluir detalles adicionales como la dirección del flujo y problemas encontrados en zonas específicas. También, es importante elaborar una vista en elevación de manera que puedan apreciarse de forma general los aspectos más relevantes de la estructura, por ejemplo, la cantidad de pilas y su ubicación, así como las pendientes de los taludes, entre otros aspectos que el inspector considere relevante (Jiménez, 2015).

Otro elemento importante para incluir, según Jiménez (2015) y MOPT (2007), es el cálculo de la distancia de las rutas alternas en caso de falla del puente, información que puede ser utilizada en una etapa de análisis de priorización posterior. Esto puede estar representado en forma de mapa digital, por ejemplo, en formatos como “.shp”, “.kmz” o “.kml”, en cuyo caso la distancia de la ruta alterna debe reportarse en el formulario de inventariado del puente.

### *2.2.4 Proceso y frecuencia de inventariado e inspección*

El tipo de inspección que recibe un puente puede variar durante su vida útil de manera que esta refleje la intensidad de la evaluación o información requerida para cada momento particular, razón por la que en la mayoría de las metodologías consultadas acerca de la evaluación de puentes, se acostumbra a dividir el trabajo en dos partes: las inspecciones de inventariado y las de rutina.

El objetivo de las inspecciones de inventariado es recopilar en un formulario la información básica del puente de manera que se tenga una idea general de su estado, ya sea si el puente es nuevo o antiguo. Por lo general la información de dicho formulario se mantendrá sin cambios, salvo que al realizar una inspección de rutina se encuentren diferencias significativas entre el estado actual del puente y su estado anterior, en cuyo caso se debe corregir la información respectiva en el formulario de inventario.

La frecuencia con la que se realizan los dos tipos de inspección mencionados puede variar según la metodología utilizada. En el caso de MDOT (2017) se tiene una inspección inicial que se realiza únicamente al introducir el puente por primera vez a la base de datos, cuya

información puede ser modificada posteriormente al realizar las inspecciones de rutina, las cuales recomiendan realizar en periodos no mayores a los 48 meses. Otro ejemplo es lo planteado por DelDOT (2017) donde se basan en los rankings de condición propios de su metodología para establecer la frecuencia a la que realizan las inspecciones, lo cual puede variar entre 6 a 48 meses.

Para el caso de la metodología planteada en el presente trabajo, se recomienda una frecuencia para las inspecciones de inventariado de 36 meses y para las inspecciones de rutina al menos una vez al año, o luego de eventos extremos que puedan haber afectado significativamente la integridad de la estructura y su entorno.

### *2.2.5 Equipo necesario para efectuar un inventario o inspección*

Se dispone de una lista corta de equipo y materiales dado a que el objetivo es que estas inspecciones o inventarios sea posible lograrlos con una sola persona (máximo dos), de manera que las labores de campo no sean demasiado tediosas a la hora de cargar con el equipo necesario.

- Formulario de inspección y de inventario
- Cinta medidora de 10 m
- Odómetro
- Linterna
- Teléfono celular con la aplicación Kobo ToolBox
- Clinómetro
- Chaleco de seguridad

### *2.2.6 Formulario para inventario*

De manera que se pueda recolectar eficientemente la información requerida para el inventario de cada puente, se provee un formulario para emplearse en campo, lo cual facilita el orden de los datos para su posterior análisis. En la Figura 6 y la Figura 7 se muestran respectivamente la parte frontal y el dorso del formulario de inventario propuesto.

<b>INVENTARIO DE PUENTES</b>		Nombre:	Código:
Encargados:	1. Jeremy Solís Fonseca	2.	Fecha: 00-00-0000
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>			
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>	
Año de construcción:		Coordenada Norte:	
Fecha de última reparación:	00-00-0000	Coordenada Este:	
Fecha de último mantenimiento:	00-00-0000	Provincia:	N° Ruta:
Fecha de último inventario:	00-00-0000	Cantón:	N° de carriles A:
Fecha de última inspección:	00-00-0000	Distrito:	N° de carriles B:
<i>Datos viales</i>			
Longitud ruta alterna (km)		TPD	
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>			
Tipo de zona:	<input type="checkbox"/> Residencial	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta
Edificaciones cercanas:	<input type="checkbox"/> Edificios	<input type="checkbox"/> Vías	<input type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:
¿Potencial de inundación?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Río que cruza:	
Perímetro de la cuenca (Km)		Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	
Área mojada por debajo del puente (m2)		Longitud del cauce principal (km)	
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:
	Subestructura:	<input type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:
Tipo de protección del terraplén del puente en ambos márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara	<input type="checkbox"/> Jabonosa	<input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>			
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>			
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)			Número de subestructuras
Ancho del puente: (m)			Separación promedio entre aperturas del río: (m)
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>	<b>5- Observaciones</b>		

Figura 6. Formulario para la realización de inventario, página 1

<b>INVENTARIO DE PUENTES</b>	Nombre: <input type="text"/>	Código: <input type="text"/>
<b>5- Fotografías generales</b>		
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>	<i>Vista general del puente</i>	
<b>5- Vista en elevación</b>		
<b>6- Otros diagramas y señalamientos</b>		

Figura 7. Formulario para la realización de inventario, página 2

## **2.3 Inspección del estado del puente**

De forma análoga a lo descrito por Jiménez (2015) para el caso de alcantarillas, el objetivo de la inspección de un puente es identificar aquellas situaciones o elementos que puedan llevar al colapso parcial o total de la estructura y con ello a una afectación negativa en los alrededores del puente.

Según Akay et al (2019) la mayoría de los BMS se enfocan principalmente en el monitoreo de la salud estructural del puente, con menos consideración por peligros relacionados con el flujo del agua, como la socavación en los cimientos del puente y la acumulación de escombros. Por lo anterior, el énfasis en el presente trabajo será la evaluación de aspectos hidráulicos que puedan afectar el funcionamiento adecuado y continuo del puente.

Para determinar el estado de cada elemento o aspecto evaluado en un puente es necesario clasificar su condición acorde a rangos determinados, los cuales faciliten el trabajo del inspector y se reduzca en lo más posible las subjetividades dentro de los resultados de la evaluación. Ejemplo de lo anterior es la metodología planteada por Akay et al (2019), donde se establece un puntaje para cada elemento evaluado que puede ir entre 1 y 12 puntos, con cuatro rangos de clasificación: excelente (1 a 3 puntos), bueno (4 a 6), adecuado (7 a 9) y malo (10 a 12).

El presente trabajo se basará principalmente en dicha metodología mencionada, la cual fue desarrollada y probada en Turquía, esto con respecto a la parte de la inspección del puente, sin embargo, para evitar subjetividad con el puntaje de un mismo rango de clasificación y establecer cierta analogía con los rangos establecidos por Jiménez (2015) en su trabajo análogo sobre alcantarillas, se utilizarán las siguientes clasificaciones: bueno (1 punto), regular (2 puntos), malo (3 puntos) y crítico (4 puntos).

### *2.3.1 Evaluación hidrológica de las características de la cuenca*

La evaluación hidrológica del puente se realiza utilizando varios indicadores, como el uso del suelo y la presencia de obras de retención en la cuenca tal y como se muestra en el Cuadro 4. Cabe destacar que, en la metodología desarrollada en Turquía, se analiza adicionalmente la magnitud, tipo, deslizamientos de tierra e historial de inundaciones de precipitación de la cuenca, sin embargo, dicha información podría no estar disponible por lo que se omitirá de esta sección, además, también se consideran una serie de parámetros morfométricos pero debido al alcance de este proyecto esto también será omitido (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Cuadro 4. Evaluación hidrológica de la cuenca

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Uso de suelo en la cuenca	Cuenca hidrográfica inalterada, poca o ninguna actividad humana. Pérdida limitada de bosque, cambios menores debido a tierras agrícolas, ganado e intervención humana	Pérdida limitada de bosque, cambios menores debido a tierras agrícolas, ganado e intervención humana	Urbanización notable, pérdida de actividad forestal, ganadera y agrícola	Urbanización e industrialización densa, actividades agrícolas y ganaderas, pastos de pradera están presentes
Estructuras de retención en la cuenca	Sin plantas hidroeléctricas o presas, solo una pequeña capacidad de estanques o cuencas de retención de inundaciones y están alejados del puente	Relación de la superficie de la planta hidroeléctrica, estanque o cuenca de retención de inundaciones con respecto al área de la cuenca <0,5 % y lejanía al puente	Plantas hidroeléctricas consecutivas, 0,5 % < área de superficie de agua / área de cuenca < 1 % y cerca del sitio del puente de manera que el flujo que pasa por debajo de la corriente del puente se ve afectado	Presas consecutivas y plantas hidroeléctricas, relación 1 % < de superficie de agua / área de cuenca, muy cerca del sitio del puente, de manera que el flujo que pasa por debajo del puente y el lecho del arroyo se ve afectado

Fuente: Akay, Baduna & Melih, 2019

### 2.3.2 Indicadores de estabilidad de la corriente

La sección transversal del canal se subdividió en tres grupos como lecho y llanura de inundación, márgenes y otros efectos, para determinar la estabilidad vertical u horizontal del cauce. En esta sección se consideran las estructuras de formación del río, el tipo de material y la cobertura. Cabe destacar que algunos de los límites establecidos para cada criterio fueron obtenidos de las observaciones aplicadas en Turquía, por lo que es posible que se requieran modificaciones para una mejor aplicación a las condiciones del país (Akay, Baduna, Melih, 2019).

### 2.3.2.1 Características del lecho del río y la llanura de inundación

Tal como se mencionó en la sección 1.3.3.2, las características del lecho consisten en el patrón del canal, el desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal, los cuales se aprecian con detalle en el Cuadro 5.

Según lo descrito por Akay et al (2019), los indicadores del patrón del canal y el desarrollo de barras indican directamente la profundidad y velocidad del flujo, el mecanismo y la capacidad de transporte de sedimentos.

En el caso de la llanura de inundación, se evalúa la presencia de llanuras activas, así como la existencia de diques naturales o terracedo en la zona. La ocupación de estas llanuras de inundación por algunas unidades residenciales es un problema común, lo cual conduce a un aumento de las condiciones de rugosidad del lecho. Por lo tanto, incluso durante eventos de inundación moderadamente frecuentes, el caudal del río aumenta de manera que las tierras cercanas se inunden (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Se debe considerar que para algunos factores a evaluar podría no ser suficiente la visita al sitio para obtener un criterio adecuado, por lo cual, cuando sea necesario y posible, se debe consultar a los vecinos de la zona o fuentes adicionales para obtener información que facilite la toma de decisiones.

En la Figura 8 se muestra gráficamente algunos de los conceptos necesarios a aplicar en la evaluación durante la inspección del puente, donde se aprecia principalmente para efectos de esta sección, algunos tipos de formaciones de barras que se pueden formar en un río, así como los conceptos de planicie de inundación abandonada (a) y activa (b).

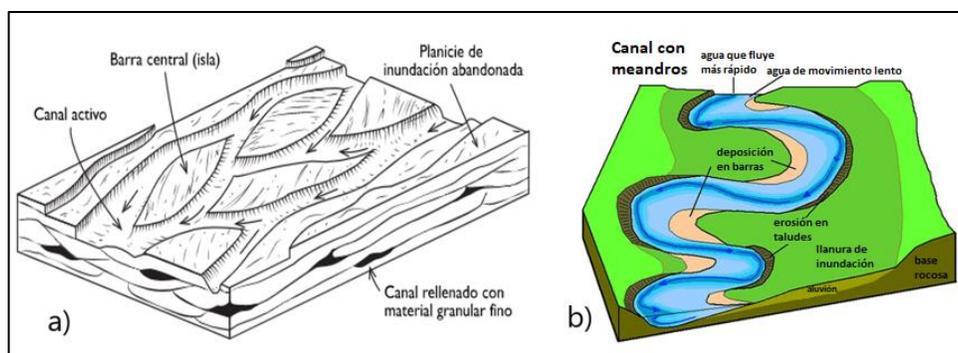


Figura 8. Formación de barras en un río y otros elementos

Fuente: a) HWB, s.f. b) Collin College, 2017

Cuadro 5. Características del lecho del río y la llanura de inundación

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Patrón de canal	Recta sin ingeniería para serpentear con radio de curvatura bajo; principalmente carga suspendida	Recta sin ingeniería para serpentear con radio de curvatura bajo; principalmente carga suspendida	Serpenteando con algo de trezado; principalmente carga de fondo; canal de ingeniería mal mantenido	Trenzado; principalmente carga de fondo; canal de ingeniería sin mantenimiento
Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*	Barras estrechas en relación con el ancho de la corriente a flujo bajo, bien vegetadas y compuestas de grava gruesa a guijarros o ausencia de barras	Las barras pueden tener vegetación y/o estar compuestas de grava gruesa a guijarros, pero un crecimiento mínimo reciente de la barra es evidente por la falta de vegetación en partes de la barra	Los anchos de las barras tienden a ser cortos y compuestos de arena gruesa recién depositada a pequeños guijarros y/o pueden tener escasa vegetación	Los anchos de las barras son generalmente mayores que la mitad del ancho de la corriente a flujo bajo; las barras se componen de depósitos extensos de partículas finas hasta grava gruesa con poca o ninguna vegetación
Formación de llanura de inundación*	Existe una llanura de inundación activa, no hay diques naturales	Llanura de inundación activa abandonada, nueva llanura de inundación está en etapa de formación, los diques son bajos	No hay llanura de inundación activa, existen terrazas, los diques son de tamaño moderado	No hay llanuras de inundación o terrazas activas, los diques son altos a lo largo del borde del canal

Fuente: Akay, Baduna & Melih, 2019

Notas: \*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una puntuación general

Adicionalmente, en la Figura 9 se muestran un ejemplo sobre la formación de diques naturales después de una crecida en el río (a) y otro sobre la existencia de terrazas y llanuras de inundación (b).

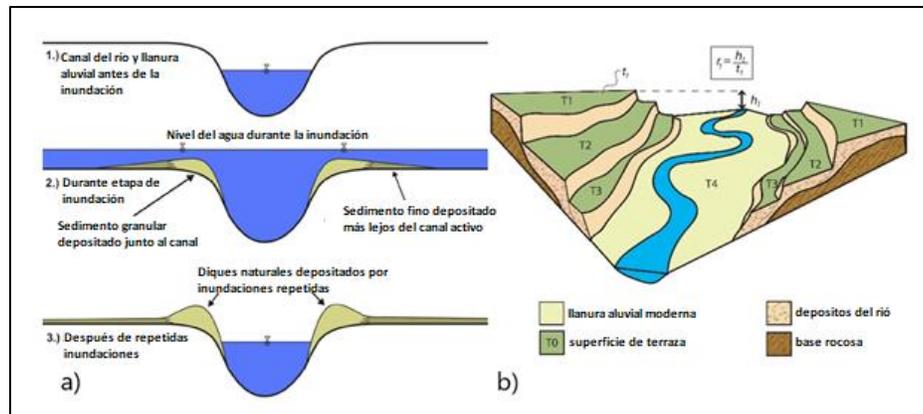


Figura 9. Formación de diques naturales y terrazas

Fuente: a) Rogers, J., 2008 b) Nonell, T., 2012

### 2.3.2.2 Características de las márgenes del río

Es importante evaluar la inestabilidad de las márgenes dado que esta puede causar erosión lateral del banco y profundización o ensanchamiento de los desarrollos de canales y llanuras de inundación debido a los materiales derrumbados del banco. Debido a lo anterior es importante tomar en consideración la altura, desgaste o quiebra y el corte de los bancos, dado que estos indican que tan estables son las márgenes y ayudan a la seguridad del puente, tal como se observa en el Cuadro 6 (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Cuadro 6. Características de las márgenes del río

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Altura del banco*	Debajo de la viga longitudinal del puente	Entre la viga longitudinal del puente y el tablero	Al nivel del puente	Sobre barandillas del puente
Desgaste o quiebra de los bancos*	Poca o nula evidencia de pérdida de material potencial o muy pequeña; ancho de canal uniforme en todo el alcance	Evidencia de ocurrencias poco frecuentes y/o desgastes de material menor; en su mayoría curados con vegetación; ancho de canal relativamente constante y ondulado mínimo de los bancos	Evidencia de ocurrencias frecuentes y/o significativas de pérdidas masivas de material que pueden verse agravados por caudales más altos, que pueden causar socavación y pérdidas masivas de bancos inestables; el ancho del canal es bastante irregular y el ondulado de los bancos es evidente	Pérdida masiva frecuente y extensa de material; el potencial de quiebra del banco, como lo demuestran las grietas por tensión, los recortes masivos y el hundimiento del banco, es considerable; el ancho del canal es muy irregular y los bancos están ondulados
Corte de los bancos*	Poco o nula evidencia de cortes. Cortes de menos de 15 cm generalmente	Algunos cortes de forma intermitente a lo largo de las curvas del canal y en constricciones prominentes. Los cortes pueden ser de hasta 30 cm	Importante y frecuente cantidad de cortes en ambos bancos. Cortes de entre 30-60 cm de altura. Salientes de raíces del banco	Cortes casi continuos en ambos bancos, algunos extendiéndose a la mayoría del banco, algunos de más de 60 cm de altura. Socavación y voladizos de raíces de césped y fallas laterales frecuentes

Fuente: Akay, Baduna & Melih, 2019

Notas: H = horizontal, V = vertical, \*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una puntuación general

### 2.3.2.3 Otros efectos

En esta sección se incluyen efectos principalmente causados por humanos y características específicas del canal que se podrían transformar en problemas de inestabilidad en las cercanías del puente, por lo que se consideran aspectos como la acumulación de escombros bajo el puente y cercanías, confluencias de otras fuentes de agua, y la recuperación del río (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Según lo descrito por Akay et al (2019), el comportamiento del flujo de los cauces en algunos puentes evaluados en Turquía, se vieron seriamente afectados por las centrales hidroeléctricas y represas de la zona, ya que estas podían retener o liberar agua repentinamente durante su operación.

En el Cuadro 7 se aprecia los criterios a evaluar según lo descrito anteriormente, donde cabe destacar que algunos de estos, como la verificación de descargas de otras fuentes de agua, corresponden a trabajo de oficina.

Cuadro 7. Otros efectos

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Descarga de otros afluentes	Sin descargas de otros afluentes con el canal principal cerca del puente, sin arroyos temporales cerca del lecho del río principal durante lluvias extremas	Arroyos temporales con cantidades insignificantes de descarga que se unen al flujo principal muy lejos del puente	Afluentes de menos de 3 a 4 órdenes de magnitud desde el cauce principal, distancia desde el canal principal menor a 4 km	Afluentes de menos de 1 a 2 órdenes de magnitud desde el cauce principal, distancia desde el canal principal menor a 2,5 km
Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías*	Escombros o potencial de escombros en el canal es insignificante	Presencia de pequeñas cantidades de escombros. Se pueden formar pequeños atascos	Acumulación notable de todos los tamaños. Posible potencial moderado de atasco de escombros aguas abajo	Acumulación moderada a pesada de desechos de distintos tamaños. Potencial de atasco de escombros significativo

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Recuperación del río (lecho y bancos)	Ningún cambio en la estructura del flujo que afectaría el puente	Cambio en la estructura del flujo, pero ningún efecto desfavorable visible en el puente	Cambio en la magnitud y la dirección del flujo, la erosión comenzó alrededor de los pilares, existen vórtices	Existe una grave erosión alrededor de los pilares y fuertes vórtices

Fuente: Akay, Baduna & Melih, 2019

Notas: \*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una puntuación general

Es importante considerar la acumulación de escombros la cual suele darse cerca de las pilas y las aberturas del puente dado a que pueden provocar un aumento en la profundidad de los pozos de socavación, y se puede detectar fácilmente durante temporadas de flujo bajo. Además, la recuperación del río puede provocar cambios en la estructura de flujo y causar la migración del canal en las cercanías de los puentes, lo cual puede acelerar la falla debido a la socavación provocada en los elementos del puente (Akay, Baduna, Melih, 2019).

#### 2.3.2.4 Características del puente

Algunas características de los puentes fluviales pueden aumentar la erosión local alrededor de los cimientos. Como se muestra en el Cuadro 8, la distancia aguas arriba al puente desde el impacto del meandro, la inclinación del puente, el flujo en los vanos y las características del pilar y el estribo se seleccionaron como indicadores para esta sección (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Durante la revisión del inventario y los estudios de campo de la metodología aplicada por Akay et al (2019), se observó que la ubicación de los puentes era una característica común importante, además de la distancia entre el lugar del puente y el punto de impacto de un meandro y la inclinación del puente. Según los datos obtenidos por dicha metodología, se mostró que el ángulo de inclinación de los puentes fluviales podía aumentar hasta 67° debido a limitaciones topográficas o económicas, además, se observó que la mayoría de los puentes fallidos conocidos tenían un ángulo de inclinación de más de 10°.

Otra característica importante son los tramos de los puentes, que de preferencia deben ser más grandes y no angostos debido a la deposición de sedimentos o la acumulación de escombros, para dejar pasar el exceso de agua, especialmente durante inundaciones. De lo contrario, las condiciones de flujo sumergido, el aumento de la intensidad del flujo y la mayor turbulencia pueden resultar en un desgaste excesivo alrededor de las pilas y es posible que el puente deba cerrarse al tráfico por razones de seguridad pública, lo que genera costos operativos y de tiempo adicionales (Akay, Baduna, Melih, 2019).

