

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Braulio Umaña Quirós, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**GUSTAVO
ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)**  Firmado digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)
Fecha: 2021.09.06 17:25:49
-06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director

**GIANNINA ORTIZ
QUESADA
(FIRMA)**  Firmado digitalmente
por GIANNINA ORTIZ
QUESADA (FIRMA)
Fecha: 2021.09.07
07:49:58 -06'00'

Ing. Giannina Ortiz Quesada.
Profesor Guía

**ANGEL
HUMBERTO
NAVARRO
MORA (FIRMA)**  Firmado digitalmente
por ANGEL HUMBERTO
NAVARRO MORA
(FIRMA)
Fecha: 2021.09.06
13:21:05 -06'00'

Ing. Ángel Navarro Mora.
Profesor Lector

**BRAULIO
ENRIQUE
UMAÑA QUIROS
(FIRMA)**  Firmado digitalmente
por BRAULIO ENRIQUE
UMAÑA QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2021.09.07
11:17:04 -06'00'

Ing. Braulio Umaña Quirós
Profesor Observador

Revisión y análisis integral de dos puentes sobre la ruta 121 con gestión del riesgo de desastre.

Abstract

This document presents a comprehensive analysis of two structures located on National Route 121, in the canton of Santa Ana, with the aim of encompassing a structural and hydraulic review and analysis with disaster risk management.

Most of the country's local governments, according to the CNE (2015), are in a situation of high vulnerability, due to the fact that the planning of the territories was deficient in the sixties, causing that many areas that were not appropriate were populated. That generates a need for the municipalities to manage the local territory on the face of a disaster of various kinds.

Inspections of the structures were carried out, including the review of hydrological and hydraulic studies and scouring, plus their structural plans, to ensure their efficiency, hydraulic simulations were executed with the Hec-Ras software and the analysis methodology of the risk through MDEPLAN matrices.

Keywords: Inspection, hydraulic capacity, risk management, vulnerability, simulations.

Resumen

En el presente documento se aborda el análisis integral de dos estructuras ubicadas en la ruta nacional 121, en el cantón de Santa Ana, con el objetivo de efectuar una revisión y análisis estructural e hidráulico con la gestión del riesgo de desastre.

La mayoría de los gobiernos locales del país, según la CNE (2015), se encuentran en una situación de alta vulnerabilidad, debido a que la planificación de los territorios era deficiente en los años sesenta, provocando que muchas zonas que no eran apropiadas se poblaran. Lo que genera una necesidad de parte de los municipios de administrar el territorio local ante un desastre de diversa índole.

Este proyecto tuvo como prioridad diagnosticar los puentes nuevos enfocándose en su capacidad hidráulica, sus condiciones actuales, incluyendo la gestión del riesgo.

Se realizaron inspecciones de las estructuras, incluyendo la revisión de estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación, más los planos estructurales de las mismas, para asegurar su eficiencia, se ejecutaron simulaciones hidráulicas con el *software* Hec-Ras y se implementó la metodología de análisis del riesgo por medio de matrices del MIDEPLAN.

Palabras clave: Inspección, capacidad hidráulica, gestión del riesgo, vulnerabilidad, simulaciones.

Revisión y análisis integral y eficiencia hidráulica de dos puentes sobre la ruta 121 con gestión del riesgo de desastre.

MELANIE ORTIZ UMAÑA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción
Práctica de graduación realizada en la Municipalidad de Santa Ana
Contraparte Ing. Emilia Jiménez Jiménez
Profesora guía Ing. Gianinna Ortiz

Julio del 2021
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	2
Resumen ejecutivo.....	1
Introducción.....	2
Marco Teórico	3
Metodología	13
Resultados	26
Análisis de Resultados.....	44
Conclusiones y recomendaciones	51
Anexos	53
Referencias	100

Prefacio

Actualmente el cantón de Santa Ana cuenta con once puentes nuevos ubicados entre Escazú y Ciudad Colón, los cuales fueron administrados por el CONAVI y construidos por la constructora MECO, con el objetivo principal de mitigar los embotellamientos que afectan a los conductores que circulan por la ruta. Los puentes representan una adquisición de gran valor para los emprendedores, vecinos, conductores de la zona, y por supuesto para la Municipalidad de Santa Ana, por lo tanto el proceso de Gestión del Riesgo de Desastre considera necesario analizar las condiciones actuales de las quebradas involucradas, para poder realizar un diagnóstico de forma integral de las mismas, y de todas las estructuras y accesorios que la componen.