La alineación del canal, las características geométricas y la observabilidad de las pilas, el grado de socavación y la existencia de contramedidas alrededor de las pilas y bastiones también son indicadores importantes de la estabilidad del flujo y la socavación local. Además, es importante considerar que los estudios de inspección son más fáciles en los pilares en temporadas de flujo bajo, sin embargo, en algunos casos, los factores ambientales que afectan los bastiones y las condiciones de llenado de aproximación también deben examinarse en términos de vulnerabilidad de los bastiones con respecto a la erosión (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Cuadro 8. Características del puente

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
Localización del puente	Al nivel del mar o del lago	En corrientes de pendiente suave	En corrientes del valle	En faldas de una montaña o corrientes de pendiente fuerte
Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro*	$D_m > 35 \text{ m}$	$20 < D_m \leq 35 \text{ m}$	$10 < D_m \leq 20 \text{ m}$	$0 < D_m \leq 10 \text{ m}$
Inclinación del puente con el río**	$0^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$	$5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$	$10 < \alpha \leq 30^\circ$	$\alpha > 30^\circ$
Flujo en la sección del río	Apertura suficiente, sin remanso, flujo superficial libre presente en las aberturas	Apertura suficiente, algún remanso visible, flujo superficial libre presente en las aberturas	El nivel del agua sube hasta la parte inferior de la viga del puente, existe flujo presurizado	El flujo desborda el puente al menos una vez durante su vida útil, prevalece el tipo de flujo de vertedero

Indicador	Clasificación			
	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	Crítico (4)
<b>Características de las pilas</b>				
Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación	Pilar único, redondeado o semicircular, ningún pilar o separación nula o insignificante en el flujo	Pilar único, sin forma redondeada en ningún lado, separación en el flujo, sin vórtices fuertes	Pilares en configuración tándem, sin ángulo de inclinación, existen fuertes vórtices	Pilares en configuración tándem, asimetría y existen fuertes vórtices
Observabilidad	Siempre se puede observar	Por lo general, se puede observar debido a la profundidad del agua	Solo se puede observar en la época seca cuando no hay flujo de corriente	Siempre bajo el agua, porque nunca se puede observar visualmente
Socavación	Socavación nula o insignificante alrededor de los pilares, no se ven cuñas de cimientos	Poca socavación, las cuñas de la base se ven levemente	Cantidad importante de socavación donde se pueden ver las cuñas de la base	Gran cantidad de socavación alrededor de las pilas, las cimentaciones se ven claramente
Contra medidas contra la socavación	Sin necesidad de contra medidas contra la socavación	Se utilizan grandes rocas grandes contra la socavación, lo cual es una contra medida adecuada	Se utilizan rocas grandes, pero las rocas han sido remplazadas y la contra medida no es eficiente	Inadecuado o no existen contra medidas tomadas contra la socavación
<b>Características de los bastiones</b>				
Tipo y condiciones de protección	Sin daños en el muro de corte, sin deformaciones	Pequeños daños y grietas en el muro de corte, pero sin deformación	Grietas y daños en el muro de corte, sin deformación	Graves grietas y daños en el muro de corte y deformaciones
Condición del relleno de aproximación y asentamiento	Sin asentamiento o deformaciones visibles	Sin asentamiento o deformación visible, pequeña cantidad de cortes en el relleno (cizallamiento)	Graves cortes y deformación en el relleno	Asentamiento y cortes graves en el relleno, la cuña de relleno no funciona

Notas: \*\*Ver Figura 4 (se puede obtener del inventario).

Fuente: Akay, Baduna & Melih, 2019

### *2.3.3 Evaluación de la puntuación del método*

En la Figura 10 se ilustran los pasos principales del algoritmo de inspección, basado en la metodología desarrollada por Akay et al (2019) en Turquía, a la cual se le han realizado algunas modificaciones acordes al alcance del presente trabajo, entre ellas, la exclusión de evaluar aspectos estructurales del puente dado que actualmente existen metodologías aplicadas en Costa Rica que abarcan dichos temas en profundidad.

Se aclara que a pesar de que en la Figura 10 se menciona el cálculo de los parámetros morfométricos y el de un índice MI (Índice morfométrico), esto no fue incluido en la versión final de la metodología por aspectos prácticos, sin embargo, podría ser un gran aporte para futuros proyectos similares al presente.

Como se mostró en los cuadros anteriores, cada indicador de la evaluación hidrológica de la cuenca y los indicadores de estabilidad de la corriente se clasificaron como bueno, regular, malo y crítico, y se les asignó un valor de calificación para ese indicador que oscila entre 1 y 4, a diferencia de la metodología de Akay et al (2019) que se usa valores entre 1 y 12. Para mantener uniformidad entre lo desarrollado en Turquía y el presente trabajo, se optó por ponderar cada indicador del método por igual, a medida que se determinaba el valor de la clasificación.

Adicional a lo anterior, se incluye un puntaje de riesgo de falla (RP por sus siglas en inglés) para facilitar la toma de decisiones utilizando la calificación de los indicadores de la evaluación hidráulica. De acuerdo con el método adoptado, el valor inicial del RP se establece en cero y para los indicadores clasificados como bueno o regular, el valor del RP no cambia; mientras que para los indicadores clasificados como malos, el valor del RP incrementa en uno; y para los indicadores clasificados como críticos, el RP se incrementa en dos (Akay, Baduna, Melih, 2019).

En el Cuadro 9 se muestra el cambio en el RP con las calificaciones de los indicadores de evaluación hidrológica e hidráulica. Si se clasificaran todos los indicadores como bueno o regular, el RP sería cero, y si todos se clasificaran como malos, el RP sería 42 ya que hay un total de 21 indicadores en el método (2 para la hidrología de la cuenca, 3 para las características del lecho del río y la llanura de inundación, 3 para los márgenes del río, 3 para otros efectos y

10 para las características del puente). Luego, los puentes se clasificaron de acuerdo con los rangos de RP dados en el Cuadro 10 (Akay, Baduna, Melih, 2019).

Al igual que en metodología desarrollada por Akay et al (2019), los rangos de RP se determinaron dividiendo el valor más alto posible de RP en tres partes iguales, cada una correspondiente a los pasos de cálculo de RP: sin cambios, incrementar uno e incrementar dos. Luego, la primera parte se dividió en dos para determinar la clasificación de calificaciones como buena y regular, dado que en este método el RP no se modificó para indicadores clasificados como bueno y regular (Cuadro 10).

Cabe reiterar que, dado que se eliminó para efectos prácticos algunos de los criterios evaluados por la metodología en la que se basa este documento y que se utilizaron puntajes de 1 a 4 en lugar de 1 a 12, los rangos establecidos para el presente trabajo debieron ajustarse al contexto del proyecto, siguiendo la misma lógica de la metodología original (Akay, Baduna, Melih, 2019).

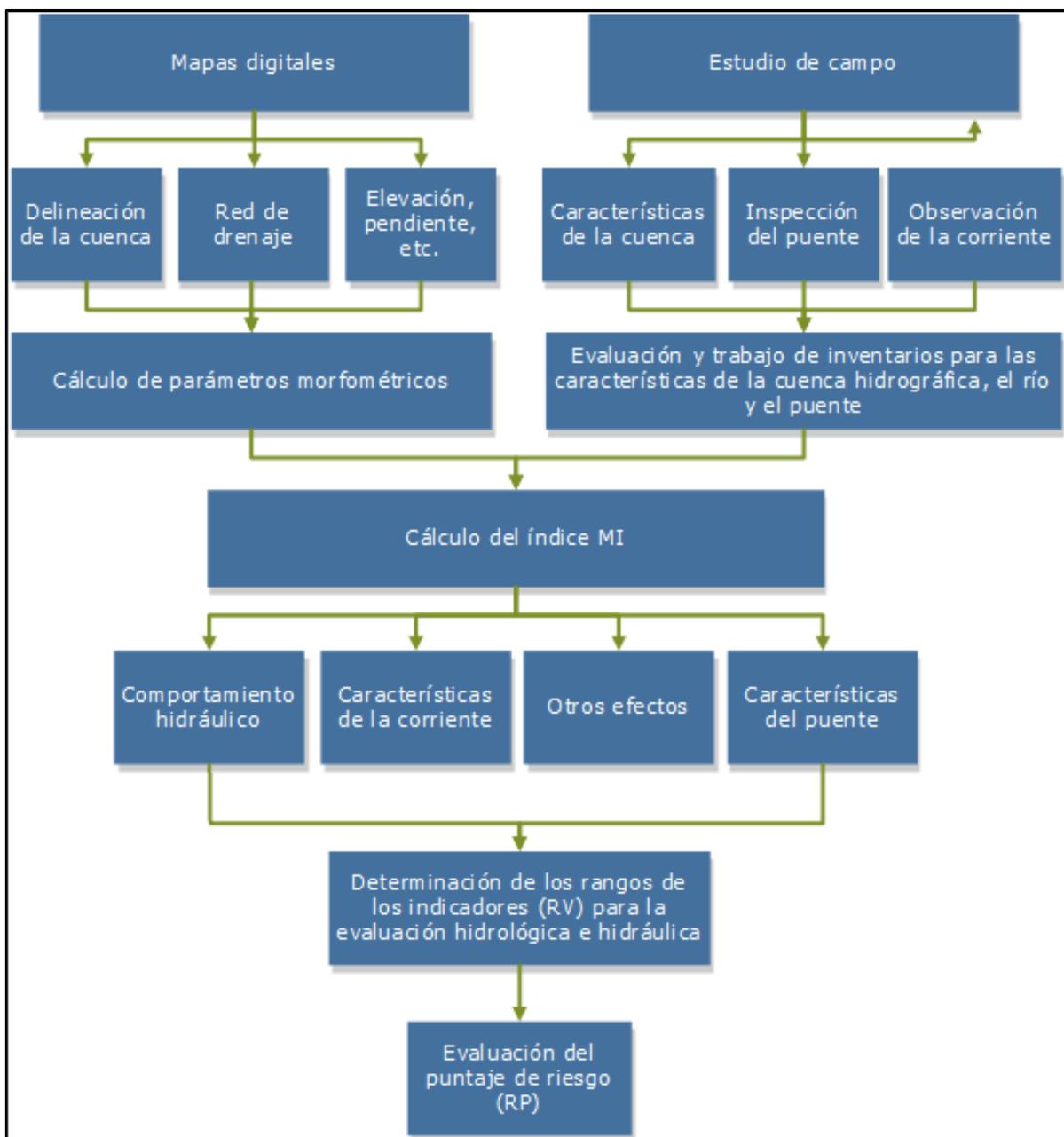


Figura 10. Esquema del desarrollo de la metodología de inspección

Cuadro 9. Determinación del puntaje de riesgo (RP) usando los valores de cada indicador (RV)

<b>Evaluación</b>	<b>RP no cambia</b>	<b>RP incrementa en 1</b>	<b>RP incrementa en 2</b>
Hidrológica e hidráulica	$RV \leq 2$	$RV = 3$	$RV = 4$

Cuadro 10. Evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla (RP)

<b>Caso</b>	<b>RP</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Acción recomendada</b>
1	$0 \leq RP \leq 7$	Buena	Sin factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente
2	$7 < RP \leq 14$	Regular	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente
3	$14 < RP \leq 28$	Mala	Factores hidráulicos importantes que afectan el puente. Se deben tomar precauciones y se debe monitorear el puente
4	$RP > 28$	Crítica	Factores hidráulicos muy importantes que afectan el puente. Se deben tomar medidas urgentes. Se recomienda la visita de un ingeniero hidráulico

#### *2.3.4 Formulario para inspecciones*

Con el objetivo de facilitar el trabajo del inspector en campo, se provee un formulario de inspección con el cual se pretende que la información requerida del puente sea recolectada de manera ordenada y eficiente. En la Figura 11 y la Figura 12 se muestran respectivamente la parte frontal y el dorso del formulario de inspección propuesto.

<b>INSPECCION DE PUENTES</b>		Nombre:		Código:	
Encargados:	1.		2.	Fecha:	00-00-0000
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)					
<input type="checkbox"/>	Buena (B)	<input type="checkbox"/>	Regular (R)	<input type="checkbox"/>	Mala (M)
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Crítica (C)
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>					
<b>Indicador</b>					<b>B(1) R(2) M(3) C(4) Δ de RP</b>
V: Uso de suelo en la cuenca					-
O: Estructuras de retención en la cuenca					-
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>					
<b>Indicador</b>					<b>B(1) R(2) M(3) C(4) Δ de RP</b>
V: Patrón de canal					-
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*					-
C: Formación de llanura de inundación*					-
<b>3- Características de las márgenes del río</b>					
<b>Indicador</b>					<b>B(1) R(2) M(3) C(4) Δ de RP</b>
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*					-
C: Desgaste o quiebra de los bancos*					-
C: Corte de los bancos*					-
<b>4- Otros efectos</b>					
<b>Indicador</b>					<b>B(1) R(2) M(3) C(4) Δ de RP</b>
V: Descarga de otros afluentes*					-
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías					-
C: Recuperación del río (lecho y bancos)					-
<b>5- Características del puente</b>					
<b>Indicador</b>					<b>B(1) R(2) M(3) C(4) Δ de RP</b>
O: Localización del puente					-
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro	Dm (m)	_____			-
C: Inclinação del puente con el río	$\alpha$ (°)	_____			-
C: Flujo en la sección del río					-
<i>Características de las pilas</i>					
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación					-
C: Observabilidad					-
C: Socavación					-
C: Contramedidas contra la socavación					-
<i>Características de los bastiones</i>					
C: Tipo y condiciones de protección					-
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento					-
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>					
RP		Clasificación:			
<i>Acción recomendada:</i>					
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general					
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente					
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en campo					

Figura 11. Formulario para la realización de la inspección, página 1

<b>INSPECCIÓN DE PUENTES</b>	Nombre: <input type="text"/>	Código: <input type="text"/>
<b>7- Observaciones</b>		
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>		

Figura 12. Formulario para la realización de la inspección, página 2

### **3 Priorización de acciones en múltiples puentes**

Dentro de la gestión de una red vial pueden existir múltiples puentes que presenten daños y/o deficiencias, por lo que es necesario realizar trabajos de mantenimiento o reparación de daños para mantener los puentes en condiciones adecuadas y seguras para su uso. Sin embargo, normalmente el costo para mantener todos los puentes en un estado óptimo respecto a funcionalidad y seguridad supera el presupuesto disponible para dicha labor.

Debido a lo anterior, se vuelve relevante para las instituciones encargadas del mantenimiento de los puentes el realizar una priorización de los recursos disponibles, por lo que en este documento se propone una solución aproximada al problema, tomando en cuenta una serie de valores que determinan la importancia relativa de un puente basado principalmente en lo desarrollado por MOPT (2007) en el documento llamado "Lineamientos para mantenimiento de puentes" y el trabajo final de graduación de Jiménez (2015), el cual fue desarrollado en el ámbito de las alcantarillas. También basado en el puntaje de riesgo de falla (RP) mencionado en la sección anterior.

#### **3.1 Importancia de un puente**

Definir la importancia de un puente respecto a otros es un tema que a lo largo de los años ha tomado relevancia a la hora de realizar una priorización de recursos eficiente y funcional sobre qué puentes se deben reparar primero en caso de falla o mal estado, lo cual ha sido abordado desde diferentes puntos de vista o criterios por los entes encargados de la administración de tales estructuras ya sea en Costa Rica o en otros países.

En algunos casos se han adoptado sistemas de evaluación complejos con una gran cantidad de variables, las cuales tienen asignadas un peso según su relevancia para el estudio, y se modelan ecuaciones o sistemas de matrices cuyos resultados finales faciliten la toma de decisiones. Sin embargo, esto hace necesario contar con bases de datos extensas que alimenten el modelo y se pueda realizar una parametrización adecuada, de manera que la ecuación o ecuaciones que resulten sean lo suficientemente representativas y confiables para realizar la toma de decisiones, lo cual se sale de los alcances del presente proyecto.

Algunos ejemplos de lo anterior, es lo desarrollado por Alit & Bagus (2017) donde por medio de análisis matriciales de los parámetros de interés determinan un puntaje para cada puente, y Mohamed et al (2019) de manera similar analiza parámetros de relevancia según

características del entorno del puente y su estado, con lo cual determinaron una ecuación propia donde se evidencia el peso de cada componente principal y al final se obtiene un valor que representa la importancia de priorización de dicho puente.

En el caso de Costa Rica, se tiene el documento del MOPT (2007) llamado "Lineamientos para mantenimiento de puentes", en el cual se evalúan las deficiencias del puente, se realiza una estimación del costo de reparación y se obtiene un valor para priorización de reparación de puentes, todo esto acorde a las evaluaciones realizadas por los ingenieros en campo.

Debido al alcance de este proyecto se realizará únicamente una evaluación de las características prioritarias (esencialidad de la vía) las cuales se describen a continuación, así como sus respectivos rangos. Se destaca que se aplicaron algunos cambios o adiciones, acorde con una asesoría realizada al Consejo de Nacional de Vialidad (CONAVI) por parte del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME, 2019).

### *3.1.1 Evaluación por el tránsito promedio diario (TPD) y clase de vías*

En estos ítems se evalúa el puente acorde a la cantidad de vehículos que transitan por este y la clase de vía en la que se encuentra (Cuadro 11 y 12).

El valor del TPD y la clase de vía pueden ser obtenidos de las bases de datos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Cabe destacar que en la metodología original del MOPT (2017) el valor máximo para la evaluación del TPD es de 20 y para la clase de vía es de 10, sin embargo, debido a que se considera que estas son características primordiales de importancia y que pueden afectar significativamente el impacto que pueda tener en el costo directo y a los usuarios, se aplicara para el presente proyecto, la recomendación de LANAMME (2019) de aumentar dichos valores máximos de 20 a 40 y de 10 a 55 respectivamente.

Cuadro 11. Evaluación por volumen de tráfico

<b>Caso</b>	<b>TPD (vehículos por día)</b>	<b>Puntos</b>
1	0 – 5000	0
2	5000 – 10000	10
3	10000 - 20000	20
4	20000 - 50000	30
5	50000 <	40

Cuadro 12. Evaluación por clase de vía

<b>Caso</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Puntos</b>
1	Vías Cantonales	0
2	Vías Nacionales (Terciarias)	18
3	Vías Nacionales (Secundarias)	36
4	Vías Nacionales (Primarias)	55

### 3.1.2 Evaluación por longitud de desvío y líneas de vida

Como parte de la evaluación se considera una longitud de desvío, la cual se refiere a la distancia que debe recorrer un vehículo en caso de no poder utilizar el puente, ya sea por falla, reparación u otras causas, donde lo ideal es que haya rutas alternas con características similares en cuanto a seguridad, como al hecho de ser transitables por el mismo tipo de vehículos. Para efectos prácticos se utilizarán los valores de longitud de desvío reportados en el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP), al cual se puede acceder como invitado desde su página web (CONAVI, s.f.).

En este proyecto, al igual que en los casos anteriores, se tomará la recomendación de LANAMME (2019) de reducir el valor máximo para esta evaluación de 20 a 10, debido a la incertidumbre en el cálculo de este dato, ya que los inspectores no cuentan con una forma estandarizada de calcularlo. En caso de que al consultar en el SAEP la longitud de desvío no esté reportada, se debe hacer un cálculo de dicho valor en ambos sentidos y se utiliza la distancia mayor para la evaluación respectiva (Cuadro 13).

Cuadro 13. Evaluación por longitud de desvío

<b>Caso</b>	<b>Longitud de desvío</b>	<b>Puntos</b>
1	5 km o menos	0
2	5 km < LD < 15 km	2,5
3	15 km < LD < 30 km	5
4	30 km < LD	7,5
5	Sin desvío	10

Además, si el puente tiene colocadas líneas de vida, lo cual es referente a la existencia de servicios públicos que pasan por el puente, se asignarán 5 puntos al mismo.

### 3.1.3 Evaluación por longitud del puente

Entre las recomendaciones dadas por LANAMME (2019) con respecto a la priorización de puentes, se incluyó un ítem que evalúa la longitud del puente, la cual puede ser obtenida directamente del SAEP (s.f.) y verificada en campo. La importancia de esto es que, en caso de existir daños en puentes largos, se tendrá un mayor impacto tanto en los costos directos como a los usuarios en caso de requerir una intervención. Por lo anterior LANAMME (2019) definió tres niveles para el punto de evaluación de longitud de puente, acorde a un análisis de la información en la base de datos del SAEP (Cuadro 14).

Cuadro 14. Evaluación por longitud del puente

<b>Caso</b>	<b>Longitud del puente</b>	<b>Puntos</b>
1	25 m o menos	0
2	25 m < LP < 75 m	15
3	75 m < LP	30

Una vez realizadas las cinco evaluaciones mencionadas (tránsito promedio diario, clase de vía, longitud de desvío, líneas de vida y longitud del puente) se suman los puntajes y se obtiene un Factor de Importancia (FI) asociado al puente evaluado. Dicho puntaje puede tener un mínimo de 0 y máximo de 140, el cual representa la importancia relativa del puente con respecto a otros, de acuerdo con las variables analizadas.

## 3.2 Factor de riesgo y concatenación de criterios

Tal como se observa en la sección 2.3.3, en el presente documento se determina un puntaje de riesgo (RP) para cada puente acorde a la evaluación realizada a partir de su inspección, de manera que dicho valor funcione como indicador para dar a conocer de manera global si el puente presenta factores hidráulicos importantes que lo puedan afectar negativamente.

Con ayuda del RP se propone el cálculo de un Factor de Riesgo (FR) el cual se obtiene al dividir el RP entre 42 ( $FG = RP / 42$ ), siendo que este es el valor máximo posible asociado a los parámetros evaluados durante la inspección del puente, con esto se obtiene un factor cuyo máximo valor es 1 y el mínimo 0. Cabe resaltar que el FG no representa la probabilidad de falla del puente, sino que es una calificación general de las variables involucradas en el análisis, tal y como se mencionó anteriormente.

Una vez obtenidos el FI y el FR, se pueden asociar los conceptos de importancia y riesgo de falla del puente, y de esta forma establecer un criterio numérico que determine que puente debe ser atendido con mayor prioridad, en términos de las variables involucradas en el análisis de la inspección realizada y las características prioritarias.

Al igual que en el caso de Jiménez (2015), se opta por una multiplicación entre las variables para determinar una prioridad relativa "P", de manera que  $P = FI * FR$ . Se aclara que podría haber casos en los que FI o FR puedan valer 0 y, por lo tanto, la prioridad relativa de dicho puente sería también 0, sin embargo, si esto ocurre o el puente tiene una P muy baja no quiere decir que dichos puentes no deban ser atendidos, sino que, si hay otro puente con puntaje mayor, probablemente sea mejor atenderlo antes.

### **3.3 Áreas de oportunidad**

Dada la limitación de transporte mencionada anteriormente, en el presente proyecto solo se inspeccionaron puentes dentro de la Gran Área Metropolitana, por lo que los resultados pueden resultar similares en algunos aspectos. El tener una mayor variedad de puentes podría facilitar una depuración óptima de la metodología.

Relacionado a lo anterior, se tiene que todos los puentes evaluados no poseían pilas, sino que contaban con sus dos bastiones, por lo que, en caso de una futura aplicación de un trabajo final de graduación basado en el presente documento, se podría tomar en cuenta este aspecto al momento de elegir los puentes a evaluar y de esta forma tener un resultado significativo de dichas características de la metodología.

Además, dadas las limitaciones con el equipo disponible para realizar el inventario e inspección y la imposibilidad, falta de capacitación o peligro al evaluar las márgenes del río más de cerca, no fue posible medir la pendiente de las márgenes tal como se tenía planeado para el inventario, por lo que en caso lograrse obtener este dato para posibles futuras evaluaciones podría facilitar el análisis de las características del puente y su entorno.

La metodología de priorización se basa únicamente en las características viales y a la puntuación obtenida en la inspección de factores hidráulicos del puente, sin embargo, se destaca que, en caso de tener información sobre los costos reales provocados por el cierre de un puente, tiempos de cierre, entre otros detalles de importancia, se podrían generar modelos estadísticos de predicción de costos lo cual mejoraría la priorización de recursos.

## 4 Casos de estudio

Como parte de la evaluación de la metodología propuesta en el presente trabajo, se efectuaron visitas de campo a 10 puentes ubicados en la Gran Área Metropolitana, esto debido a las limitaciones mencionadas anteriormente. En la Figura 13 se observa la ubicación de cada uno de los puentes analizados y en el Cuadro 15 sus respectivas coordenadas.

Se aclara nuevamente que dentro de los resultados finales no se contempló la medición de la pendiente de las márgenes del río, dada la peligrosidad o imposibilidad de acceder a las mismas, por lo que en los formularios realizados dichos campos se encuentran vacíos.

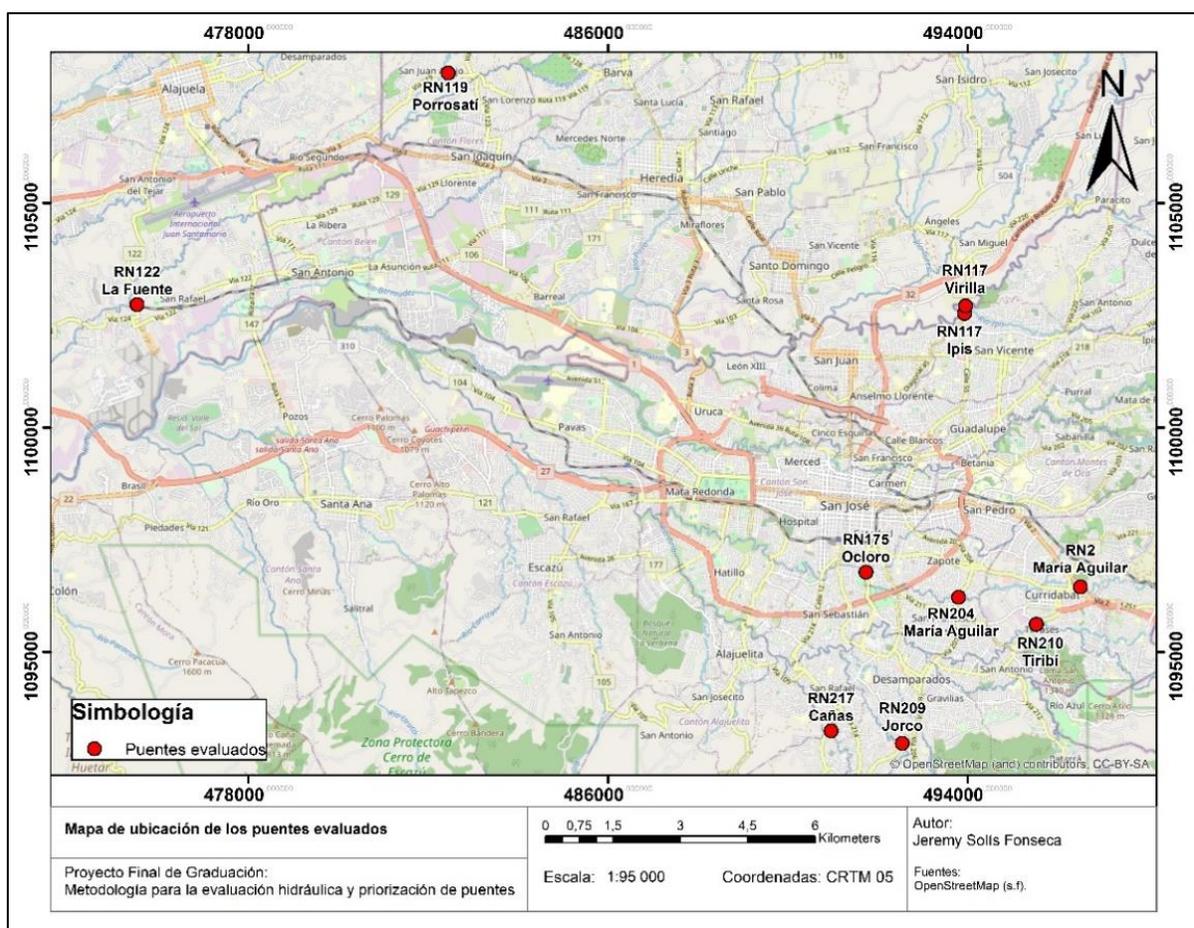


Figura 13. Mapa de ubicación de los puentes evaluados

Cuadro 15. Coordenadas en WGS84 de los puentes analizados

<b>Puente</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Puente</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
María Aguilar RN2	9,91598	-84,03180	Ocloro RN175	9,91886	-84,07537
Tiribi RN210	9,90834	-84,04072	Virilla RN117	9,97238	-84,05512
María Aguilar RN204	9,91388	-84,05654	Ipís RN117	9,97106	-84,05530
Jorco RN209	9,88433	-84,06795	Porrosatí RN119	10,01937	-84,16014
Cañas RN217	9,88697	-84,08236	La Fuente RN122	9,97281	-84,22319

Los resultados para cada uno de los puentes analizados se pueden encontrar en la sección de Anexos. En dicha sección se presentan en el siguiente orden: 1. Formulario de inventario llenado; 2. Formulario de inspección llenado; 3. Fotografías principales del puente (las demás fotografías realizadas se pueden consultar en el disco compacto adjunto al trabajo escrito).

Además, para el inventario de cada puente se delimitó la cuenca asociada a un punto de control ubicado bajo la estructura, con lo cual se obtuvo lo mostrado en la Figura 14. Para visualizar con más detalle cada una de las cuencas se debe consultar los respectivos formularios de inventario que se encuentran en anexos.

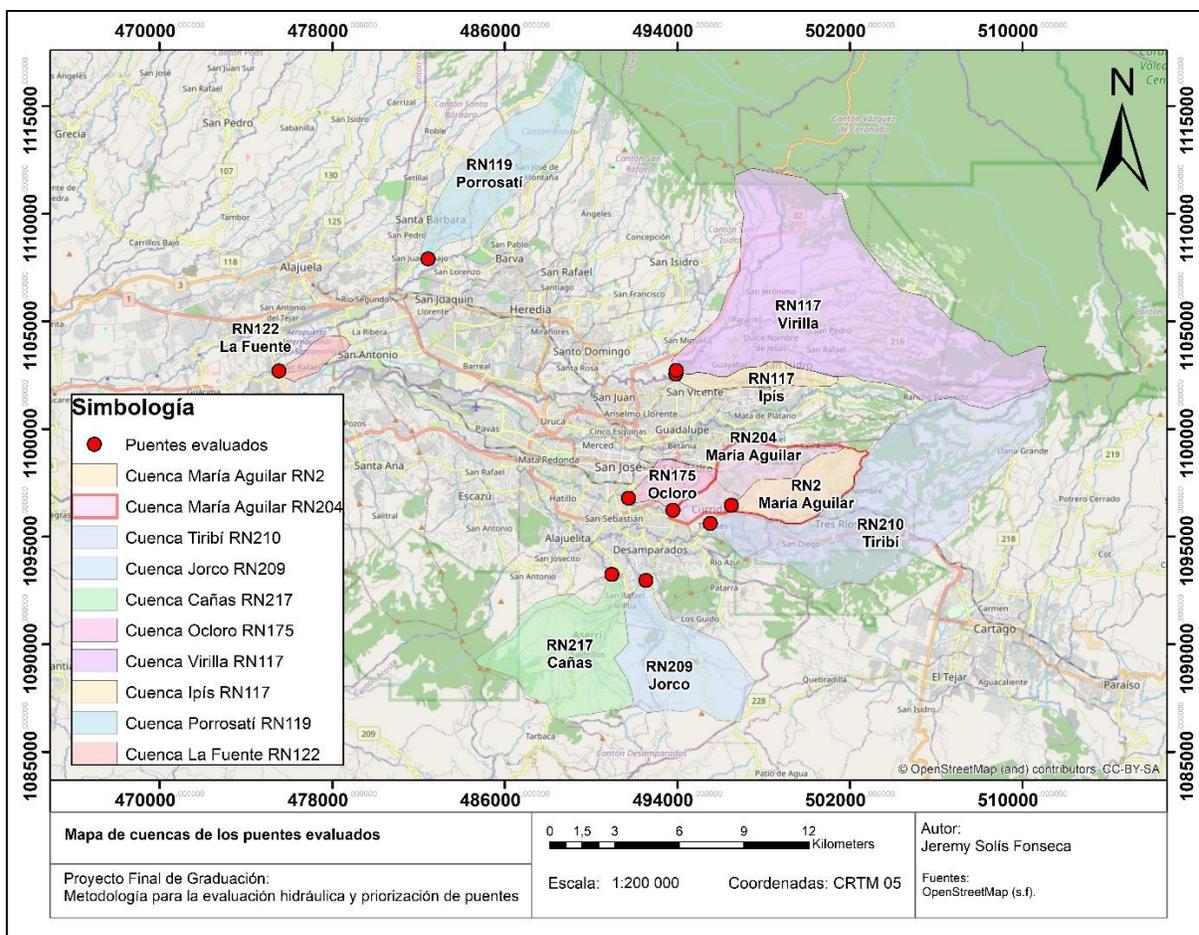


Figura 14. Mapa de las cuencas de los puentes evaluados

#### **4.1 Análisis de la metodología aplicada en campo**

Tal como se mencionó en las limitaciones del presente proyecto, ninguno de los puentes evaluados cuenta con pilas, por lo que cuatro de los aspectos a evaluar no eran aplicables para el análisis, además, en algunos casos, criterios como los referentes a los bastiones no era posible evaluarlos debido a la poca visibilidad de estos desde los ángulos de visión disponibles desde el puente. Debido a lo anterior, se tomó la decisión de hacer un reajuste final al cálculo del puntaje de riesgo que se utiliza para obtener la clasificación del puente, de manera que si existen criterios que no son aplicables, estos sean omitidos de la puntuación de riesgo del puente (RP), pero siguiendo la misma lógica explicada en la sección 2.3.3.

Debido a lo anterior, se estableció el valor "MP" que corresponde al equivalente de si se clasificaran todos los indicadores como malos, en otras palabras, es el valor máximo posible de RP sin contar los indicadores clasificados con un no aplica (N/A). Por ejemplo, en un caso en el que únicamente no se hayan podido evaluar los criterios relacionados con las pilas, se tendrían 17 indicadores en lugar de los 21 propuestos inicialmente, por lo que, el valor de MP en este caso sería de 34.

Cabe aclarar que, dado que cada uno de los puentes podría tener aspectos a evaluar con un "N/A" (no aplica), esto provocaría que tengan rangos de clasificación diferentes entre sí, por lo que, para hacer que los resultados finales sean comparables, el valor obtenido de RP para cada puente se debe multiplicar por un factor "M" que se obtiene al dividir 42 entre el MP, donde 42 es el máximo valor de puntaje de riesgo (RP) posible en el caso de que todos los indicadores haya sido posible evaluarlos. Luego, dicho factor M, se multiplica por el RP del puente para obtener el puntaje de riesgo de falla modificado (RM), el cual es quien define la clasificación final del puente, en cuanto a sus indicadores hidráulicos, acorde al Cuadro 16.

Para entender lo anterior con mayor claridad ver el Cuadro 17, donde son mostrados los resultados de los 10 puentes evaluados bajo esta metodología. En la sección de Anexos se pueden visualizar los cambios en los formularios de inventario e inspección relacionados a lo anterior.

Cuadro 16. Evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla modificado (RM)

Caso	RP	Clasificación	Acción recomendada
1	$0 \leq RM \leq 7$	Buena	Sin factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente
2	$7 < RM \leq 14$	Regular	Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente
3	$14 < RM \leq 28$	Mala	Factores hidráulicos importantes que afectan el puente. Se deben tomar precauciones y se debe monitorear el puente
4	$RM > 28$	Crítica	Factores hidráulicos muy importantes que afectan el puente. Se deben tomar medidas urgentes. Se recomienda la visita de un ingeniero hidráulico

## 4.2 Resultados generales obtenidos en las giras

Una vez realizada la visita y correspondiente inspección a cada uno de los puentes, se procedió a procesar los datos obtenidos bajo la metodología establecida en las secciones anteriores, con lo cual se obtuvo en términos generales, que el estado de estos puentes desde el punto de vista hidráulico es de regular a bueno, como se puede apreciar en el Cuadro 17. Las recomendaciones generales para cada puente se pueden apreciar en el Cuadro 16.

Cuadro 17. Resultados de la evaluación de los puentes en términos del puntaje de riesgo de falla modificado (RM)

Puente	RP	Máximo Puntaje (MP)	Multiplicador M (42/MP)	RM (RP*M)	Clasificación
M. Aguilar RN2	12	30	1,40	16,80	Mala
Tiribi RN210	9	30	1,40	12,60	Regular
Cañas RN217	9	34	1,24	11,12	Regular
Ocloro RN175	9	34	1,24	11,12	Regular
La Fuente RN122	9	34	1,24	11,12	Regular
M. Aguilar RN204	8	34	1,24	9,88	Regular
Ipís RN117	8	34	1,24	9,88	Regular
Porrosatí RN119	6	34	1,24	7,41	Regular
Virilla RN117	3	30	1,40	4,20	Buena
Jorco RN209	3	34	1,24	3,71	Buena

Según la metodología aplicada, el puente que requiere de más atención en cuanto a temas hidráulicos es el puente sobre el Río María Aguilar en la Ruta Nacional 2, donde algunos de sus indicadores más críticos fueron el patrón del canal, ausencia de llanura de inundación y el flujo en la sección del puente, el cual se ve afectado indirectamente por la presencia de otro puente muy cercano (Figura 15), especialmente durante crecidas del río

De lo mencionado en el párrafo anterior, se tiene registro histórico sobre los inconvenientes con el diseño del puente de la Figura 15 y demás factores que han provocado serios problemas de inundación (Noticias Repretel, 2016 y 2017) y según la Municipalidad de Curridabat dicho puente está en proceso de sustitución (Curridabat, 2020). Dependiendo de los resultados del nuevo diseño de dicho puente se podrían tener implicaciones positivas que reduzcan el riesgo por factores hidráulicos sobre la estructura de la Ruta Nacional 2.



Figura 15. Puente cercano al puente sobre el río M. Aguilar, Ruta Nacional 2

Como segundo lugar dentro de la clasificación obtenida, tenemos el puente sobre el Río Tiribí en la Ruta Nacional No. 210, donde su calificación fue bastante alta debido principalmente a dos indicadores: la corta distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro con respecto al puente (el cual dio  $56,1^\circ$ ), ambos aspectos se pueden apreciar en la Figura 16.

En este caso es importante mencionar, que al notar ciertas características como el ancho y altura del canal, se podría suponer que bajo condiciones de alto flujo habría suficiente espacio para la circulación del agua bajo el puente, por lo que los indicadores mencionados podrían no ser tan graves como lo indica la metodología propuesta, sin embargo, es necesario aclarar que antes de afirmar estas suposiciones serían necesarios más análisis, especialmente por parte de un ingeniero hidráulico capacitado en estos temas.

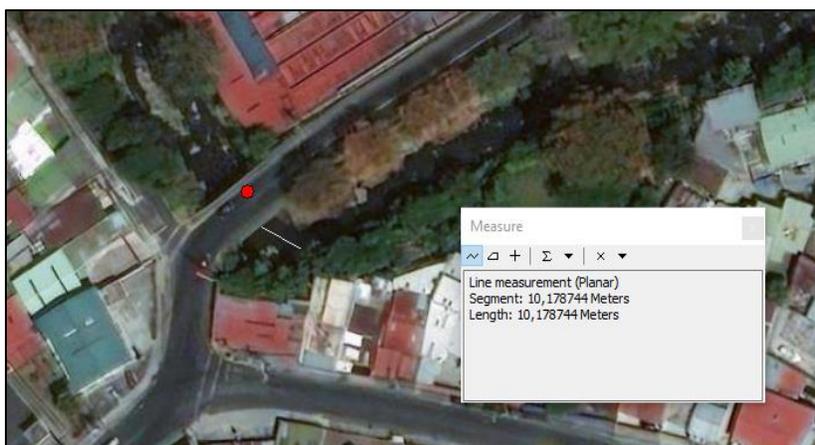


Figura 16. Indicadores críticos en puente sobre río Tiribí, Ruta Nacional 210

Otro caso específico a mencionar, es el del puente sobre la Quebrada La Fuente en la Ruta Nacional 122, donde algunos de sus factores más críticos fueron la ausencia de una llanura de inundación, el desgaste y algunos cortes de los bancos, así como el ángulo del río con respecto al puente ( $23,6^\circ$ ).

Tal y como se observa en el Cuadro 17 su clasificación fue de "Regular" por lo que la indicación general que se da es que "hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente", sin embargo, según la estimación realizada para el área mojada por debajo de la estructura, en el formulario de inventario, se obtuvo un valor de  $7,5 \text{ m}^2$ , lo cual durante eventos de crecidas podría resultar insuficiente y terminar provocando un desbordamiento de la Quebrada sobre la carretera, lo que provocaría serias implicaciones.

Considerando lo anterior, a la hora de tomar decisiones es importante tomar en cuenta no solo los datos evaluados en la metodología de inspección, sino también lo recopilado en el inventario, lo cual en algunos casos proporciona información de utilidad que no pudo ser incorporada al análisis de inspección por aspectos prácticos, debido a las limitaciones técnicas o por falta de equipo especializado.

Como última mención a este caso del puente sobre la Quebrada la Fuente, se muestra la Figura 17 en el lado izquierdo, una fotografía tomada por el Consejo de Vialidad Nacional (CONAVI) alrededor del año 2018, donde según el Ing. Luis Villalobos Pacheco, funcionario de dicha institución, la estructura central del puente falló, de manera que fue reparada como se apreció durante la visita (lado derecho de la Figura 17), con lo que actualmente bajo condiciones de flujo regular solo es utilizada una de las aperturas del puente. Cabe destacar que la sustitución de este puente está en proceso, por lo que se espera que se puedan resolver los problemas de capacidad mencionados (CONAVI, 2018)



Figura 17. Fotografías del puente sobre la Quebrada La Fuente, Ruta Nacional 122

Fuente: Izquierda: CONAVI, 2018. Derecha: Elaboración propia

Uno de los indicadores con los que se obtuvieron resultados más críticos en la mayoría de los casos, fue el de "Formación de llanura de inundación", para lo cual lo ideal es que el cauce tenga un espacio libre a donde el agua pueda fluir en caso de eventos extremos, así como su relación con la altura de las márgenes del canal. En este caso como se observa en la Figura 18, en 8 de los 10 puentes se obtuvieron resultados de malos a críticos, lo cual se puede deber a la alta urbanización de las zonas en las que se encuentran.



Figura 18. Resultados del indicador "Formación de llanura de inundación"

Otro de los indicadores que tuvo gran incidencia en los resultados, fue la "Descarga de otros afluentes", donde se encontró que 7 de los 10 puentes tenían afluentes importantes cercanos al puente (Figura 19), para lo cual se consideró la distancia a la que se encontraban y el orden de los cauces. Se menciona que este dato podría ser de gran utilidad si desean hacer análisis más detallados en conjunto de la información del perímetro y el área de la cuenca (calculados para el inventario de cada puente), de manera que se tome en cuenta su relación con el impacto hacia el puente, especialmente si se logra realizar a un número mayor de estructuras y variedad de características espaciales.

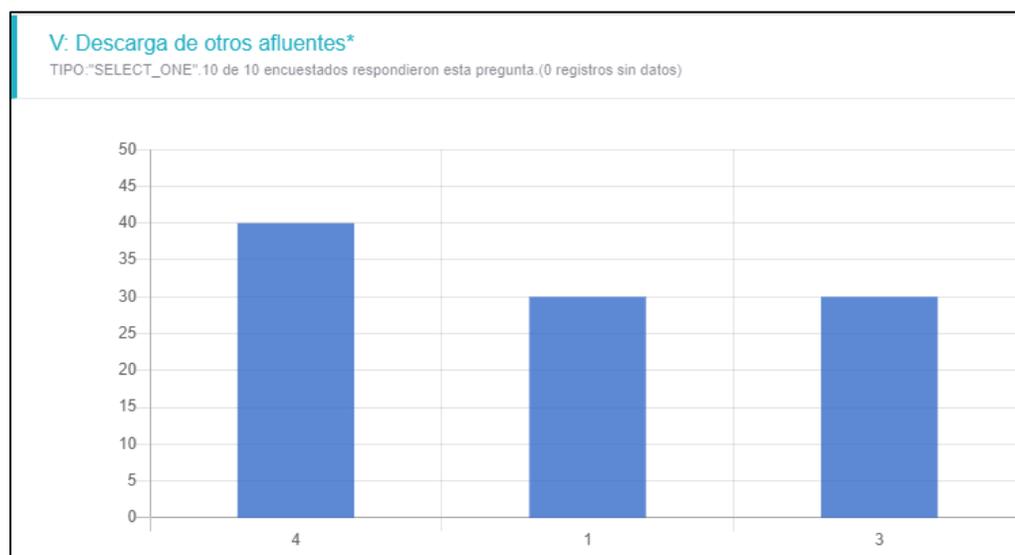


Figura 19. Resultados del indicador "Descarga de otros afluentes"

Por último, otro indicador a mencionar es el del "Sesgo del puente respecto al río" en donde en 7 de los 10 puentes se obtuvieron ángulos mayores a los 10° (Figura 20), lo cual esta indirectamente relacionado con la recuperación del río y por tanto con la posibilidad de que se genere socavación tanto en los bastiones como en las márgenes del canal, o en caso de tener un puente con pilas ubicadas de forma tal, que su sección con el menor ancho presente un ángulo con respecto al flujo, por lo que es un indicador de gran relevancia por considerar tanto en el diseño como en la evaluación de las estructuras.