Considerando los reportes por eventos de inundación vinculados con las quebradas Azul y Caraña, se generó la necesidad de revisión y análisis estructural y eficiencia hidráulica, incluyendo la gestión del riesgo de desastre de las condiciones reales de las quebradas con la instalación de los puentes nuevos, y de esa forma asegurar que la capacidad hidráulica sea suficiente, y garantizar que la restricción que implica la estructura para el cauce, no influye negativamente en aguas abajo del puente hacia la quebrada o las demás estructuras, accesorios y viviendas existentes.

Según la Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias (CNE) (2015), el reducir la vulnerabilidad de los municipios es un tema que no ha tenido la importancia en las agendas de desarrollo local, pero debe ser colocado en un primer orden ya que la inversión económica y el costo social que representa el impacto de los desastres y emergencias resulta muy altos, por tanto, la Municipalidad de Santa Ana ha implementado un proceso de Gestión del Riesgo para la reducción del riesgo y la formación preventiva para la comunidad.

La revisión y análisis integral de las estructuras sobre las quebradas Azul y Caraña incluyendo la gestión del riesgo permiten diagnosticar la condición de las mismas y de esa forma implementar medidas de mitigación estructurales y no estructurales que garanticen un adecuado funcionamiento de los puentes, adecuado comportamiento hidráulico de la quebrada y la construcción de un entorno más seguro que haga posibles las ciudades resilientes.

Agradecimientos

Agradezco enormemente a Dios por brindarme tantas oportunidades y bendiciones. A mis padres, Duay Ortiz y Yahaira Umaña por esforzarse tanto, por darme mi educación y apoyarme incondicionalmente en mis decisiones y metas, a mi hermanita Claudia Ortiz por brindarme tanta felicidad y positivismo durante mis cinco años de estudio. Al departamento de Gestión de Riesgo del Desastre de la Municipalidad de Santa Ana, la Ing. Emilia Jiménez y al Geo. Carlos Vargas por otorgarme la oportunidad de realizar el proyecto de graduación y concederme tanto conocimiento y apoyo.

Resumen ejecutivo

“La construcción inadecuada de infraestructura, la destrucción del medio ambiente, la contaminación, la sobrepoblación de zonas peligrosas, el crecimiento urbano desordenado y la sobreexplotación y uso irracional de los recursos naturales, son algunas de las vías que la gran mayoría de las ciudades o regiones han seguido para elevar sus niveles de desarrollo” (PNUD, 2012), sin embargo, todos estos elementos han facilitado el incremento de sectores vulnerables.

La gestión del riesgo se enfoca en reducir el nivel de riesgo local y lograr establecer las condiciones para realizarlo de manera sostenible e integrada a los procesos de desarrollo.

Según la Comisión de Prevención de Riesgos y Atención de Desastres (2015), la Gestión del Riesgo no es un tema de relevancia para los municipios, sólo se desarrolla como un mecanismo de respuesta a las situaciones de emergencia. A pesar de que la Municipalidad de Santa Ana está posicionado como el I sexto de los municipios mejor calificados según el índice de Gestión del Riesgo Municipal, no se está invirtiendo lo suficiente en el Programa de Atención de Emergencias Cantonales. Considerando que el cantón de Santa Ana es un municipio altamente vulnerable ante amenazas por deslizamiento e inundación, es necesario invertir en el desarrollo, para ofrecer calidad de vida, asegurando el presupuesto municipal.

Es importante reconocer que, “por cada dólar invertido en prevención de desastres puede suponer un ahorro de siete dólares en pérdidas económicas atribuibles a los desastres” (PNUD, 2012), el retorno de la inversión es muy alto, por lo tanto, para comprender que es posible prevenir los desastres, se requiere inferir lo que hay detrás de un desastre y como trabajar en las causas para evitarlos.

Considerando los reportes de inundación vinculados con la quebrada Azul y Caraña, y la reciente inauguración de los puentes sobre la ruta 121 sobre las quebradas nombradas, la Municipalidad de Santa Ana reconoce la necesidad de realizar un análisis de riesgos. Por lo tanto, el presente proyecto incluye el análisis de riesgos de los puentes nuevos sobre las quebradas Azul y Caraña, también incluye inventario general de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), simulaciones de las quebradas con las restricciones actuales, las cuales fueron realizadas mediante el *software* de modelación hidráulica HEC RAS, y la metodología de gestión del riesgo mediante matrices de amenazas y riesgos del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), mediante datos de estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación de las mismas, más testimonios de los vecinos de la zona.

El objetivo del proyecto es la revisión y análisis de los puentes sobre las quebradas mencionadas en la ruta nacional, sin embargo, para cada quebrada se incluyen estructuras extras; pasos de alcantarilla aguas abajo de la quebrada, calles municipales, casas de habitación, comercios, servidumbres, entre otras, con el fin de realizar un análisis integral de la zona, incluyendo todas las estructuras involucradas.

Los resultados obtenidos de las simulaciones revelan que la quebrada Azul no presenta eventos de desbordamiento, pero también evidencia la capacidad hidráulica insuficiente que actualmente posee el puente sobre quebrada Caraña.

Los resultados obtenidos muestran los niveles de riesgo para cada una de las estructuras y accesorios analizados para cada puente. Para el caso del puente sobre quebrada Azul, se muestra cómo se posee un nivel bajo/medio para todas las áreas analizadas del puente y la quebrada. Sin embargo, para el caso del puente sobre quebrada Caraña, el nivel de riesgo es medio/alto para las zonas analizadas.

Introducción

Santa Ana es un cantón situado en el norte de la provincia de San José, perteneciente a la Gran Área metropolitana, posee 61.42 km², y una población de 60 453 habitantes distribuidos en los 6 distritos que posee; Santa Ana, Salitral, Pozos, Uruca, Piedades y Brasil. La Municipalidad de Santa Ana posee 51 departamentos, entre ellos el proceso de Gestión del Riesgo de Desastres, el cual se enfoca en la reducción del riesgo de desastres en el cantón y en construir un entorno más seguro que haga posible las ciudades resilientes.

Con respecto a su infraestructura, en el cantón se encuentran 5 rutas nacionales, entre ellas la ruta 121, la cual comunica el cantón de Escazú con Ciudad Colón, la misma ha inaugurado 11 puentes en el año 2020, administrados por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

El proceso de Gestión del Riesgo de Desastres ha considerado necesario la revisión y análisis integral, incluye la gestión del riesgo en varios de los puentes inaugurados, debido a eventos de inundación vinculados con los cauces, entre ellos los puentes sobre quebrada Azul y Caraña, de los que se tiene reportes de inundación, en el año julio del 2012 y en abril del 2021.

El hecho de que muchos países en Latinoamérica se consideren financieramente vulnerables a los desastres naturales y que los gobiernos enfrentan el reto de responder ante las emergencias, mediante medidas correctivas, implica, en muchas ocasiones, incrementar la deuda externa, esto genera una necesidad de implementar una gestión del riesgo de desastres, con el fin de evitar un desastre que implique pérdidas económicas y humanas, el desafío actual es mejorar las condiciones de vida de la población, lo que conlleva a la interrelación entre amenazas naturales, procesos sociales y la urbanización. Por

tanto, es necesario realizar un diseño y construcción integral de los proyectos de

inversión con gestión del riesgo de desastres, ya que todo proyecto debe ser ambientalmente aceptable, generar el menor impacto posible en su entorno y proporcionar satisfacción a la comunidad.

La ejecución de un proyecto se encuentra cargado de incertidumbre, producto de la ignorancia de las verdaderas condiciones del mismo, “el análisis del riesgo es un esfuerzo científico por descubrir la ruta más segura, por medio de la cual alcanzar los objetivos; no obstante, la certidumbre más importante que aporta la ciencia al análisis del riesgo es que lo previsto con mucha seguridad, cuando se materialice, puede ser o será diferente a lo esperado” (CNE, 2015), por tanto, se requiere, para cada proyecto, desde un inicio, implementar la gestión del riesgo en el estudio, diseño y construcción del mismo.