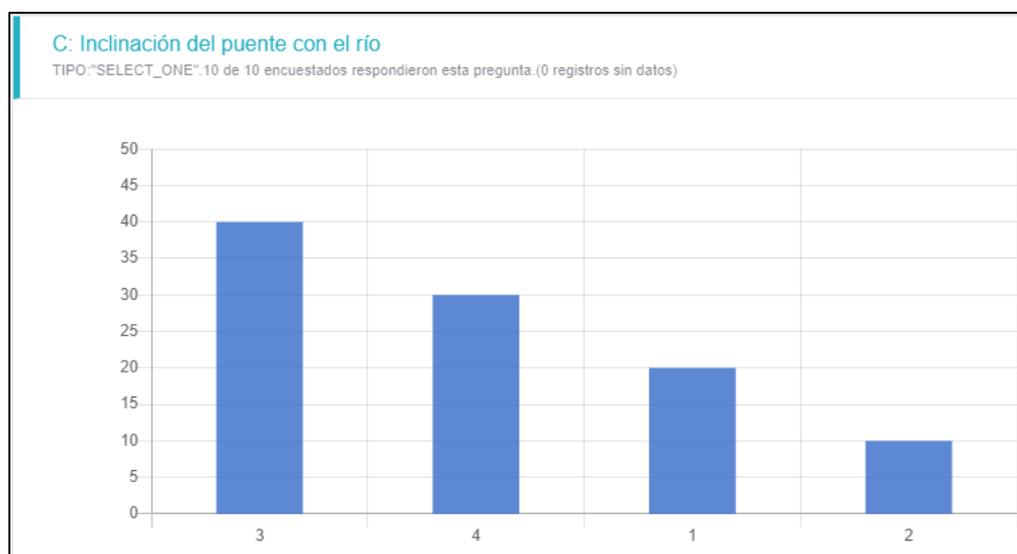


Figura 20. Resultados del indicador "Sesgo del puente respecto al río"

A pesar que la solución de los problemas mencionados se sale de los alcances del presente trabajo, cabe aclarar que es de suma importancia su atención por parte de las entidades públicas respectivas para cada caso, lo cual como se mencionó anteriormente. En algunos de los casos con resultados menos favorecedores ya está en proceso la implementación de una solución.

### 4.3 Priorización

Con base en la información obtenida del estudio de los puentes evaluados se puede desarrollar un proceso de priorización basado en la importancia del puente en términos de vialidad y un factor riesgo de falla (FR) el cual depende del puntaje de riesgo modificado (RM) mencionado en la sección anterior.

Una vez que se ha obtenido la información de inventario respectiva es posible evaluar al puente en términos de vialidad tal y como se explicó en la sección 3.1 del presente documento, con lo cual se obtuvo lo mostrado en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Importancia de un puente en términos de vialidad

Puente	TPD	Pts. TPD	Longitud de desvío	Pts. Desvío	Servicios Públicos	Pts. Servicios Públicos	Longitud de puente	Pts. Long. de puente
M. Aguilar RN2	44228	30	5,9	2,5	SI	5	20,9	0
Tiribi RN210	24991	30	2,4	0	NO	0	30,0	15
M. Aguilar RN204	25330	30	3,3	0	SI	5	14,6	0
Jorco RN209	28484	30	10,5	2,5	NO	0	31,4	15
Cañas RN217	16872	20	0,2	0	NO	0	17,3	0
Ocloro RN175	20953	30	1,9	0	SI	5	8,2	0
Virilla RN117	11581	20	4,7	0	SI	5	25,0	0
Ipís RN117	11851	20	4,3	0	NO	0	6,0	0
Porrosatí RN119	7315	10	3,0	0	NO	0	13,9	0
La Fuente RN122	8387	10	2,5	0	SI	5	11,5	0

Lo siguiente fue determinar la prioridad relativa de intervención como el producto del factor de riesgo y el factor de importancia en términos de vialidad (FI), el cual es la sumatoria de los puntos mostrados en el Cuadro 18 para cada puente.

Los resultados de lo descrito anteriormente se muestran en el Cuadro 19, donde tal y como se mencionó en la sección 3 de este proyecto, existen variedad de métodos para realizar la tarea de priorización de recursos, sin embargo, debido al alcance de este proyecto, se considera únicamente los aspectos de vialidad y el resultado de la inspección realizada con base en la metodología desarrollada.

Cuadro 19. Prioridad relativa de cada puente

Puente	Factor de importancia (FI)	Factor riesgo FR = (RM/42)	Prioridad relativa P = (FI*FR)
M. Aguilar RN2	37,5	0,40	<b>15,00</b>
Tiribí RN210	45,0	0,30	<b>13,50</b>
Ocloro RN175	35,0	0,26	<b>9,26</b>
M. Aguilar RN204	35,0	0,24	<b>8,24</b>
Cañas RN217	20,0	0,26	<b>5,29</b>
Ipís RN117	20,0	0,24	<b>4,71</b>
Jorco RN209	47,5	0,09	<b>4,19</b>
La Fuente RN122	15,0	0,26	<b>3,97</b>
Virilla RN117	25,0	0,10	<b>2,50</b>
Porrosatí RN119	10,0	0,18	<b>1,76</b>

Como se puede ver en el Cuadro 19, la primera prioridad en términos de las variables utilizadas sería el puente sobre el Río María Aguilar en la Ruta Nacional 2, lo cual concuerda con los problemas recurrentes que tienen la estructura con respecto a sus indicadores hidráulicos y su entorno, además, que la carretera en la que se encuentra es una vía muy importante de comunicación, tanto así que entre los puentes evaluados es la que posee un mayor TPD.

En el caso del puente sobre el río Tiribí, es necesario notar que a pesar de contar con un FR relativamente alto, lo que realmente hace que suba su prioridad relativa es el peso que tiene en la importancia en términos de vialidad, puesto que el peso que tiene la longitud del puente es elevado con respecto a otros factores, lo cual es de entender puesto a que entre mayor sea la extensión de la estructura, mayor será el costo de reparación o reposición en caso de falla total o parcial y mayor el tiempo requerido para tal fin.

Lo anterior también ocurre de manera similar en el caso del puente sobre el río Ocloro, donde debido a la longitud de la estructura, está se posiciona en el tercer lugar en términos de prioridad relativa.

A pesar de lo anterior, el análisis realizado es de gran relevancia para balancear la importancia en términos de vialidad y el estado de los indicadores hidráulicos para cada puente, de manera que sirva como una herramienta complementaria a la hora de tomar decisiones.

## **5 Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Tal como se observa en el desarrollo del proyecto, existe una relación entre algunos elementos de la metodología de inventario e inspección de puentes.

Mediante el uso de la metodología propuesta para el inventario e inspección se puede mejorar la uniformidad y objetividad en la evaluación de los puentes en términos hidráulicos.

La propuesta presentada para priorización en la atención de puentes, permite determinar de manera razonable el orden en el cual deberían destinársele recursos a un grupo de puentes, según se discute en el apartado correspondiente de este trabajo.

Con base en los resultados de la metodología, se concluye que el estado de los puentes evaluados en términos hidráulicos es de regular a bueno, donde el único con la condición de "malo" fue el puente sobre el río María Aguilar, en la Ruta Nacional 2.

Acorde a los resultados, los problemas más comunes encontrados en los puentes evaluados, desde el punto de vista hidráulico, fueron la ausencia de una llanura de inundación, la descarga cercana de otros afluentes y el sesgo del puente con el río.

Se determinó que el puente sobre el río María Aguilar, en la Ruta Nacional 2, es el que tiene mayor factor de riesgo en términos hidráulicos y, además, es el que tiene mayor prioridad relativa de los puentes evaluados.

Se identificaron varias áreas de mejora para la metodología, como el de su aplicación en puentes fuera de la GAM para una depuración más eficiente de la misma, así como la investigación sobre las diferencias que existen entre diferentes tipos de puentes, por ejemplo, rurales o urbanos, y como esto puede influir en la calificación de los indicadores al momento de evaluar los puentes.

## 5.2 Recomendaciones

Se recomienda generar una metodología con la cual se le dé un mayor peso a aquellas variables que resultan más críticas o que están más relacionadas al colapso del puente, además de considerar las que por aspectos técnicos y prácticos no se pudieron emplear para el desarrollo de este trabajo, de manera que sea posible obtener resultados más certeros en cuanto al estado de los puentes en términos hidráulicos.

En caso de utilizar la misma metodología considerando la importancia de la vía en términos del tránsito promedio diario, se recomienda valorar la idoneidad de cambiar los pesos establecidos para cada una de las variables mediante un análisis más detallado, incluso incluyendo criterios basado en la experiencia de los funcionarios a cargo de la gestión de tales activos, o en su defecto utilizar una metodología de importancia que considere también aspectos relacionados al costo aproximado de reparación o reposición en caso de falla de la estructura.

Se recomienda extender la aplicación de la metodología propuesta a una selección de puentes más amplia que no se limite únicamente a la Gran Área Metropolitana, de manera que se puedan obtener resultados en diferentes entornos que permitan optimizar la herramienta.

Relacionado con lo anterior, se mencionó en la sección de resultados, que algunos indicadores evaluados podrían resultar subjetivos sino se consideran las diferencias que existen entre puentes urbanos y los que no lo son, dado que según el Ing. Luis Villalobos, en la práctica aspectos como el sesgo entre el puente y el río pueden solucionarse rigidizando las paredes del cauce, por lo cual se recomienda una mayor investigación en estos temas para que pueda ser tomado en cuenta en una futura adaptación de la metodología, de manera que se dé más énfasis a la búsqueda de posibles señales de socavación entre otros aspectos como diferencias entre tipos de puentes, así como generar una base de datos con la información recolectada, que facilite la toma de decisiones en temas de priorización de recursos.

Para mejorar la eficiencia en el procesamiento de la información y la aceptación de la metodología propuesta en este trabajo, se recomienda elaborar una herramienta informática para el ingreso de la información de inventario e inspección, de manera que se pueda obtener un valor de prioridad de forma automática, o ya sea, profundizar más en el uso de la herramienta de KoBoToolBox de manera que esto sea posible mediante la utilización de fórmulas que involucren las variables de interés.

## 6 Bibliografía

- Akay, H., Baduna, M. & Melih, A. (2019). *Development of a Safety-Inspection Method for River Bridges in Turkey*. Recuperado el 5 de abril de 2020, de <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/9/1902>
- Akay, H. & Baduna, M. (2020). *Hydrologic Assessment Approach for River Bridges in Western Black Sea Basin, Turkey*. Recuperado el 2 de marzo de 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/336937408\\_Hydrologic\\_Assessment\\_Approach\\_for\\_River\\_Bridges\\_in\\_Western\\_Black\\_Sea\\_Basin\\_Turkey](https://www.researchgate.net/publication/336937408_Hydrologic_Assessment_Approach_for_River_Bridges_in_Western_Black_Sea_Basin_Turkey)
- Alit, P. & Bagus, I. (2017). *Multi-criteria Approach for Prioritizing Bridge Maintenance in Developing Country (Case Study of Bali Province, Indonesia)*. Engineering Faculty, Udayana University, Indonesia. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/317238631\\_Multi-criteria\\_Approach\\_for\\_Prioritizing\\_Bridge\\_Maintenance\\_in\\_Developing\\_Country\\_Case\\_Study\\_of\\_Bali\\_Province\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/317238631_Multi-criteria_Approach_for_Prioritizing_Bridge_Maintenance_in_Developing_Country_Case_Study_of_Bali_Province_Indonesia)
- Arizona Department of Transportation. (2014). *ADOT Bridge Inspection Guidelines*. Recuperado el 22 de septiembre de 2020, de <https://azdot.gov/business/engineering-and-construction/bridge/guidelines/bridge-inspection>
- Arneson, L., Zevenbergen, L., Lagasse, P. & Clopper, P. (2012). *EVALUATING SCOUR AT BRIDGES Fifth Edition*. FHWA. Recuperado el 11 de abril de 2020, de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pdf>
- Benavides, C. (2018). *¿En qué estado están los puentes de Costa Rica?* Revista Construir. Recuperado el 24 de abril de 2020, de <https://revistaconstruir.com/estado-estan-los-puentes-costa-rica/>
- Collin College (2017). *Anatomy of a Meander*. Recuperado el 4 de marzo de 2021, de <http://faculty.collin.edu/dmcculloch/2406/Notes/Aquatic%20Ecosystems/Lotic/Meander.htm>
- Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). (2018). *Diseño y construcción de la estructura de drenaje mayor sobre la Quebrada La Fuente, Ruta Nacional No. 122*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de <https://conavi.go.cr/drenaje-quebrada-la-fuente>

- Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). (s.f.). *Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP)*. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de [https://saep.conavi.go.cr//SAEP\\_CONAVI\\_Web/login.faces](https://saep.conavi.go.cr//SAEP_CONAVI_Web/login.faces)
- Cordero, D., Vargas, W. & Garro, J. (2010). *Metodologías de Evaluación de la Vulnerabilidad de la Infraestructura Vial Nacional*. Recuperado el 25 de abril de 2020, de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/7274/6951>
- Curridabat. (2020). *Sustitución de puente sobre Río María Aguilar*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de <https://www.curridabat.go.cr/inicio/proyectos/sustitucion-de-puente-sobre-rio-maria-aguilar-barrio-cipreses/>
- Federal Highway Administration. (2004). *National Bridge Inspections Standards Regulation (NBIS)*. FHWA. Recuperado el 10 de abril de 2020, de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis.cfm>
- Federal Highway Administration. (2012). *Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM)*. FHWA. Recuperado el 27 de abril de 2020, de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis/pubs/nhi12049.pdf>
- Gutiérrez, Y. & Muñoz, G. (2017). *Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP)*. Revista Tecnología MOPT. Recuperado el 9 de febrero de 2020, de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/491;jsessionid=C59C725AE40C1D1E13825EB579EE0597>
- Hydrogeologists Without Borders (HWB) (s.f.). *Geología del agua subterránea*. Recuperado el 4 de marzo de 2021, de <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-4/>
- Jiménez, D. (2015). *Metodología para la evaluación y priorización de pasos de agua tipo alcantarilla*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Recuperado el 13 de marzo de 2020, de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/2962>
- KoBoToolbox. (s.f.). *Simple, robust and powerful tools for data collection*. Recuperado el 20 de junio de 2021, de <https://www.kobotoolbox.org/>

- Main Roads Western Australia. (2008). *Detailed Visual Bridge Inspection Guidelines for Concrete and Steel Bridges (Level 2 Inspections)*. Recuperado el 5 de abril de 2020, de [https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Concrete%20%5E26amp%5E3B%20Steel%20Bridges%20Detailed%20Visual%20Inspection%20\(Level%202\)%20Guidelines%20Rev4A.RCN-D17%5E23337746.PDF](https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Concrete%20%5E26amp%5E3B%20Steel%20Bridges%20Detailed%20Visual%20Inspection%20(Level%202)%20Guidelines%20Rev4A.RCN-D17%5E23337746.PDF)
- Main Roads Western Australia. (2009). *Routine Visual Bridge Inspection Guidelines (Level 1 Inspections) for Bridges*. Recuperado el 9 de febrero de 2020, de [https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Routine%20Visual%20Inspection%20Guidelines%20-%2006706-02-2234%20-%20Rev2\(2\).RCN-D13%5E23349420.PDF](https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Routine%20Visual%20Inspection%20Guidelines%20-%2006706-02-2234%20-%20Rev2(2).RCN-D13%5E23349420.PDF)
- Main Roads Western Australia. (2014). *Detailed Visual Bridge Inspection Guidelines for Timber Bridges (Level 2 Inspections)*. Recuperado el 9 de febrero de 2020, de [https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Detailed%20Visual%20Bridge%20Inspection%20Guidelines%20for%20Timber%20Bridges%20\(Level%202%20Inspections\).RCN-D14%5E23347097.PDF](https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Detailed%20Visual%20Bridge%20Inspection%20Guidelines%20for%20Timber%20Bridges%20(Level%202%20Inspections).RCN-D14%5E23347097.PDF)
- Michigan Department of Transportation. (2017). *Michigan Structure Inspection Manual*. MDOT. Recuperado el 10 de abril de 2020, de [https://www.michigan.gov/mdot/0,4616,7-151-9625\\_24768\\_24773-326737--,00.html](https://www.michigan.gov/mdot/0,4616,7-151-9625_24768_24773-326737--,00.html)
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Costa Rica. Recuperado el 18 de abril de 2020, de [https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual\\_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES)
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2007). *Lineamientos para mantenimiento de puentes*. Costa Rica. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/3665>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2020). *Información del Tránsito Promedio Diario Anual*. Recuperado el 3 de julio de 2021, de <https://sig.mopt.go.cr:8084/transito/tpd.php>

- Mohamed, M., Mahdi, I., Hussein, A. & Arafat, H. (2019). An assessment model for identifying maintenance priorities strategy for bridges. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447919300966>
- Muñoz, J. (2017). *Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual*. Unidad de Puentes, Lanamme, UCR. Recuperado el 13 de marzo de 2020, de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/931>
- Noticias Repretel. (2016). *Río María Aguilar se desborda en Curridabat*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de [https://www.youtube.com/watch?v=KO2m\\_dONQFI&ab\\_channel=NoticiasRepretel](https://www.youtube.com/watch?v=KO2m_dONQFI&ab_channel=NoticiasRepretel)
- Noticias Repretel. (2017). *10 casas afectadas por desbordamiento de río María Aguilar*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de [https://www.youtube.com/watch?v=ZpSuTJkrAkY&ab\\_channel=NoticiasRepretel](https://www.youtube.com/watch?v=ZpSuTJkrAkY&ab_channel=NoticiasRepretel)
- Nonell, T. (2012). *File: A series of paired river terraces.jpg*. Recuperado el 9 de mayo de 2021, de [https://en.wikipedia.org/wiki/File:A\\_series\\_of\\_paired\\_river\\_terraces.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:A_series_of_paired_river_terraces.jpg)
- Lagasse, P., Clopper, P., Pagán, J., Zevenbergen, L., Arneson, L., Schall, J. & Girard, L. (2009). *BRIDGE SCOUR AND STREAM INSTABILITY COUNTERMEASURES Experience, Selection and Design Guidance Volumes 1 Third Edition*. FHWA. Recuperado el 11 de abril de 2020, de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09111/09111.pdf>
- Lagasse, L., Zevenbergen, L., Spitz, W. & Arneson, L. (2012). *STREAM STABILITY AT HIGHWAY STRUCTURES Fourth Edition*. FHWA. Recuperado el 11 de abril de 2020, de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12004.pdf>
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). (2019). *Asesoría al CONAVI para el denominado "Programa de Intervención de puentes en estado deficiente". ENTREGA 1*. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2116>
- Ortiz, E. (2014). *Atlas de Costa Rica 2014*. Tecnológico de Costa Rica. Recuperado el 26 de abril de 2020, de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749>

- Rocha, A. (2010). *Comentarios sobre aspectos hidráulicos del manual de diseño de puentes*. Recuperado el 24 de abril de 2020, de [https://www.researchgate.net/publication/315829266\\_COMENTARIOS\\_SOBRE\\_ASPECTOS\\_HIDRAULICOS\\_DEL\\_MANUAL\\_DE\\_DISENO\\_DE\\_PUENTES](https://www.researchgate.net/publication/315829266_COMENTARIOS_SOBRE_ASPECTOS_HIDRAULICOS_DEL_MANUAL_DE_DISENO_DE_PUENTES)
- Rogers, J. (2008). *Development of the New Orleans Flood Protection System prior to Hurricane Katrina*. Recuperado el 9 de mayo de 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/255619286\\_Development\\_of\\_the\\_New\\_Orleans\\_Flood\\_Protection\\_System\\_prior\\_to\\_Hurricane\\_Katrina/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/255619286_Development_of_the_New_Orleans_Flood_Protection_System_prior_to_Hurricane_Katrina/figures?lo=1)
- Salazar, T. (2012). *Inspección, evaluación y priorización de 8 puentes utilizando el Proceso Analítico Jerárquico*. Recuperado el 15 de mayo de 2021, de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6170>
- Simon, A. & Downs, P. (1995). *An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels*. University of Nottingham, Nottingham, UK. Recuperado el 6 de marzo de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169555X9500005P>
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (s.f.). *CNE*. Costa Rica. Recuperado el 14 de Julio de 2021, de [https://www.snitcr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc\\_info?k=bm9kbzo6NDU=&nombre=CNE](https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6NDU=&nombre=CNE)
- Suarez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 27 de abril de 2020, de <https://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html>
- Tecnológico de Costa Rica. (2014). *Atlas de Costa Rica 2014*. Costa Rica. Recuperado el 14 de Julio de 2021, de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749>