El presente proyecto consiste en la revisión y análisis, incluye la gestión del riesgo, de los puentes sobre quebrada Azul y Caraña, las inspecciones que incluyan lineamientos para inventarios, especificados en el “Manual de Inspección de Puentes” del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), simulaciones hidráulicas mediante el *software* Hec Ras y matrices de amenazas y riesgo del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN).

Uno de los objetivos de la incorporación de la gestión del riesgo de desastres, en el ámbito de la ingeniería en construcción es generar la iniciativa de los lectores por implementar la gestión en los diferentes proyectos de inversión a ejecutar en el país; y mediante la implementación de esta metodología en este proyecto, es posible evidenciar su importancia.

El MOPT establece en los términos de referencia técnicos para estudios hidrológicos e hidráulicos para puentes que “se requiere una estimación del caudal de avenida máxima para un periodo de retorno de 50 años que permita usarlo como parámetros de diseño en el cálculo hidráulico, con el objetivo de garantizar que la estructura del puente se desempeñe en el periodo de vida útil bajo los supuestos y resultados de los enfoques de análisis y los valores calculados” (MOPT,2010), sin embargo, cada cauce y cuenca posee características hidrológicas, hidráulicas y geométricas diferentes, por tanto, deben tomarse en cuenta para determinar la amplitud de los estudios; periodo de retorno de 100 años, precipitaciones de varias estaciones, morfología de la cuenca, caudal de escorrentía, capacidad hidráulica, tipo de suelo, probabilidad de socavación, gestión del riesgo, entre otros, tomando en cuenta los resultados de este proyecto. Con el fin de garantizar un diseño integral que no se limite a solo la zona específica, sino desde un punto de vista macro.

Todas las indicaciones de las normativas establecidas por el MOPT u otras instituciones de diseño son requerimientos mínimos, lo ideal es acaparar todos los estudios necesarios, y de esa forma garantizar que se diseñe la estructura que contemple todas las condiciones que se puedan interferir y de igual forma, reconocer las afectaciones que el proyecto provocará.

El análisis de riesgos debe ser elaborado de manera metódica, por lo que se deben impedir omisiones, improvisaciones o posibles criterios arbitrarios, por tanto, se requiere de todos los estudios necesarios para realizar el análisis apropiadamente, contemplando todos los posibles escenarios.

Para este proyecto en específico se posee información de estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación, sin embargo, no considera las condiciones actuales de las quebradas, ya que cuenta con registro de precipitación máxima diaria anual de la estación 84038 Salitral, datos desde el año 1970 al 1990, por lo tanto representa una limitación para analizar la capacidad hidráulica real de las mismas.

Lo ideal es obtener los datos más actualizados y reales para su adecuado análisis, sin embargo, se

realizarán los análisis con los datos suministrados por la Municipalidad de Santa Ana, considerando dentro de las conclusiones y recomendaciones la implementación de estudios más profundos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar de forma integral, incluyendo la gestión del riesgo de desastres de 2 puentes nuevos de la ruta 121 entre Santa Ana y Ciudad Colón, y generar posibles soluciones a los problemas descubiertos.

Objetivos específicos

Realizar un levantamiento de cada una de las estructuras a analizar, tomando en cuenta las condiciones del sitio de los mismos.

Realizar un estudio hidráulico en la quebrada Caraña y en la quebrada Azul mediante el *software* HEC-RAS, que incluya las restricciones actuales.

Realizar un análisis enfocado en la gestión del riesgo de desastres en los puentes sobre las quebradas Azul y Caraña, diagnosticar la afectación en la zona y generar posibles soluciones a la problemática analizada.

Marco Teórico

Puentes

“Los puentes son puntos de unión y paso que están íntimamente relacionados con la red vial del país; son estructuras hechas de madera, piedra, concreto reforzado o hierro estructural utilizados para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión, una depresión de terreno u otra vía de comunicación.” (Aquino & Hernández, 2004). Según el Manual de Inspección de Puentes (2007), el puente es una “estructura construida para salvar un cauce o extensión de agua como una quebrada, río, canal, lago, bahía, etc”. Este tipo de estructuras permite el transporte de bienes, mercancías, personas y servicios. Actualmente la tecnología facilita una gran variedad de materiales y métodos de construcción para mejorar la calidad, estabilidad y seguridad de las obras construidas.