## 7 Anexos

### 7.1 M. Aguilar Ruta Nacional 2

#### 7.1.1 Inventario

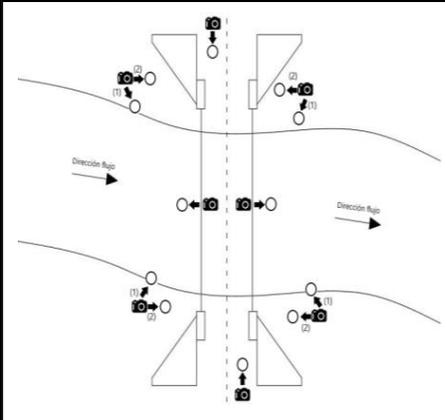
INVENTARIO DE PUENTES		Nombre: Río María Aguilar RN 2	Código: 704
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Andrey Calderón Solís
		Fecha:	10/7/2021
1- Datos generales obtenidos previamente			
Datos de fechas		Datos de ubicación	
Año de construcción:	No disponible	Coordenada Norte:	9,91598
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este:	-84,03180
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia:	San José
Fecha de último inventario:	-	Cantón:	Curridabat
Fecha de última inspección:	-	Distrito:	Curridabat
		N° Ruta:	2
		N° de carriles A:	2
		N° de carriles B:	2
Datos viales			
Longitud ruta alterna (km)	5,8611	TPD	44228
Datos de la vecindad, del puente y la cuenca			
Tipo de zona:	<input type="checkbox"/> Residencial	<input type="checkbox"/> Industrial	<input checked="" type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta
Edificaciones cercanas:	<input checked="" type="checkbox"/> Edificios	<input type="checkbox"/> Vías	<input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input checked="" type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:
¿Potencial de inundación?	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Río que cruza:	
Perímetro de la cuenca (km)	16,0295	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	11,3392
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	16,24	Longitud del cauce principal (km)	8,0814
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	389,78
2- Datos generales obtenidos en sitio			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:
	Subestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:
Tipo de protección del terraplén del puente en ambas márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara	<input type="checkbox"/> Jabonosa	<input type="checkbox"/> Fétida <input checked="" type="checkbox"/> Basura/escombros
3- Mediciones obtenidas en sitio			
Datos generales del puente y su entorno			
Pendiente de terraplén del puente en ambas márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)	20,9	Número de subestructuras	2
Ancho del puente: (m)	15,5	Separación promedio entre aperturas del río: (m)	11,6
4- Fotografías estándar tomadas	5- Observaciones		
	<p>En la parte aguas abajo del puente pasan algunos ductos de servicios públicos, en los cuales se observan escombros atascados que denotan hasta donde ha llegado el agua durante crecidas del río, lo cual es a aproximadamente 2 m de la base del río.</p>		

Figura 21. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 1

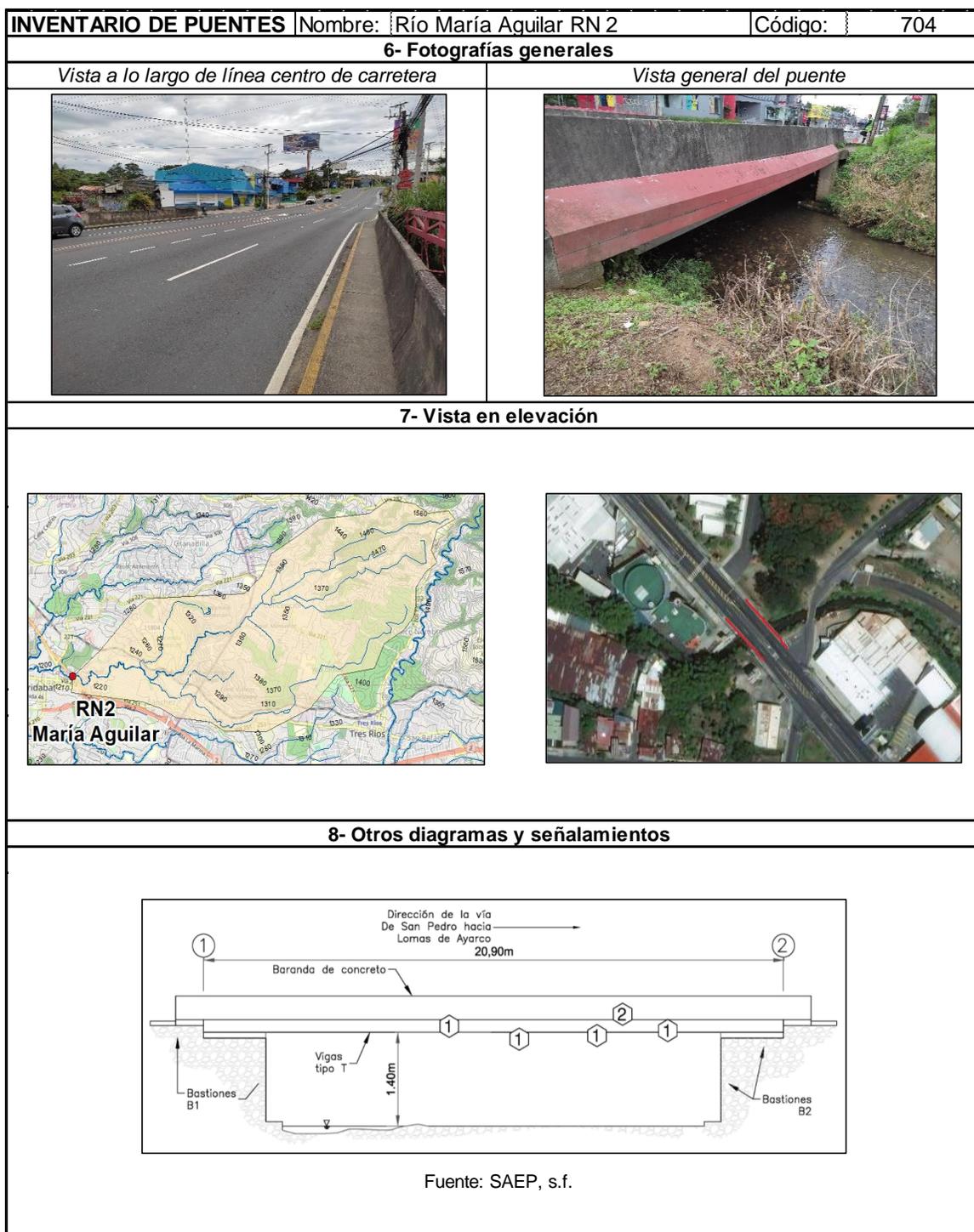


Figura 22. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 2

## 7.1.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTES</b>		Nombre:	<b>Río María Aguilar RN 2</b>	Código:	704				
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Andrey Calderón Solís	Fecha:	10/7/2021				
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/>	Buena (B)	<input type="checkbox"/>	Regular (R)	<input checked="" type="checkbox"/>	Mala (M)	<input type="checkbox"/>	Crítica (C)		
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>				<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>	
V: Uso de suelo en la cuenca						3		1	
O: Estructuras de retención en la cuenca						1		0	
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>				<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>	
V: Patrón de canal						3		1	
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*						1		0	
C: Formación de llanura de inundación*						4		2	
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>				<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>	
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*						4		2	
C: Desgaste o quiebra de los bancos*						2		0	
C: Corte de los bancos*						3		1	
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>				<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>	
V: Descarga de otros afluentes*						4		2	
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías						2		0	
C: Recuperación del río (lecho y bancos)						1		0	
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>				<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>	
O: Localización del puente						3		1	
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	51			1		0	
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	26,1			3		1	
C: Flujo en la sección del río						3		1	
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación						N/A		0	
C: Observabilidad						N/A		0	
C: Socavación						N/A		0	
C: Contramedidas contra la socavación						N/A		0	
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección						N/A		0	
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento						N/A		0	
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	12	MP	30	M	1,40	<b>RM</b>	<b>16,80</b>	<b>Clasificación:</b>	<b>Mala</b>
<i>Acción recomendada:</i>		Factores hidráulicos importantes que afectan el puente. Se deben tomar precauciones y se debe monitorear el puente.							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en campo									

Figura 23. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 1

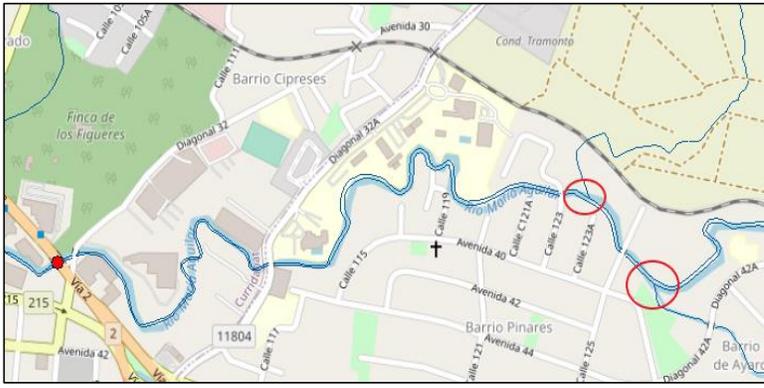
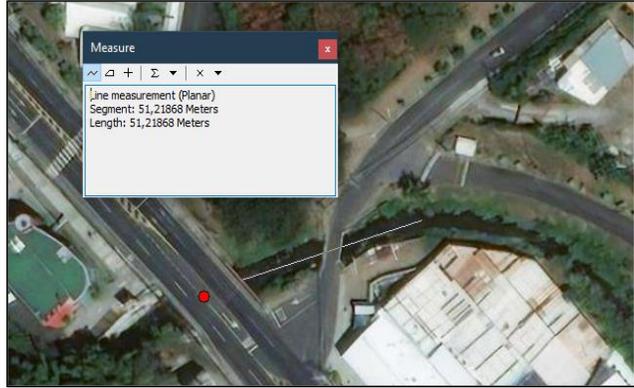
<b>INSPECCIÓN DE PUENTES</b> Nombre: Río María Aguilar RN 2	Código: 704
<b>7- Observaciones</b>	
<p>Cerca de la estructura, a unos 30 m aguas arriba existe otro puente que podría provocar cambios en el flujo debido al estrechamiento bajo el mismo, principalmente durante crecidas del río.</p> <p>Los bastiones no se observan bien desde el ángulo de visión del puente. Es poco seguro bajar cerca del río. Nivel de agua bajo al momento de la inspección, unos 20 cm.</p>	
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>	
	
	

Figura 24. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 2, página 2



Figura 25. Principales fotografías del M. Aguilar Ruta Nacional 2

## 7.2 Tiribí Ruta Nacional 210

### 7.2.1 Inventario

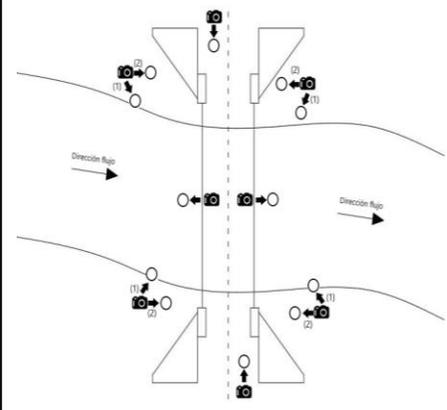
<b>INVENTARIO DE PUENTES</b>		Nombre: <b>Río Tiribí RN 210</b>		Código: 1430	
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Andrey Calderón Solís	
		Fecha: 10/7/2021			
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>					
<i>Datos de fechas</i>			<i>Datos de ubicación</i>		
Año de construcción:		1987		Coordenada Norte: 9,90834	
Fecha de última reparación:		No disponible		Coordenada Este: -84,04072	
Fecha de último mantenimiento:		No disponible		Provincia: San José	Nº Ruta: 210
Fecha de último inventario:		-		Cantón: Curridabat	Nº de carriles A: 1
Fecha de última inspección:		-		Distrito: Tirrasas	Nº de carriles B: 1
<i>Datos viales</i>					
Longitud ruta alterna (km)		2,416		TPD 24991	
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>					
Tipo de zona:		<input checked="" type="checkbox"/> Residencial		<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta	
Edificaciones cercanas:		<input checked="" type="checkbox"/> Edificios		<input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:	
¿Potencial de inundación?		<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		Río que cruza: Tiribí	
Perímetro de la cuenca (km)		41,7908		Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) 61,0546	
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )		95,20		Longitud del cauce principal (km) 23,4807	
				Diferencia de altura en la cuenca (m) 1722,13	
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>					
Materiales principales del puente:		Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
		Subestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terraplén del puente en ambas márgenes del río:		Derecha: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado		Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		Izquierda: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado		Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)		A. arriba: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado		Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		A. abajo: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado		Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:		<input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida		<input checked="" type="checkbox"/> Basura/escombros	
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>					
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>					
Pendiente de terraplén del puente en ambas márgenes del río: (°)		Derecha: -		Ángulo del río con el puente: (°) 52,6	
		Izquierda: -		Nivel de crecientes visto en campo: (m) 2	
Longitud del puente: (m)		30		Número de subestructuras 2	
Ancho del puente: (m)		11		Separación promedio entre aperturas del río: (m) 17	
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>			<b>5- Observaciones</b>		
			No es posible observar detalladamente los bastiones desde el puente o al rededores.		
			Gran cantidad de escombros especialmente aguas abajo del puente.		

Figura 26. Inventario Tiribí Ruta Nacional 210, página 1

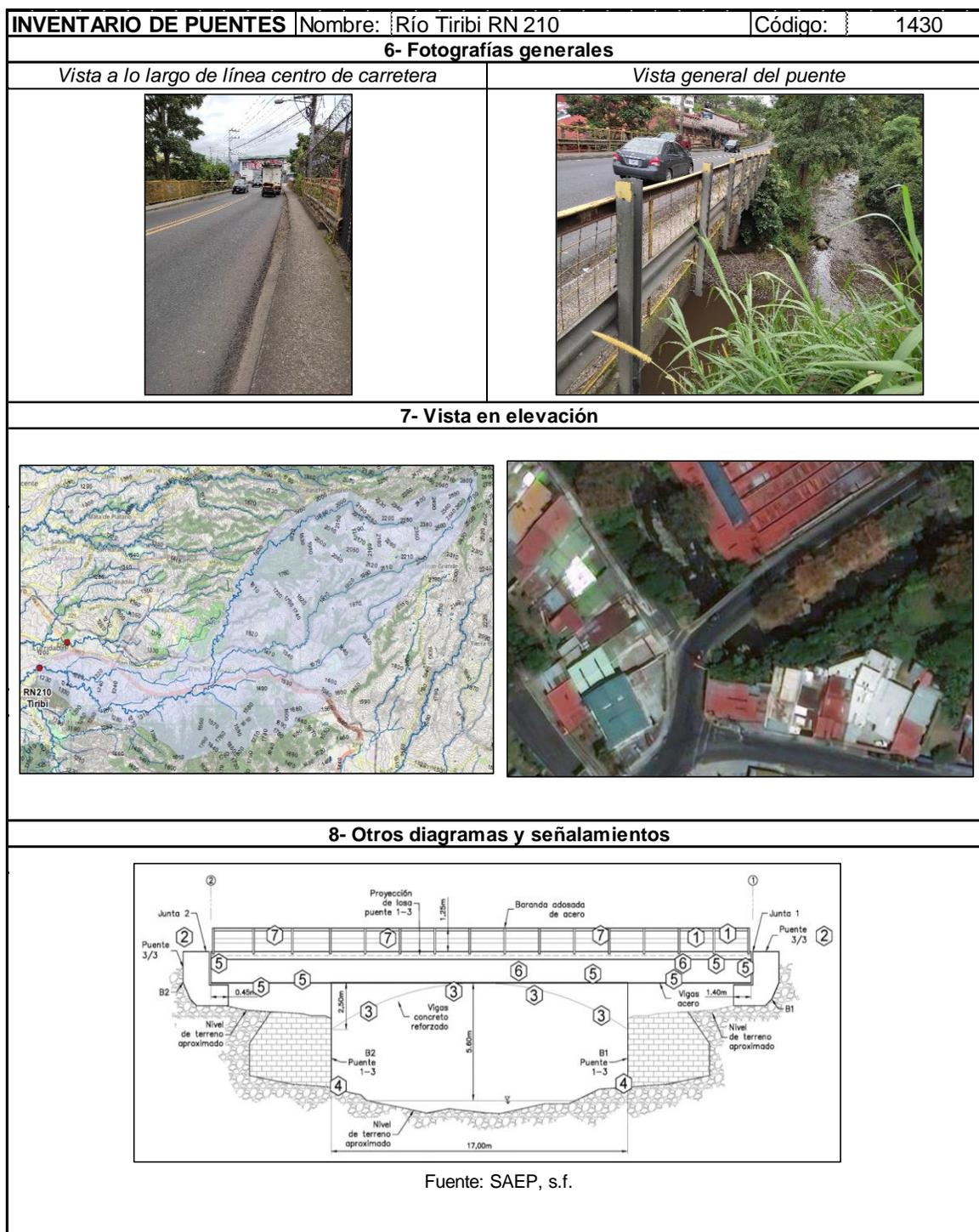


Figura 27. Inventario Tiribí Ruta Nacional 210, página 2

## 7.2.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTES</b>		Nombre: <b>Río Tiribí RN 210</b>		Código: 1430					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Andrey Calderón Solís	Fecha: 10/7/2021					
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M) <input type="checkbox"/> Crítica (C)					
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Uso de suelo en la cuenca			2			0			
O: Estructuras de retención en la cuenca			1			0			
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Patrón de canal			2			0			
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*			1			0			
C: Formación de llanura de inundación*			3			1			
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*			1			0			
C: Desgaste o quiebra de los bancos*			2			0			
C: Corte de los bancos*			2			0			
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Descarga de otros afluentes*			4			2			
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías			3			1			
C: Recuperación del río (lecho y bancos)			2			0			
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
O: Localización del puente			3			1			
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	10	4		2			
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	56,1	4		2			
C: Flujo en la sección del río			1			0			
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación			N/A			0			
C: Observabilidad			N/A			0			
C: Socavación			N/A			0			
C: Contramedidas contra la socavación			N/A			0			
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección			N/A			0			
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento			N/A			0			
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	9	MP	30	M	1,40	RM	12,60	Clasificación:	Regular
<i>Acción recomendada:</i>		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en campo									

Figura 28. Inspección Tiribí Ruta Nacional 210, página 1

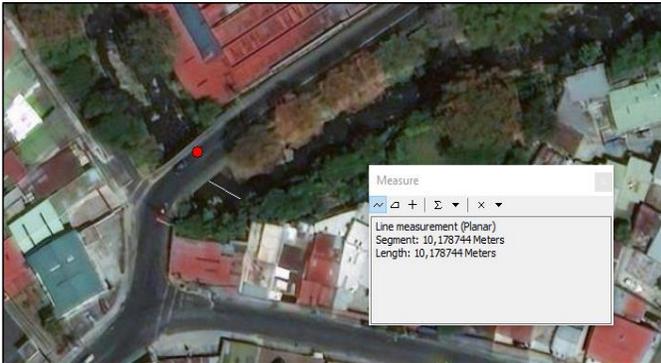
<b>INSPECCIÓN DE PUENTES</b> Nombre: Río Tiribí RN 210	Código: 1430
<b>7- Observaciones</b>	
Los bastiones no se observan bien desde el puente o cercanías debido a la altura del puente. Sería necesario bajar para una observación más detallada, pero es poco seguro y de difícil acceso.	
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>	
	
	

Figura 29. Inspección Tiribí Ruta Nacional 210, página 2



Figura 30. Principales fotografías del Tiribí Ruta Nacional 210

## 7.3 M. Aguilar RN 204

### 7.3.1 Inventario

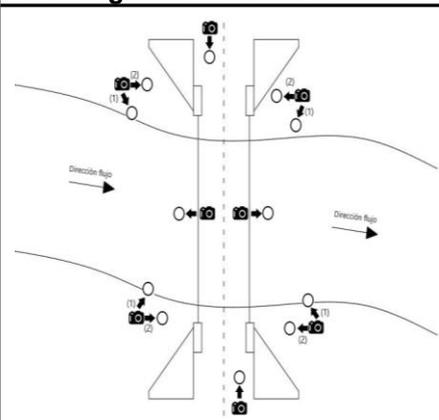
<b>INVENTARIO DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río María Aguilar RN 204</b>		Código: 1179	
Encargados: 1. Jeremy Solís Fonseca		2. Andrey Calderón Solís		Fecha: 10/07/2021	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>					
<i>Datos de fechas</i>			<i>Datos de ubicación</i>		
Año de construcción:		No disponible		Coordenada Norte: 9,91388	
Fecha de última reparación:		No disponible		Coordenada Este: -84,05654	
Fecha de último mantenimiento:		No disponible		Provincia: San José	
Fecha de último inventario:		-		N° Ruta: 204	
Fecha de última inspección:		-		Cantón: San José	
				N° de carriles A: 1	
		Distrito: Zapote		N° de carriles B: 1	
<i>Datos viales</i>					
Longitud ruta alterna (km)		3,339		TPD 25330	
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>					
Tipo de zona:		<input checked="" type="checkbox"/> Residencial		<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta	
Edificaciones cercanas:		<input checked="" type="checkbox"/> Edificios		<input type="checkbox"/> Vías <input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:	
¿Potencial de inundación?		<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		Río que cruza:	
Perímetro de la cuenca (km)		22,7411		Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) 22,3730	
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )		9,60		Longitud del cauce principal (km) 9,4451	
				Diferencia de altura en la cuenca (m) 439,71	
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>					
Materiales principales del puente:		Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
		Subestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terrapién del puente en ambos márgenes del río:		Derecha: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		Izquierda: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)		A. arriba: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		A. abajo: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:		<input type="checkbox"/> Clara <input checked="" type="checkbox"/> Jabonosa		<input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros	
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>					
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>					
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)		Derecha: -		Ángulo del río con el puente: (°) 14,4	
		Izquierda: -		Nivel de crecientes visto en campo: (m) 3	
Longitud del puente: (m)		14,6		Número de subestructuras 2	
Ancho del puente: (m)		10,8		Separación promedio entre aperturas del río: (m) 6	
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>			<b>5- Observaciones</b>		
			Río con inclinación notable bajo el puente. Ductos a ambos lados.		