Clasificación de los puentes

Estas estructuras se caracterizan por el tipo de material utilizado en su construcción, distancia que salva, sistema estructural predominantes, usos del puente, sistema constructivo, calzada del tablero, ubicación de la calzada, arquitectura utilizada, tipo de estructura, entre otros. A continuación, se mencionan las clasificaciones más comunes, según el Manual de inspección de Puentes del MOPT

Clasificación de acuerdo con su función:

- Puentes peatonales
- Puentes ferroviarios
- Puentes vehiculares
- Pasos a desnivel
- Alcantarillas
- Vados

Clasificación de acuerdo con el material utilizado en su construcción:

- Puentes de madera
- Puentes de acero
- Puentes de concreto reforzado
- Puentes de concreto pre esforzado
- Puentes de mampostería

Clasificación por el tipo de estructura:

- Puentes tipo viga
- Puentes tipo cercha
- Puentes tipo arco
- Puentes atirantados
- Puentes colgantes

Componentes del puente

Según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, los puentes están compuestos por:

- a. Accesorios: elementos que no se consideran elementos estructurales, pero de importancia para asegurar el funcionamiento apropiado del puente, los accesorios más comunes son la superficie de ruedo, barandas y juntas de expansión.
- b. Superestructura: Componente del puente constituido por el piso, los elementos principales, tales como: vigas, cerchas y arcos, y los elementos secundarios, tales como diafragmas, sistemas de arriostamiento, portales, aceras y otros.

- c. Subestructura: Componente del puente constituido por los apoyos, los bastiones y las pilas.
- d. Accesos de aproximación: Componente del puente constituido por los rellenos adecuados y sus protecciones y la losa de aproximación correspondiente.

Accesorios

Elementos que componen los accesorios:

1. Superficie de rodamiento: Aquella capa de desgaste colocada sobre la plataforma del sistema de piso, con el fin de asegurar la estructura de la abrasión generada por los vehículos, generalmente es de asfalto, pero también se utiliza concreto hidráulico.
2. Baranda: Es un sistema de contención longitudinal fijada al sistema de piso, con el fin de evitar la caída al vacío de los usuarios, ya sean vehículos, ciclistas y peatones, el material varía, pero generalmente son de concreto o de acero.
3. Juntas de expansión: Estos elementos son divisores de losa que se instalan en los bordes o extremos de cada tipo de superestructura, su objetivo es permitir la traslación y/o rotación, y de esa forma asegurar la expansión y contracción de la superestructura, ya sea por temperatura o un sismo. En Costa Rica hay 4 tipos de juntas de expansión:
 - a. Juntas abiertas
 - b. Juntas selladas
 - i. Juntas rellenas
 - ii. Juntas con sellos comprimidos de neopreno.
 - c. Juntas de placas de acero deslizante
 - d. Juntas de placas dentadas

Superestructura

Este componente consiste en elementos estructurales que se encuentran sobre los apoyos del puente. Los elementos que lo componen varían en relación con el tipo de superestructura

del puente. Entre los elementos más utilizados están:

1. Sistema de piso: Es una plataforma en la cual circula la carga vehicular, suele ser de concreto reforzado, acero o madera. Su función es la transferencia de la carga viva a los elementos principales de la superestructura.
2. Elementos principales: Estos elementos soportan las cargas transferidas a ellos por el sistema de piso y además transmiten los esfuerzos resultantes hacia la subestructura a través de los apoyos.
3. Elementos secundarios: Son aquellos que distribuyen adecuadamente las cargas, generan mayor rigidez lateral y torsional restringiendo las deformaciones de los elementos principales para que estos sean más eficientes, como lo son los diafragmas en sentido transversal, los arriostramientos en planta inferior y en planta superior que unen entre si las vigas principales, cerchas y arcos.

Subestructura

Este componente está formado por los elementos estructurales diseñados para soportar el peso de la superestructura y las cargas que a ésta se aplican. Los elementos que lo conforman son:

1. Apoyos: Aquellos sistemas mecánicos que transmiten las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. También se encargan de garantizar los grados de libertad del diseño de la estructura como traslación por expansión o contracción térmica o sismo y la rotación causada por la deflexión de la carga muerta y la carga viva. Existen tres tipos de apoyo:
 - a. Apoyo de expansión: Permite que la estructura rote y se traslade en el sentido longitudinal.
 - b. Fijo: Restringe la traslación y permite únicamente la rotación de la estructura.
 - c. Rígido o empotrado: Restringe todos los movimientos de traslación y rotación.
2. Bastiones: Estos elementos sirven de apoyo en los extremos de la

superestructura, puede ser construida de concreto, acero, madera o mampostería. Los bastiones están en contacto con los rellenos de aproximación del puente, por tanto, una de sus funciones principales es absorber el empuje del terreno. Los bastiones están compuestos por aletones, la viga cabezal, el cuerpo principal y la fundación.

Descripción del software HEC-RAS

Modelación hidráulica

En términos hidráulicos el modelo “corresponde a un sistema que simula un objeto real, mediante la entrada de cierta información que se procesa y presenta en forma adecuada para emplearse en el diseño y operación de obra de ingeniería” (Vergara,1993).

La importancia de los modelos “radica en que, a través de estos, se puede predecir lo que ocurrirá con el objeto y es posible llevar a cabo simulaciones que muestren diferentes escenarios, antes de llevar a cabo la construcción de la obra” (Segura & Casasola, 2011).

Hay una gran variedad de modelos en la actualidad, una manera de clasificarlos es en modelos físicos, analógicos y matemáticos. Los modelos físicos, son aquellos que “cumplen leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica entre el modelo y el objeto real” (Vergara, 1993). Los modelos analógicos en cambio hacen “analogías entre dos fenómenos físicos, por ejemplo, el flujo laminar y el flujo turbulento (Vergara, 1993). Y los modelos matemáticos son una combinación entre hipótesis y relaciones de variables que definen el fenómeno mediante ecuaciones. “La precisión de los modelos matemáticos depende de la exactitud de los datos de entrada, el tipo de fenómeno a estudiar, la exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno, la forma de aproximar las ecuaciones, entre otros. (Vergara, 1993).

Modelo HEC-RAS

El HEC-RAS es un sistema desarrollado por el Hydrolic Engineering Center (HEC) que forma parte del Institute for Water Resources del U.S Army Corps of Engineers, este *software* nos permite “realizar unidimensionalmente un flujo permanente, un flujo no permanente, y los cálculos del transporte de sedimentos (Hydrologic Engineering Center, 2016).

Desde hace mucho tiempo se ha presentado la necesidad de pronosticar los fenómenos naturales para poder generar medidas preventivas y correctivas sobre la zona de influencia al paso del agua, y la aplicación de modelos numéricos para describir el comportamiento de un flujo de agua, se ha convertido en una herramienta muy eficiente.

Los modelos numéricos permiten “adecuarse a un esquema en dos dimensiones (2D), donde predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical, y de esta manera conocer con mayor precisión las variables hidráulicas cuantificables (calado, velocidad, caudal, entre otros) sobre la planicie de influencia al paso del agua.” (Lluén, 2015).

Es posible mediante el *software* HEC-RAS entender la capacidades y limitaciones en una simulación hidráulica. “Calcula niveles de agua para cada sección de estudio, descargas, y condiciones de borde” (Guzmán, 2017). Ha sido frecuentemente “validado y ha demostrado sostenibilidad y plausibilidad en los resultados” (Colorado State University, 2005). Además, “ha sido evaluado con otros modelos numéricos donde se ha desempeñado adecuadamente y ha demostrado ser capaz de brindar simulaciones consistentes” (Fleenor y Jensen, 2003).

Capacidades y ventajas de la modelización de flujo en 2D con HEC-RAS.