Figura 31. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 1

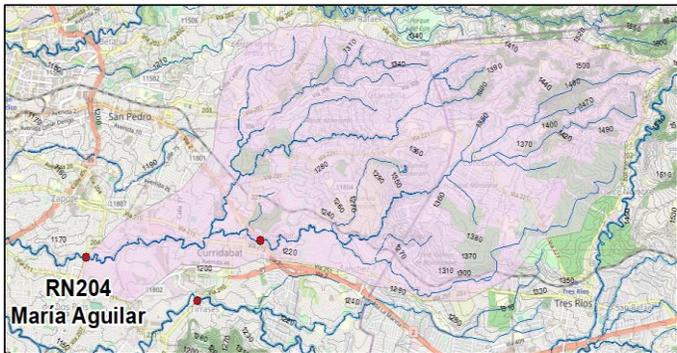
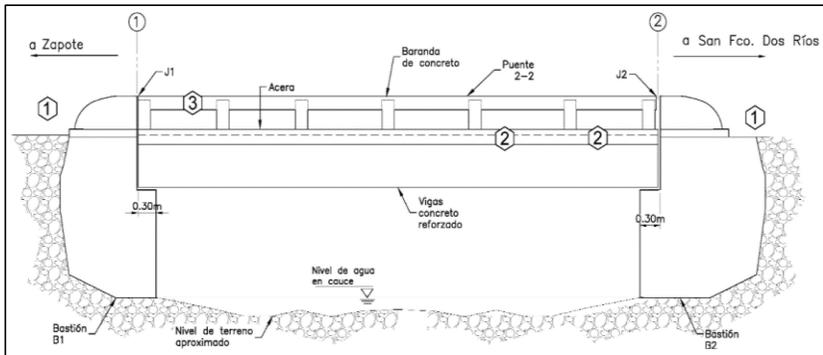
INVENTARIO DE PUENTE		Nombre: Río María Aguilar RN 204	Código: 1179
<b>6- Fotografías generales</b>			
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>		<i>Vista general del puente</i>	
			
<b>7- Vista en elevación</b>			
			
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>			
 <p style="text-align: center;">Fuente: SAEP, s.f.</p>			

Figura 32. Inventario M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 2

## 7.3.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río María Aguilar RN 204</b>		Código: 1179					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Andrey Calderón Solís					
		Fecha: 10/07/2021							
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M)					
				<input type="checkbox"/> Crítica (C)					
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Uso de suelo en la cuenca		3		1					
O: Estructuras de retención en la cuenca		1		0					
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Patrón de canal		3		1					
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*		1		0					
C: Formación de llanura de inundación*		4		2					
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*		3		1					
C: Desgaste o quiebra de los bancos*		2		0					
C: Corte de los bancos*		1		0					
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Descarga de otros afluentes*		3		1					
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías		2		0					
C: Recuperación del río (lecho y bancos)		2		0					
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
O: Localización del puente		3		1					
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	89	1	0				
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	14,4	3	1				
C: Flujo en la sección del río				2	0				
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación				N/A	0				
C: Observabilidad				N/A	0				
C: Socavación				N/A	0				
C: Contramedidas contra la socavación				N/A	0				
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección				2	0				
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento				1	0				
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	8	MP	34	M	1,24	RM	9,88	Clasificación:	Regular
Acción recomendada:		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 33. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 1

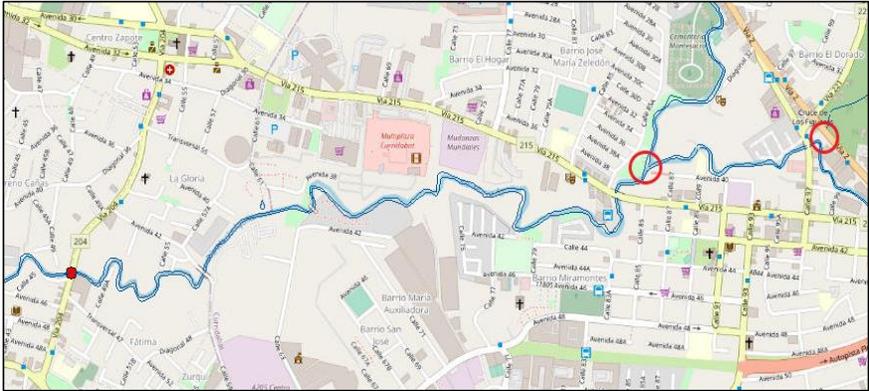
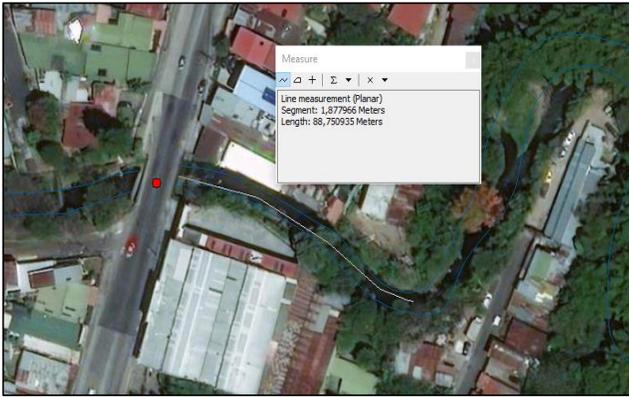
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b> Nombre: Río María Aguilar RN 204	Código: 1179
<b>7- Observaciones</b>	
La basura ha llegado al nivel de uno de los ductos.	
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>	
	
	

Figura 34. Inspección M. Aguilar Ruta Nacional 204, página 2



Figura 35. Principales fotografías del M. Aguilar Ruta Nacional 204

## 7.4 Jorco RN 209

### 7.4.1 Inventario

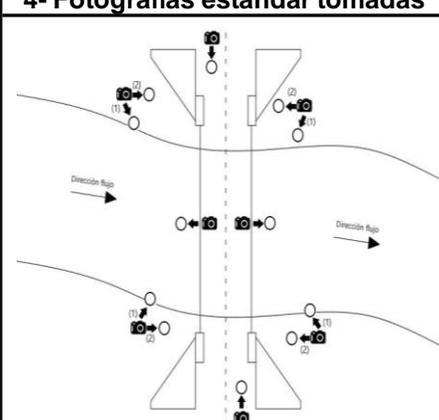
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b> Nombre: <b>Río Jorco RN 209</b>		Código: 1230	
Encargados: 1. Jeremy Solís Fonseca 2. Andrey Calderón Solís		Fecha: 10/07/2021	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>			
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>	
Año de construcción:	1964	Coordenada Norte:	9,88433
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este:	-84,06795
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia:	San José
Fecha de último inventario:	-	Cantón:	Desamparados
Fecha de última inspección:	-	Distrito:	San Miguel
		Nº Ruta:	209
		Nº de carriles A:	1
		Nº de carriles B:	1
<i>Datos viales</i>			
Longitud ruta alterna (km)	10,476	TPD	28484
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>			
Tipo de zona:	<input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input checked="" type="checkbox"/> Mixta		
Edificaciones cercanas:	<input checked="" type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:		
¿Potencial de inundación?	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Río que cruza:	Jorco
Perímetro de la cuenca (km)	21,1701	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	23,4391
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	72,00	Longitud del cauce principal (km)	9,5554
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	768,34
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
	Subestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terraplen del puente en ambos márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Jabonosa <input checked="" type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros		
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>			
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>			
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)	31,4	Número de subestructuras	2
Ancho del puente: (m)	9,8	Separación promedio entre aperturas del río: (m)	16
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>		<b>5- Observaciones</b>	
		<p>Se observaron señales de que el agua ha llegado hasta aproximadamente 2 m de altura, como basura/escombros, altura que coincide bastante con nivel de aguas extraordinarias mostrado en el plano disponible en el SAEP.</p> <p>No se observan servicios públicos.</p>	

Figura 36. Inventario Jorco Ruta Nacional 209, página 1

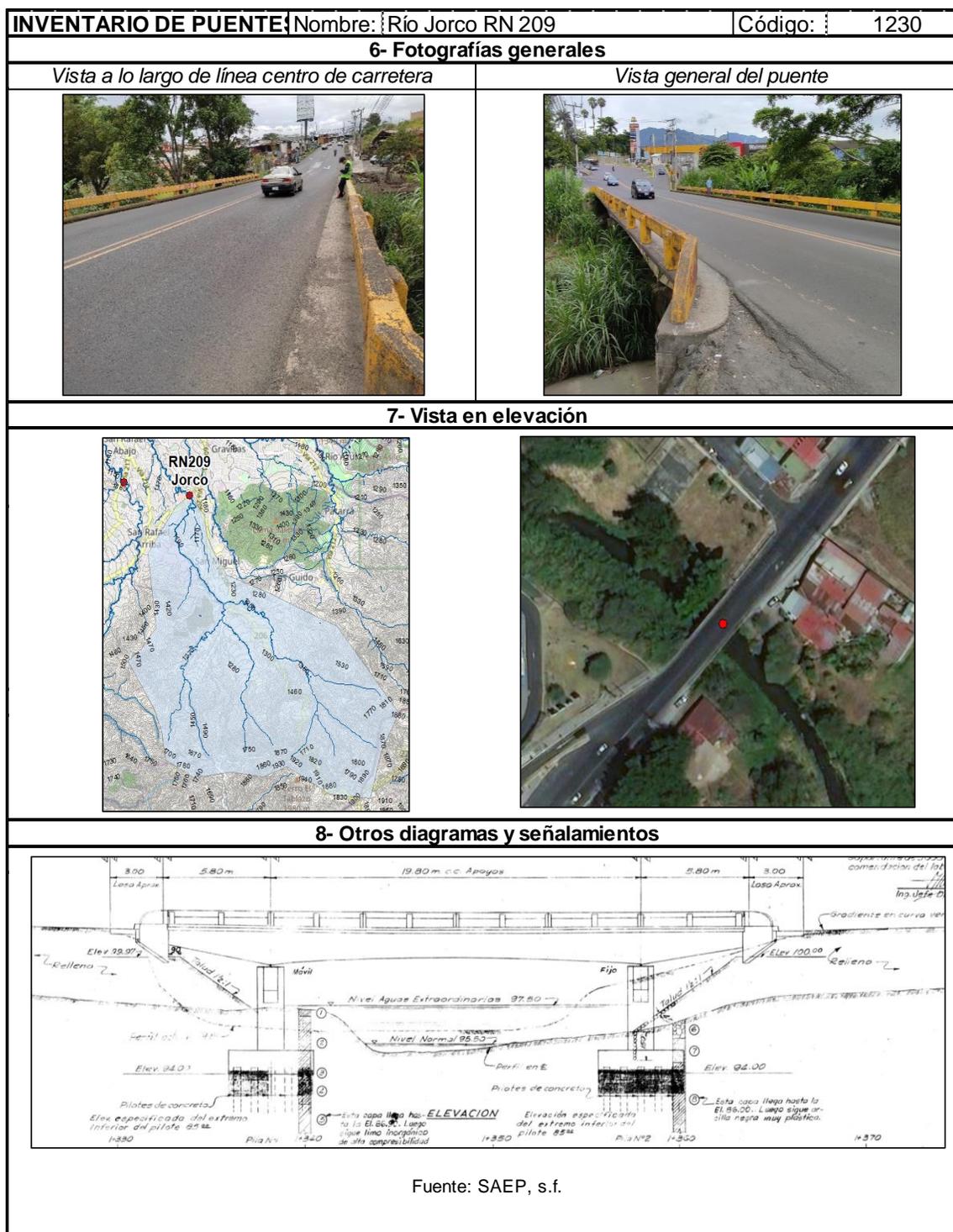


Figura 37. Inventario Jorco Ruta Nacional 209, página 2

## 7.4.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Jorco RN 209</b>		Código: 1230					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Andrey Calderón Solís	Fecha: 10/07/2021					
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input checked="" type="checkbox"/>	Buena (B)	<input type="checkbox"/>	Regular (R)	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/>	Mala (M)	<input type="checkbox"/>	Crítica (C)						
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Uso de suelo en la cuenca			2			0			
O: Estructuras de retención en la cuenca			1			0			
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Patrón de canal			2			0			
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*			1			0			
C: Formación de llanura de inundación*			2			0			
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*			1			0			
C: Desgaste o quiebra de los bancos*			2			0			
C: Corte de los bancos*			1			0			
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Descarga de otros afluentes*			4			2			
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías			1			0			
C: Recuperación del río (lecho y bancos)			1			0			
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
O: Localización del puente			3			1			
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	298,3	1		0			
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	1,0	1		0			
C: Flujo en la sección del río			2			0			
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación			N/A			0			
C: Observabilidad			N/A			0			
C: Socavación			N/A			0			
C: Contramedidas contra la socavación			N/A			0			
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección			1			0			
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento			1			0			
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	3	MP	34	M	1,24	<b>RM</b>	<b>3,71</b>	<b>Clasificación:</b>	<b>Buena</b>
<i>Acción recomendada:</i>		Sin factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 38. Inspección Jorco Ruta Nacional 209, página 1

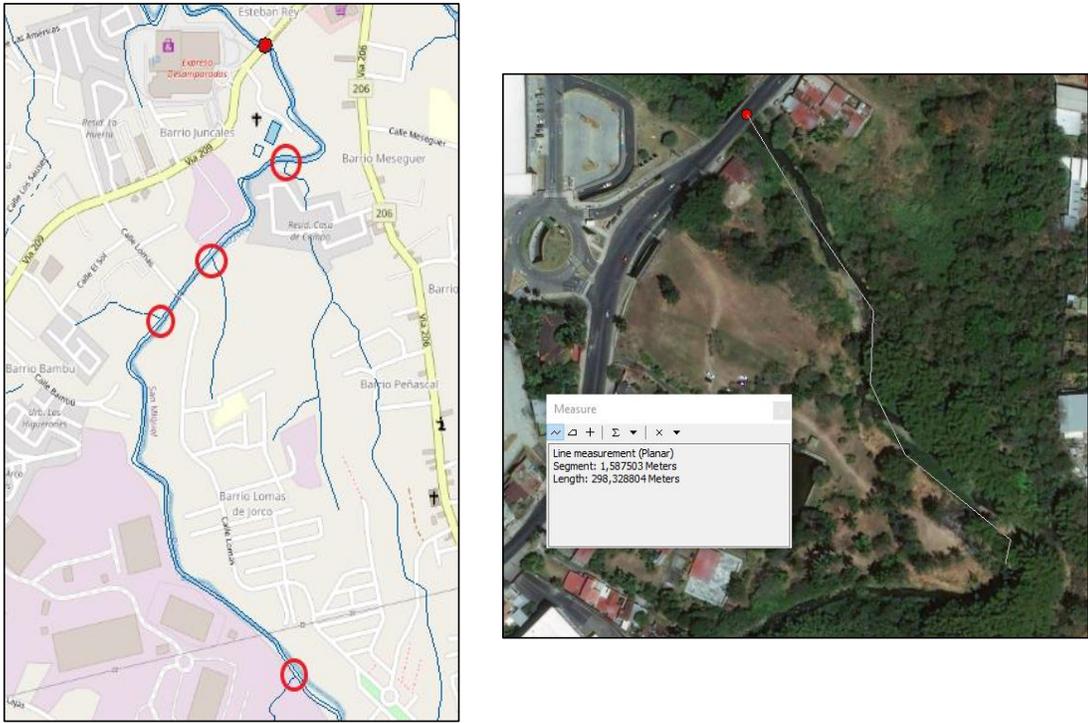
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b> Nombre: Río Jorco RN 209	Código: 1230
<b>7- Observaciones</b>	
El río tiene contacto mínimo con los bastiones. Mucha vegetación presente en ambas márgenes.	
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>	
 <p>The figure consists of two side-by-side images. On the left is a street map of the area around Río Jorco, showing various neighborhoods like Barrio Juncuales, Barrio Meseguer, Barrio Lomas de Jorco, and Barrio Peñascal. The river is highlighted in blue, and several points along its course are marked with red circles. On the right is an aerial photograph of the same area, showing the river's path through a densely vegetated landscape. A white line is drawn over the aerial view, following the river's course, and a red dot is placed at one of the marked locations. A 'Measure' window is overlaid on the aerial view, displaying the following information: 'Line measurement (Planar)', 'Segment: 1,587503 Meters', and 'Length: 298,328804 Meters'.</p>	

Figura 39. Inspección Jorco Ruta Nacional 209, página 2



Figura 40. Principales fotografías del Jorco Ruta Nacional 209

## 7.5 Cañas RN 217

### 7.5.1 Inventario

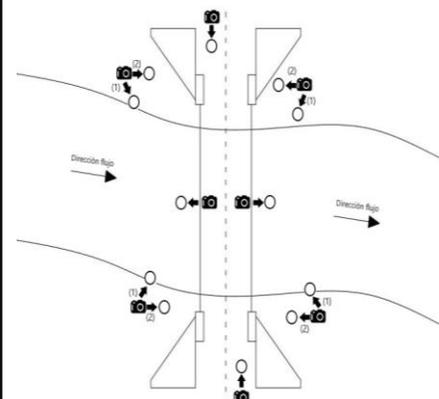
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b> Nombre: <b>Río Cañas RN 217</b>		Código: 1468
Encargados: 1. Jeremy Solís Fonseca 2. Andrey Calderón Solís		Fecha: 10/07/2021
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>		
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>
Año de construcción:	No disponible	Coordenada Norte: 9,88697
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este: -84,08236
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia: San José N° Ruta: 217
Fecha de último inventario:	-	Cantón: Desamparados N° de carriles A: 1
Fecha de última inspección:	-	Distrito: San Rafael Abajo N° de carriles B: 1
<i>Datos viales</i>		
Longitud ruta alterna (km)	0,17	TPD 16872
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>		
Tipo de zona:	<input checked="" type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta	
Edificaciones cercanas:	<input checked="" type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:	
¿Potencial de inundación?	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Río que cruza: Cañas
Perímetro de la cuenca (km)	24,3963	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) 28,4712
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	73,50	Longitud del cauce principal (km) 9,9416
		Diferencia de altura en la cuenca (m) 1186,80
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>		
Materiales principales del puente:	Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
	Subestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terraplen del puente en ambos márgenes del río:	Derecha: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno	
	Izquierda: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input checked="" type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	A. abajo: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara <input checked="" type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros	
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>		
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>		
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha: -	Ángulo del río con el puente: (°) 71,8
	Izquierda: -	Nivel de crecientes visto en campo: (m) 3
Longitud del puente: (m)	17,25	Número de subestructuras 2
Ancho del puente: (m)	9,2	Separación promedio entre aperturas del río: (m) 7,5
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>	<b>5- Observaciones</b>	
	<p>Debido a limitaciones espaciales del sitio, no fue posible obtener una fotografía general del puente.</p> <p>No se observan servicios públicos.</p>	

Figura 41. Inventario Cañas Ruta Nacional 217, página 1

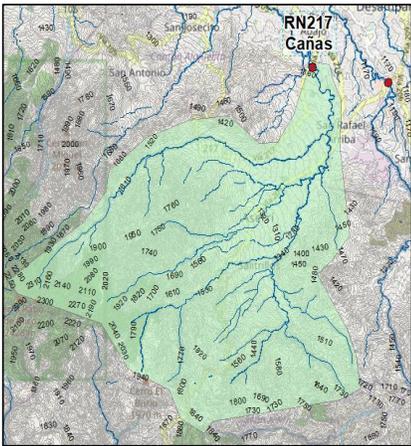
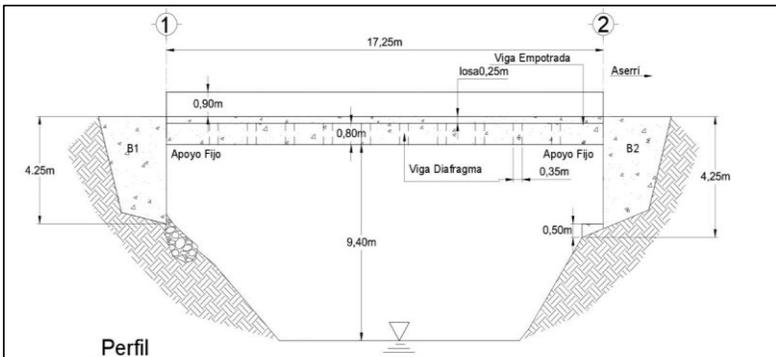
INVENTARIO DE PUENTE		Nombre: Río Cañas RN 217	Código: 1468
<b>6- Fotografías generales</b>			
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>		<i>Vista del río aguas abajo</i>	
			
<b>7- Vista en elevación</b>			
			
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>			
 <p style="text-align: center;">Fuente: SAEP, s.f.</p>			

Figura 42. Inventario Cañas Ruta Nacional 217, página 2

## 7.5.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Cañas RN 217</b>		Código: 1468					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Andrey Calderón Solís					
		Fecha: 10/07/2021							
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M)					
				<input type="checkbox"/> Crítica (C)					
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Uso de suelo en la cuenca		2		0					
O: Estructuras de retención en la cuenca		1		0					
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Patrón de canal		3		1					
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*		1		0					
C: Formación de llanura de inundación*		4		2					
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*		3		1					
C: Desgaste o quiebra de los bancos*		2		0					
C: Corte de los bancos*		1		0					
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Descarga de otros afluentes*		3		1					
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías		1		0					
C: Recuperación del río (lecho y bancos)		1		0					
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
O: Localización del puente		3		1					
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	63,1	1	0				
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	71,8	4	2				
C: Flujo en la sección del río				1	0				
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación				N/A	0				
C: Observabilidad				N/A	0				
C: Socavación				N/A	0				
C: Contramedidas contra la socavación				N/A	0				
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección				3	1				
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento				1	0				
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	9	MP	34	M	1,24	RM	11,12	Clasificación:	Regular
Acción recomendada:		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 43. Inspección Cañas Ruta Nacional 217, página 1

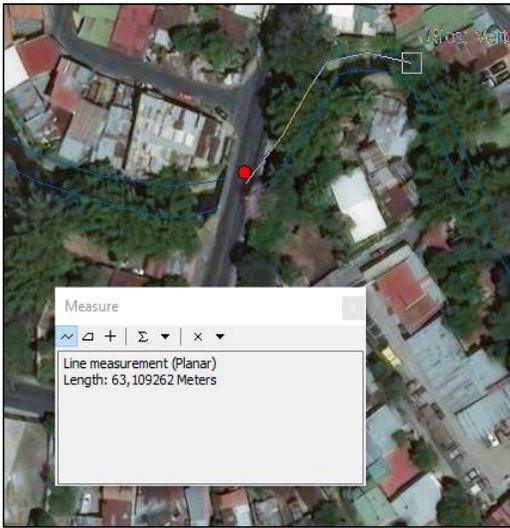
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b> Nombre: Río Cañas RN 217		Código: 1468
<b>7- Observaciones</b>		
<p>Por el ángulo de vista desde el puente es difícil visualizar los bastiones, sin embargo, desde uno de los lados se puede apreciar signos de socavación en la protección del bastión derecho.</p>		
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>		
		
		

Figura 44. Inspección Cañas Ruta Nacional 217, página 2



Figura 45. Principales fotografías del Cañas Ruta Nacional 217

## 7.6 Cañas RN 217

### 7.6.1 Inventario

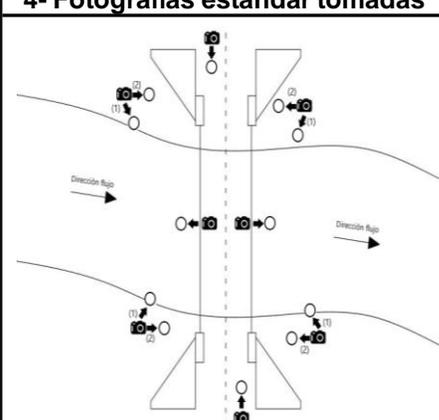
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b> Nombre: <b>Río Ocloro RN 175</b>		Código: 1182	
Encargados: 1. Jeremy Solís Fonseca 2. Andrey Calderón Solís		Fecha: 10/07/2021	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>			
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>	
Año de construcción:	No disponible	Coordenada Norte:	9,91886
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este:	-84,07537
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia:	San José
Fecha de último inventario:	-	Cantón:	San José
Fecha de última inspección:	-	Distrito:	Catedral
		N° Ruta:	175
		N° de carriles A:	1
		N° de carriles B:	2
<i>Datos viales</i>			
Longitud ruta alterna (km)	1,869	TPD	20953
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>			
Tipo de zona:	<input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input checked="" type="checkbox"/> Mixta		
Edificaciones cercanas:	<input checked="" type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Vías <input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:		
¿Potencial de inundación?	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Río que cruza:	Ocloro
Perímetro de la cuenca (km)	10,1173	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	5,5498
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	16,39	Longitud del cauce principal (km)	5,7776
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	96,11
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
	Subestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terraplén del puente en ambos márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input checked="" type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno	
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara <input checked="" type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros		
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>			
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>			
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)	8,2	Número de subestructuras	2
Ancho del puente: (m)	17	Separación promedio entre aperturas del río: (m)	7,45
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>		<b>5- Observaciones</b>	
		<p>Hay gaviones solo en la margen derecha aguas abajo y aguas arriba hay concreto.</p> <p>Aguas abajo se observan indicios de que el agua pudo haber llegado en eventos de crecientes hasta 3 m de altura aproximadamente.</p>	

Figura 46. Inventario Ocloro Ruta Nacional 175, página 1

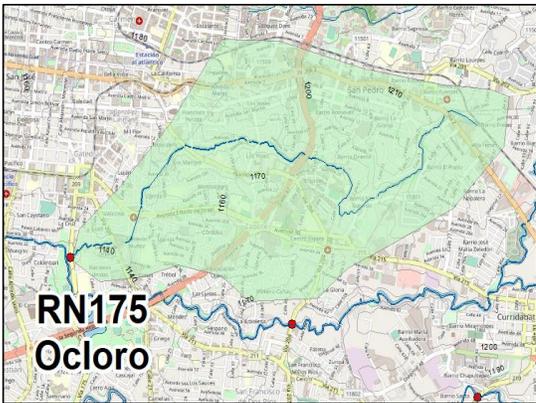
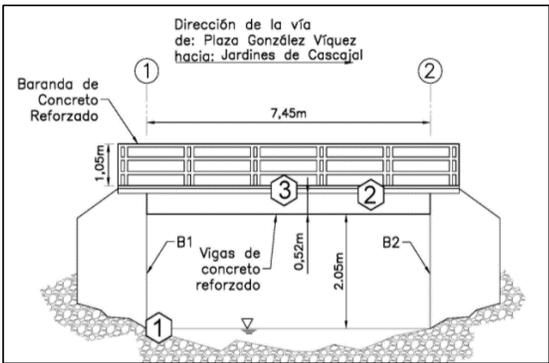
INVENTARIO DE PUENTE		Nombre: Río Ocloro RN 175	Código: 1182
<b>6- Fotografías generales</b>			
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>		<i>Vista del río aguas arriba</i>	
			
<b>7- Vista en elevación</b>			
			
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>			
<p>Dirección de la vía de: Plaza González Víquez hacia: Jardines de Cascajal</p>  <p>Fuente: SAEP, s.f.</p>			

Figura 47. Inventario Ocloro Ruta Nacional 175, página 2

## 7.6.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Ocloro RN 175</b>		Código: 1182					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Andrey Calderón Solís					
		Fecha: 10/07/2021							
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M)					
				<input type="checkbox"/> Crítica (C)					
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Uso de suelo en la cuenca		3		1					
O: Estructuras de retención en la cuenca		1		0					
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Patrón de canal		3		1					
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*		1		0					
C: Formación de llanura de inundación*		3		1					
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*		3		1					
C: Desgaste o quiebra de los bancos*		2		0					
C: Corte de los bancos*		2		0					
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Descarga de otros afluentes*		1		0					
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías		1		0					
C: Recuperación del río (lecho y bancos)		2		0					
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
O: Localización del puente		3		1					
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	86,3	1	0				
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	42,7	4	2				
C: Flujo en la sección del río				2	0				
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación				N/A	0				
C: Observabilidad				N/A	0				
C: Socavación				N/A	0				
C: Contramedidas contra la socavación				N/A	0				
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección				4	2				
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento				1	0				
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	9	MP	34	M	1,24	RM	11,12	Clasificación:	Regular
Acción recomendada:		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 48. Inspección Ocloro Ruta Nacional 175, página 1

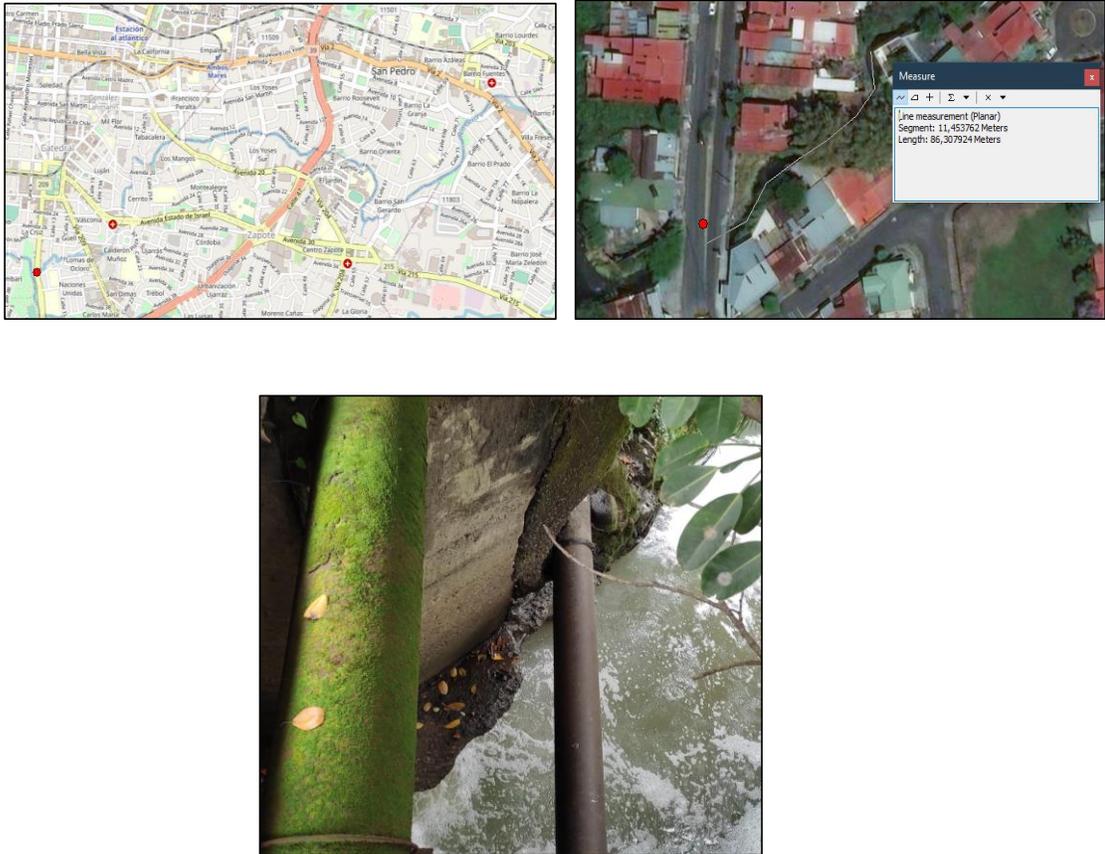
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>	Nombre: Río Ocloro RN 175	Código: 1182
<b>7- Observaciones</b>		
<p>Desde el limitado ángulo sobre el puente, se observan signos de socavación en los bastiones, especialmente en la margen izquierda aguas abajo.</p>		
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>		
 <p>The figure consists of three images. The top-left image is a street map of San Pedro de Macorís, showing various streets and landmarks. The top-right image is a satellite view of a street with a measurement tool overlay showing a segment length of 11,453762 Meters and a total length of 86,307924 Meters. The bottom image is a photograph of a bridge pier with a pipe and water flow, showing signs of erosion.</p>		

Figura 49. Inspección Ocloro Ruta Nacional 175, página 2



Figura 50. Principales fotografías del Ocloro Ruta Nacional 175

## 7.7 Virilla RN 117

### 7.7.1 Inventario

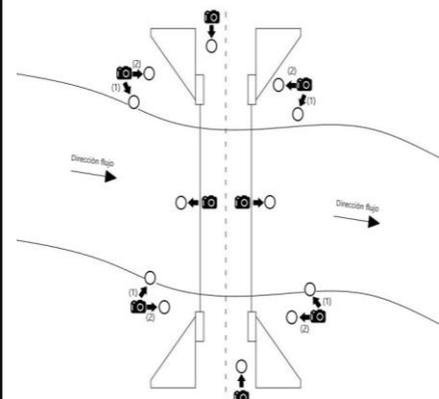
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b> Nombre: <b>Río Virilla RN 117</b>		Código: 724	
Encargados: 1. Jeremy Solís Fonseca 2. Andrey Calderón Solís		Fecha: 10/07/2021	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>			
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>	
Año de construcción:	No disponible	Coordenada Norte:	9,97238
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este:	-84,05512
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia:	San José
Fecha de último inventario:	-	Cantón:	Tibas
Fecha de última inspección:	-	Distrito:	San Juan
		N° Ruta:	117
		N° de carriles A:	1
		N° de carriles B:	1
<i>Datos viales</i>			
Longitud ruta alterna (km)	4,739	TPD	11581
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>			
Tipo de zona:	<input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input checked="" type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta		
Edificaciones cercanas:	<input type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Vías <input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:		
¿Potencial de inundación?	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Río que cruza:	Virilla
Perímetro de la cuenca (km)	49,0978	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	87,6376
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	161,50	Longitud del cauce principal (km)	22,5343
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	1745,66
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
	Subestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terraplen del puente en ambos márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:	<input checked="" type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros		
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>			
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>			
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)	25	Número de subestructuras	2
Ancho del puente: (m)	5	Separación promedio entre aperturas del río: (m)	19
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>		<b>5- Observaciones</b>	
		<p>Junto al puente se observa una estructura con un ducto que parece estar conectada con el puente en su margen izquierda.</p>	

Figura 51. Inventario Virilla Ruta Nacional 117, página 1

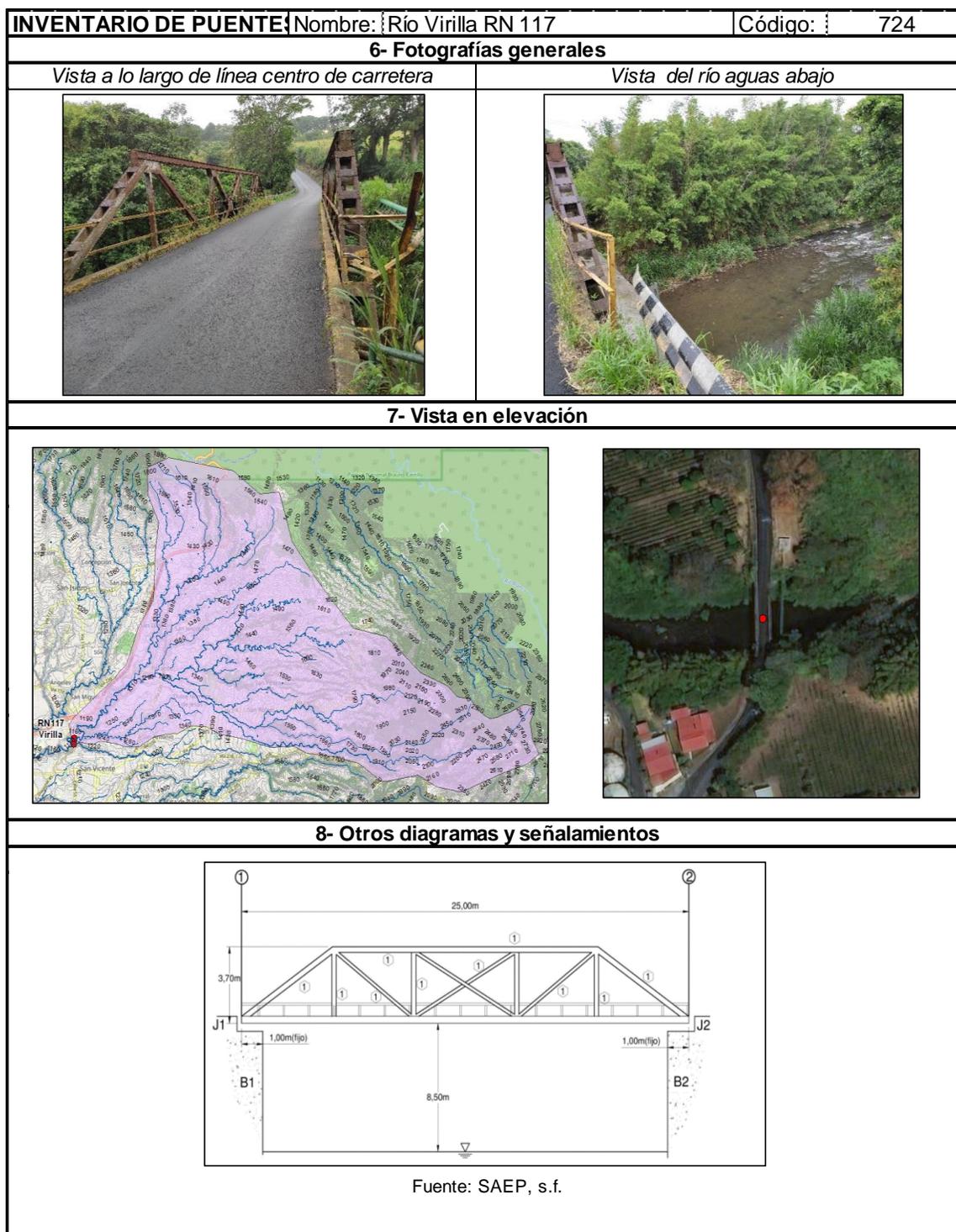


Figura 52. Inventario Virilla Ruta Nacional 117, página 2

## 7.7.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Virilla RN 117</b>		Código: 724
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Andrey Calderón Solís	Fecha: 10/07/2021
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)				
<input checked="" type="checkbox"/> Buena (B)		<input type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M)
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>				
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>
V: Uso de suelo en la cuenca			1	0
O: Estructuras de retención en la cuenca			1	0
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>				
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>
V: Patrón de canal			3	1
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*			1	0
C: Formación de llanura de inundación*			2	0
<b>3- Características de las márgenes del río</b>				
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*			1	0
C: Desgaste o quiebra de los bancos*			2	0
C: Corte de los bancos*			1	0
<b>4- Otros efectos</b>				
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>
V: Descarga de otros afluentes*			3	1
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías			1	0
C: Recuperación del río (lecho y bancos)			1	0
<b>5- Características del puente</b>				
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>
O: Localización del puente			3	1
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	197,9	1
C: Inclinación del puente con el río		$\alpha$ (°)	0,8	1
C: Flujo en la sección del río			1	0
<i>Características de las pilas</i>				
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación			N/A	0
C: Observabilidad			N/A	0
C: Socavación			N/A	0
C: Contramedidas contra la socavación			N/A	0
<i>Características de los bastiones</i>				
C: Tipo y condiciones de protección			N/A	0
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento			N/A	0
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>				
RP	3	MP	30	M
				1,40
<b>RM</b>		<b>4,20</b>		<b>Clasificación:</b>
				<b>Buena</b>
<i>Acción recomendada:</i>		Sin factores hidráulicos significativos que actúen sobre el puente		
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general				
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente				
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca				

Figura 53. Inspección Virilla Ruta Nacional 117, página 1

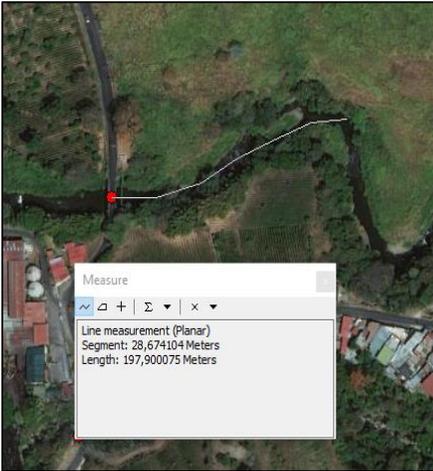
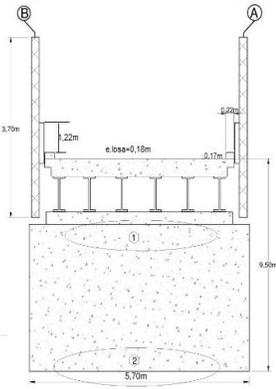
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>	Nombre: Río Virilla RN 117	Código: 724								
<b>7- Observaciones</b>										
<p>Debido al ángulo de visión desde el puente no fue posible observar los bastiones, sin embargo, según la última evaluación registrada en el SAEP, la última vez que se visito fue en 2015 y en ese momento los bastiones presentaban problemas de socavación, por lo que para realizar una observación actualizada sería necesario equipo de seguridad para acceder a las zonas aledañas al puente.</p>										
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p><b>Notas Generales:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Filtración de aguas.</li> <li>2) Socavación.</li> </ol> </div> <div style="width: 40%; text-align: center;">  <p><b>Esquema de B1</b></p> </div> <div style="width: 25%; text-align: right;"> <p><b>Fuente: SAEP, s.f.</b></p> </div> </div>										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">TEC Tecnológico de Costa Rica</td> <td style="width: 25%;">ebridge CONTEC</td> <td style="width: 25%;">Río Virilla</td> <td style="width: 25%;">Ruta: 117</td> </tr> <tr> <td>San Jose, Tibas, San Juan</td> <td>Dibujante: Sebastián G.</td> <td>Año: 2015</td> <td style="text-align: right;">3 / 5</td> </tr> </table>			TEC Tecnológico de Costa Rica	ebridge CONTEC	Río Virilla	Ruta: 117	San Jose, Tibas, San Juan	Dibujante: Sebastián G.	Año: 2015	3 / 5
TEC Tecnológico de Costa Rica	ebridge CONTEC	Río Virilla	Ruta: 117							
San Jose, Tibas, San Juan	Dibujante: Sebastián G.	Año: 2015	3 / 5							

Figura 54. Inspección Virilla Ruta Nacional 117, página 2



Figura 55. Principales fotografías del Virilla Ruta Nacional 117

## 7.8 Ipís RN 117

### 7.8.1 Inventario

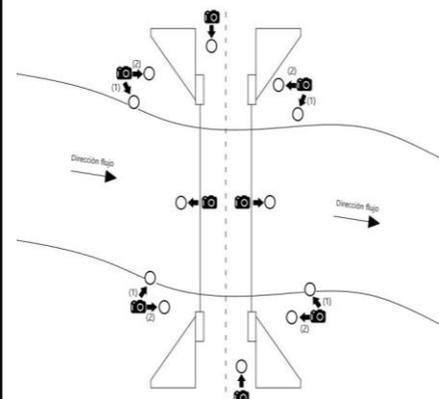
<b>INVENTARIO DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Ipís RN 117</b>		Código: <b>259</b>	
Encargados: <b>1. Jeremy Solís Fonseca</b>		<b>2. Andrey Calderón Solís</b>		Fecha: <b>10/07/2021</b>	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>					
<i>Datos de fechas</i>			<i>Datos de ubicación</i>		
Año de construcción:		No disponible		Coordenada Norte: 9,97106	
Fecha de última reparación:		No disponible		Coordenada Este: -84,05530	
Fecha de último mantenimiento:		No disponible		Provincia: Heredia N° Ruta: 117	
Fecha de último inventario:		-		Cantón: Santo Domingo N° de carriles A: 1	
Fecha de última inspección:		-		Distrito: San Miguel N° de carriles B: 1	
<i>Datos viales</i>					
Longitud ruta alterna (km)		4,338		TPD 11851	
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>					
Tipo de zona:		<input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input checked="" type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta			
Edificaciones cercanas:		<input type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Vías <input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:			
¿Potencial de inundación?		<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		Río que cruza: Ipís	
Perímetro de la cuenca (km)		16,1488		Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) 5,7548	
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )		33,75		Longitud del cauce principal (km) 8,7718	
				Diferencia de altura en la cuenca (m) 329,14	
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>					
Materiales principales del puente:		Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:			
		Subestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:			
Tipo de protección del terrapién del puente en ambos márgenes del río:		Derecha: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno			
		Izquierda: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno			
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)		A. arriba: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input checked="" type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno			
		A. abajo: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input checked="" type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno			
Tipo de aguas observadas:		<input checked="" type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida <input type="checkbox"/> Basura/escombros			
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>					
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>					
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)		Derecha: -		Ángulo del río con el puente: (°) 6,8	
		Izquierda: -		Nivel de crecientes visto en campo: (m) 3	
Longitud del puente: (m)		6		Número de subestructuras 2	
Ancho del puente: (m)		5,8		Separación promedio entre aperturas del río: (m) 4,5	
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>			<b>5- Observaciones</b>		
			<p>Al momento de realizar la inspección llovía levemente.</p> <p>Junto al puente existe un ducto que no forma parte de la estructura.</p>		

Figura 56. Inventario Ipís Ruta Nacional 117, página 1

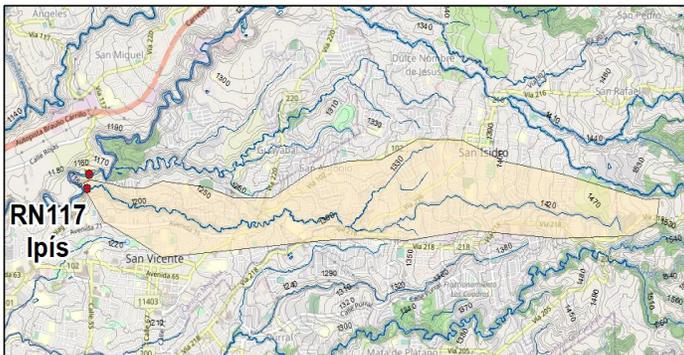
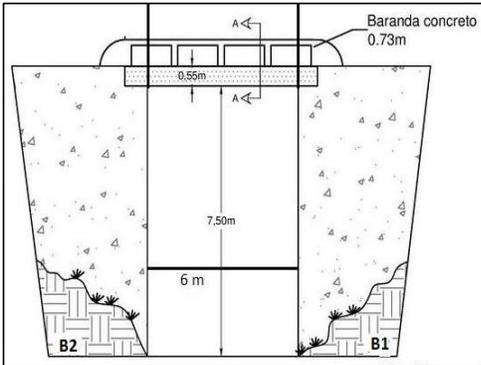
INVENTARIO DE PUENTE		Nombre: Río Ipís RN 117	Código: 259
<b>6- Fotografías generales</b>			
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>	<i>Vista del río aguas abajo</i>		
			
<b>7- Vista en elevación</b>			
			
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>			
			
Fuente: SAEP, s.f.			

Figura 57. Inventario Ipís Ruta Nacional 117, página 2

## 7.8.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>										
Nombre:					Código:					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca			2. Andrey Calderón Solís			Fecha:		10/07/2021
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)										
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)			<input type="checkbox"/> Mala (M)			<input type="checkbox"/> Crítica (C)		
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>										
<b>Indicador</b>					<b>B(1)</b>		<b>R(2)</b>		<b>M(3) C(4) Δ de RP</b>	
V: Uso de suelo en la cuenca					2				0	
O: Estructuras de retención en la cuenca					1				0	
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>										
<b>Indicador</b>					<b>B(1)</b>		<b>R(2)</b>		<b>M(3) C(4) Δ de RP</b>	
V: Patrón de canal					2				0	
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*					2				0	
C: Formación de llanura de inundación*					4				2	
<b>3- Características de las márgenes del río</b>										
<b>Indicador</b>					<b>B(1)</b>		<b>R(2)</b>		<b>M(3) C(4) Δ de RP</b>	
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*					4				2	
C: Desgaste o quiebra de los bancos*					2				0	
C: Corte de los bancos*					1				0	
<b>4- Otros efectos</b>										
<b>Indicador</b>					<b>B(1)</b>		<b>R(2)</b>		<b>M(3) C(4) Δ de RP</b>	
V: Descarga de otros afluentes*					1				0	
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías					4				2	
C: Recuperación del río (lecho y bancos)					2				0	
<b>5- Características del puente</b>										
<b>Indicador</b>					<b>B(1)</b>		<b>R(2)</b>		<b>M(3) C(4) Δ de RP</b>	
O: Localización del puente					4				2	
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro			Dm (m)	212,9	1				0	
C: Inclinación del puente con el río			α (°)	6,8	2				0	
C: Flujo en la sección del río					1				0	
<i>Características de las pilas</i>										
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación					N/A				0	
C: Observabilidad					N/A				0	
C: Socavación					N/A				0	
C: Contramedidas contra la socavación					N/A				0	
<i>Características de los bastiones</i>										
C: Tipo y condiciones de protección					1				0	
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento					1				0	
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>										
RP	8	MP	34	M	1,24	RM	9,88	Clasificación:	Regular	
Acción recomendada:		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente								
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general										
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente										
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca										

Figura 58. Inspección Ipís Ruta Nacional 117, página 1

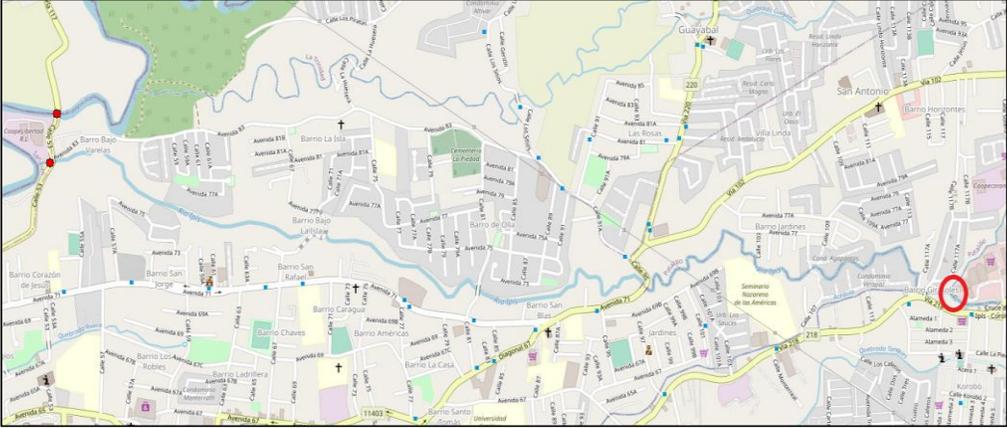
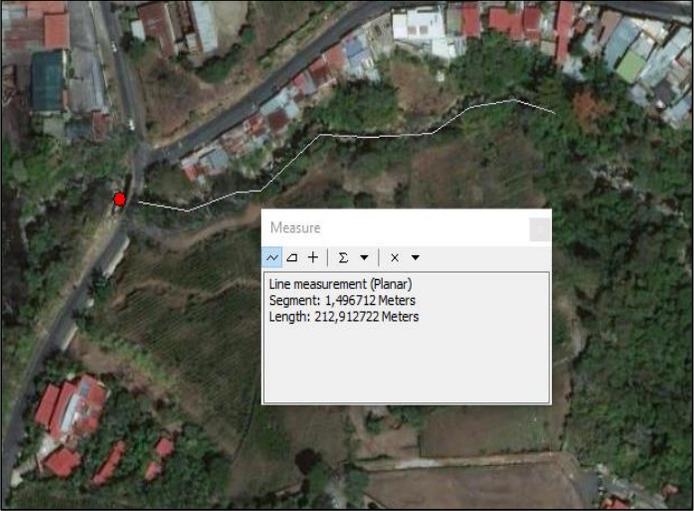
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b> Nombre:	Código:
<b>7- Observaciones</b>	
<p>Los bastiones poseen una protección de concreto con rocas que aparenta estar en buenas condiciones desde la vista sobre el puente, sin embargo, podría ser necesaria una inspección más cercana al elemento para detectar posibles problemas.</p> <p>El afluente más cercano al puente se encuentra a aproximadamente 4 km de distancia.</p>	
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>	
 	

Figura 59. Inspección Ipís Ruta Nacional 117, página 2



Figura 60. Principales fotografías del Ipís Ruta Nacional 117

## 7.9 Porrosatí RN 119

### 7.9.1 Inventario

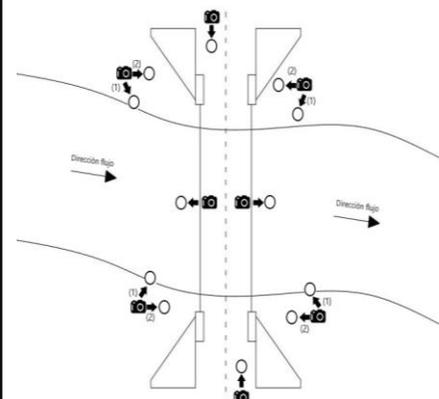
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b> Nombre: <b>Río Porrosatí RN 119</b>		Código: <b>867</b>	
Encargados: <b>1. Jeremy Solís Fonseca</b> <b>2. Karina Hernández Sánchez</b>		Fecha: <b>11/07/2021</b>	
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>			
<i>Datos de fechas</i>		<i>Datos de ubicación</i>	
Año de construcción:	1924	Coordenada Norte:	10,01937
Fecha de última reparación:	No disponible	Coordenada Este:	-84,16014
Fecha de último mantenimiento:	No disponible	Provincia:	Heredia
Fecha de último inventario:	-	Cantón:	Santa Bárbara
Fecha de última inspección:	-	Distrito:	San Juan
		N° Ruta:	119
		N° de carriles A:	1
		N° de carriles B:	1
<i>Datos viales</i>			
Longitud ruta alterna (km)	3	TPD	7315
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>			
Tipo de zona:	<input checked="" type="checkbox"/> Residencial	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Comercial
	<input type="checkbox"/> Rural	<input type="checkbox"/> Mixta	
Edificaciones cercanas:	<input checked="" type="checkbox"/> Edificios	<input type="checkbox"/> Vías	<input type="checkbox"/> Ductos
	<input type="checkbox"/> Telecomunicaciones	<input type="checkbox"/> Otro:	
¿Potencial de inundación?	<input type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> No	Río que cruza: Porrosatí
Perímetro de la cuenca (km)	25,4384	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	23,7672
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )	42,40	Longitud del cauce principal (km)	13,1385
		Diferencia de altura en la cuenca (m)	1179,89
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>			
Materiales principales del puente:	Superestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal
	Subestructura:	<input checked="" type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Metal
		<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/> Otro:
Tipo de protección del terrapién del puente en ambos márgenes del río:	Derecha:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto
	Izquierda:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto
		<input type="checkbox"/> Gavión	<input type="checkbox"/> Enrocado
		<input type="checkbox"/> Geotextil	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)	A. arriba:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto
	A. abajo:	<input type="checkbox"/> Concreto lanzado	<input type="checkbox"/> Concreto
		<input type="checkbox"/> Gavión	<input type="checkbox"/> Enrocado
		<input type="checkbox"/> Geotextil	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
Tipo de aguas observadas:	<input type="checkbox"/> Clara	<input type="checkbox"/> Jabonosa	<input checked="" type="checkbox"/> Fétida
		<input type="checkbox"/> Basura/escombros	
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>			
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>			
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)	Derecha:	-	Ángulo del río con el puente: (°)
	Izquierda:	-	Nivel de crecientes visto en campo: (m)
Longitud del puente: (m)	13,9	Número de subestructuras	2
Ancho del puente: (m)	4,1	Separación promedio entre aperturas del río: (m)	8
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>		<b>5- Observaciones</b>	
		No se observan servicios públicos.	

Figura 61. Inventario Porrosatí Ruta Nacional 119, página 1

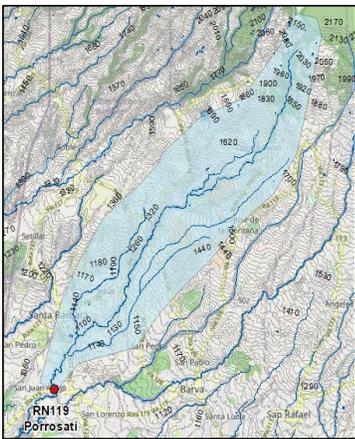
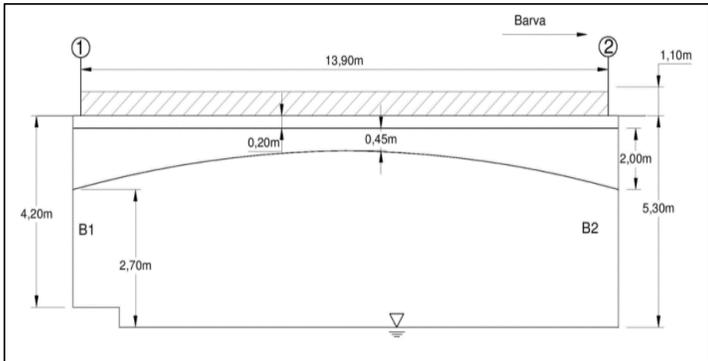
<b>INVENTARIO DE PUENTE</b> Nombre: Río Porrosatí RN 119		Código: 867
<b>6- Fotografías generales</b>		
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>	<i>Vista general del puente</i>	
		
<b>7- Vista en elevación</b>		
		
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>		
		
Fuente: SAEP, s.f.		

Figura 62. Inventario Porrosatí Ruta Nacional 119, página 2

## 7.9.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río Porrosatí RN 119</b>		Código: 867					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca	2. Karina Hernández Sánchez	Fecha: 11/07/2021					
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/>	Buena (B)	<input checked="" type="checkbox"/>	Regular (R)	<input type="checkbox"/>	Mala (M)	<input type="checkbox"/>	Crítica (C)		
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Uso de suelo en la cuenca		2		0					
O: Estructuras de retención en la cuenca		1		0					
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Patrón de canal		2		0					
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*		1		0					
C: Formación de llanura de inundación*		4		2					
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*		1		0					
C: Desgaste o quiebra de los bancos*		2		0					
C: Corte de los bancos*		2		0					
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
V: Descarga de otros afluentes*		4		2					
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías		1		0					
C: Recuperación del río (lecho y bancos)		1		0					
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1)</b>	<b>R(2)</b>	<b>M(3)</b>	<b>C(4)</b>	<b>Δ de RP</b>			
O: Localización del puente		3		1					
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	95,8	1		0			
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	14,9	3		1			
C: Flujo en la sección del río		1		0					
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación		N/A		0					
C: Observabilidad		N/A		0					
C: Socavación		N/A		0					
C: Contramedidas contra la socavación		N/A		0					
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección		1		0					
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento		1		0					
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	6	MP	34	M	1,24	RM	7,41	Clasificación:	Regular
<i>Acción recomendada:</i>		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 63. Inspección Porrosatí Ruta Nacional 119, página 1

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>	Nombre: Río Porrosatí RN 119	Código: 867
<b>7- Observaciones</b>		
<p>Desde el ángulo de observación al costado del puente no se aprecia ningún daño importante desde esa distancia, sin embargo, el bastión no cuenta con protección.</p>		
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>		

Figura 64. Inspección Porrosatí Ruta Nacional 119, página 2



Figura 65. Principales fotografías del Porrosatí Ruta Nacional 119

## 7.10 La Fuente RN 122

### 7.10.1 Inventario

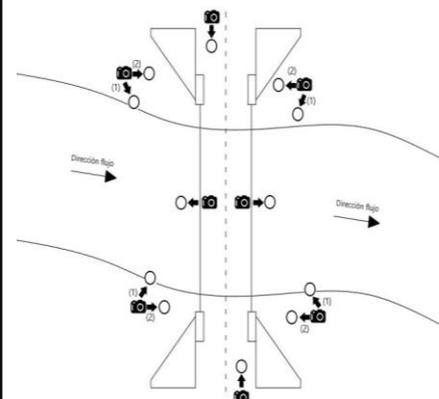
<b>INVENTARIO DE PUENTE:</b>		Nombre: <b>Río La Fuente RN 122</b>		Código: 0000	
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Karina Hernández Sánchez	
		Fecha: 11/07/2021			
<b>1- Datos generales obtenidos previamente</b>					
<i>Datos de fechas</i>			<i>Datos de ubicación</i>		
Año de construcción:		No disponible		Coordenada Norte: 9,97281	
Fecha de última reparación:		No disponible		Coordenada Este: -84,22319	
Fecha de último mantenimiento:		No disponible		Provincia: Alajuela	
Fecha de último inventario:		-		N° Ruta: 122	
Fecha de última inspección:		-		Cantón: Alajuela	
				N° de carriles A: 1	
		Distrito: San Rafael		N° de carriles B: 1	
<i>Datos viales</i>					
Longitud ruta alterna (km)		2,5		TPD 8387	
<i>Datos de la vecindad, del puente y la cuenca</i>					
Tipo de zona:		<input checked="" type="checkbox"/> Residencial		<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Rural <input type="checkbox"/> Mixta	
Edificaciones cercanas:		<input checked="" type="checkbox"/> Edificios		<input type="checkbox"/> Vías <input checked="" type="checkbox"/> Ductos <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones <input type="checkbox"/> Otro:	
¿Potencial de inundación?		<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		Río que cruza: La Fuente	
Perímetro de la cuenca (km)		8,2847		Área de la cuenca (km <sup>2</sup> ) 3,2071	
Área mojada por debajo del puente (m <sup>2</sup> )		7,50		Longitud del cauce principal (km) 3,6162	
				Diferencia de altura en la cuenca (m) 60,79	
<b>2- Datos generales obtenidos en sitio</b>					
Materiales principales del puente:		Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
		Subestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Concreto		<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro:	
Tipo de protección del terrapién del puente en ambos márgenes del río:		Derecha: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		Izquierda: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input checked="" type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input type="checkbox"/> Ninguno	
Control de erosión aguas arriba y aguas abajo del puente: (canal)		A. arriba: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
		A. abajo: <input type="checkbox"/> Concreto lanzado		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Gavión <input type="checkbox"/> Enrocado <input type="checkbox"/> Geotextil <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	
Tipo de aguas observadas:		<input type="checkbox"/> Clara		<input type="checkbox"/> Jabonosa <input type="checkbox"/> Fétida <input checked="" type="checkbox"/> Basura/escombros	
<b>3- Mediciones obtenidas en sitio</b>					
<i>Datos generales del puente y su entorno</i>					
Pendiente de terraplén del puente en ambos márgenes del río: (°)		Derecha: -		Ángulo del río con el puente: (°) 23,6	
		Izquierda: -		Nivel de crecientes visto en campo: (m) 2	
Longitud del puente: (m)		11,5		Número de subestructuras 3	
Ancho del puente: (m)		9		Separación promedio entre aperturas del río: (m) 2,25	
<b>4- Fotografías estándar tomadas</b>			<b>5- Observaciones</b>		
			<p>Una de las aberturas del puente no se utiliza bajo condiciones de flujo bajo como la encontrada al momento de la inspección.</p> <p>El puente presenta dos aberturas, la primera con 3 m de ancho y 2 m de altura aproximadamente, y la segunda con 1,5 m ancho y 1 m de alto aproximadamente. Este puente no se encuentra en la base de datos del SAEP, por lo que la estimación de el área mojada por debajo del puente se realizó con estas medidas.</p>		

Figura 66. Inventario La Fuente Ruta Nacional 122, página 1

<b>INVENTARIO DE PUENTE</b> Nombre: Río La Fuente RN 122		Código: 0000
<b>6- Fotografías generales</b>		
<i>Vista a lo largo de línea centro de carretera</i>	<i>Vista general del puente</i>	
		
<b>7- Vista en elevación</b>		
		
<b>8- Otros diagramas y señalamientos</b>		
		

Figura 67. Inventario La Fuente Ruta Nacional 122, página 2

## 7.10.2 Inspección

<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: <b>Río La Fuente RN 122</b>		Código: 0000					
Encargados:		1. Jeremy Solís Fonseca		2. Karina Hernández Sánchez					
		Fecha:		11/07/2021					
Evaluación general con base al puntaje de riesgo (RP)									
<input type="checkbox"/> Buena (B)		<input checked="" type="checkbox"/> Regular (R)		<input type="checkbox"/> Mala (M)					
				<input type="checkbox"/> Crítica (C)					
<b>1- Evaluación hidrológica de las características de la cuenca</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Uso de suelo en la cuenca		3		1					
O: Estructuras de retención en la cuenca		2		0					
<b>2- Características del lecho del río y la llanura de inundación</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Patrón de canal		2		0					
C: Desarrollo de la barra y características de la cobertura vegetal*		1		0					
C: Formación de llanura de inundación*		4		2					
<b>3- Características de las márgenes del río</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
C: Altura del banco con respecto la viga longitudinal del puente*		3		1					
C: Desgaste o quiebra de los bancos*		3		1					
C: Corte de los bancos*		3		1					
<b>4- Otros efectos</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
V: Descarga de otros afluentes*		1		0					
C: Acumulación de escombros bajo el puente y cercanías		2		0					
C: Recuperación del río (lecho y bancos)		3		1					
<b>5- Características del puente</b>									
<b>Indicador</b>		<b>B(1) R(2) M(3) C(4)</b>		<b>Δ de RP</b>					
O: Localización del puente		3		1					
O: Distancia aguas arriba al puente desde el punto de impacto y la alineación del meandro		Dm (m)	103,6	1	0				
C: Inclinación del puente con el río		α (°)	23,6	3	1				
C: Flujo en la sección del río				2	0				
<i>Características de las pilas</i>									
C: Tipo de pila, uno o grupo de pilas y ángulo de inclinación				N/A	0				
C: Observabilidad				N/A	0				
C: Socavación				N/A	0				
C: Contramedidas contra la socavación				N/A	0				
<i>Características de los bastiones</i>									
C: Tipo y condiciones de protección				2	0				
C: Condición del relleno de aproximación y asentamiento				1	0				
<b>6- Evaluación del puente en términos del puntaje de riesgo (RP)</b>									
RP	9	MP	34	M	1,24	RM	11,12	Clasificación:	Regular
Acción recomendada:		Hay factores hidráulicos que afectan el puente, pero no hay problemas en el puente							
*Evaluar aguas arriba y aguas abajo, y obtener una calificación general									
**Los espacios con guiones no se deben modificar pues se calculan automáticamente									
"O:" = Trabajo de oficina. "C." = Trabajo de campo. "V." = Trabajo de oficina que puede ser verificado en ca									

Figura 68. Inspección La Fuente Ruta Nacional 122, página 1

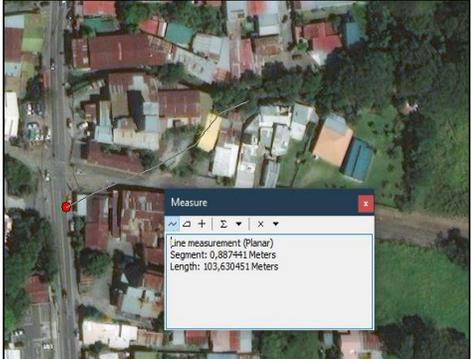
<b>INSPECCIÓN DE PUENTE</b>		Nombre: Río La Fuente RN 122	Código: 0000
<b>7- Observaciones</b>			
<p>Canal bastante recto. Se midió la distancia aguas arriba desde el punto de impacto y la alineación del meandro, sin embargo dicho meandro tiene un cambio de dirección menos brusco que en otros casos evaluados, por lo que de todas formas se considera que Dm es mayor a 35 m.</p> <p>No se observan afluentes importantes cerca del puente.</p> <p>Se observan signos de socavación en la apertura por la que pasa el agua. La otra apertura solo funcionaría bajo condiciones de flujo alto. En la sección bajo el puente el nivel del agua tenía unos 30 cm de profundidad aproximadamente.</p>			
<b>8- Diagramas y señalamientos</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>			

Figura 69. Inspección La Fuente Ruta Nacional 122, página 2



Figura 70. Principales fotografías de La Fuente Ruta Nacional 122