Mediante el *software* HEC-RAS permite desarrollar capacidades para la simulación de flujo

en 2D. Algunos de los beneficios más recalables son:

1. Es posible realizar modelaciones en 1D, 2D, o una combinación de ambos: Es posible trabajar en amplios sistemas de ríos.
2. Se pueden emplear las ecuaciones de Saint-Venant y Onda Difusa en 2D: Las ecuaciones de Onda Difusa en 2D “permiten que el *software* procese la información rápidamente y tiene mayores propiedades de estabilidad, sin embargo, las ecuaciones de Saint-Venant 2D son aplicables a una gama más amplia en la resolución de problemas” (Luén. 2015).
3. Es posible utilizar un esquema numérico (Volumen Finito Implícito): Mediante este método de volúmenes finitos, es posible mejorar la estabilidad y robustez sobre las técnicas de diferencias y elementos finitos; de esa forma, manejar adecuadamente situaciones de flujo en regímenes Subcrítico, Supercrítico y Mixto.
4. Uso de un algoritmo de solución para el acoplamiento de modelos 1D y 2D: Mediante el uso de este algoritmo es posible la retroalimentación directa en cada paso de tiempo entre los elementos de flujo 1D y 2D.
5. Uso de mallas computacionales estructuradas y no estructuradas: Las celdas computacionales de una determinada malla pueden ser triángulos, cuadrados, rectángulos o polígonos de hasta 8 lados como máximo.

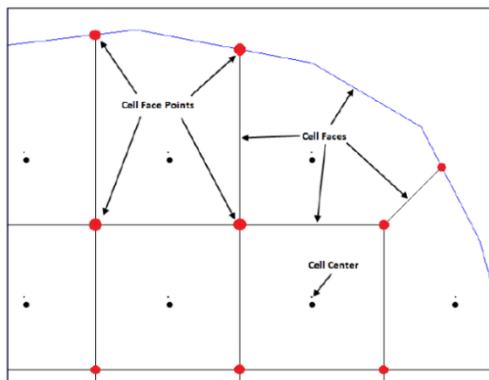


Figura 1. Propiedades de las celdas en una malla computacional.
Fuente: Luén, 2015..

La malla puede ser manipulada con facilidad, las celdas vecinas cambian automáticamente. El *software* “realiza el proceso de mallado computacional siguiendo la técnica de triangulación de Delaunay y luego construye un diagrama de Voronoi. El proceso es análogo cuando se construye el polígono de Thiessen para atribuir un área de cuenca a un pluviómetro específico” (Luén, 2015).

6. Generar una tabla detallada de propiedades hidráulicas para celdas y contornos de celdas computacionales 2D: El *software* calcula una relación detallada de Elevación – Volumen para cada celda; y para cada contorno de celda calcula la relación Elevación – Perímetro Mojado, Elevación – Área, Elevación – Rugosidad, y demás propiedades.

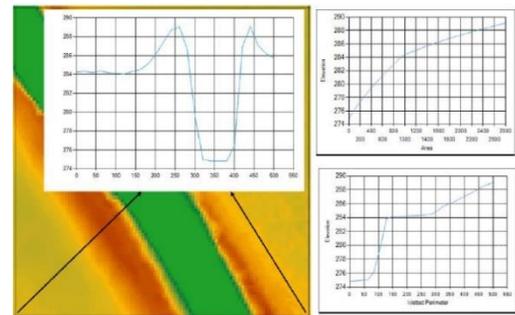


Figura 2. Parámetros hidráulicos calculados en el preproceso para cada celda computacional.
Fuente: Luén, 2015.

7. Generar mapas detallados de inundación y animaciones de estos: Mediante la herramienta RAS Mapper, es posible visualizar mapas de zonas inundadas, así como la animación del flujo de agua en una inundación.
8. Realizar una solución del esquema numérico basado en multiprocesadores: El *software* ha sido programado para obtener una solución de la modelización que aproveche los procesadores que tiene el ordenador.
9. Permite trabajar con procesadores de 64-Bit y 32-Bit: Es posible trabajar con ambos procesadores, sin embargo, con el

procesador de 64-Bit se ejecutará más rápido.

Limitaciones actuales de la modelización en 2D con HEC-RAS

1. No ofrece mucha flexibilidad para añadir estructuras hidráulicas dentro de un área 2D.
2. No es posible ejecutar simulaciones de transporte de sedimentos producto de la erosión o deposición dentro de un área 2D.
3. No es posible ejecutar simulación de calidad de agua dentro de un área 2D.
4. No es posible conectar centrales de bombeo dentro de un área 2D.
5. No es posible utilizar las capacidades de modelización de puentes de HEC-RAS dentro de un área 2D.

Tipos de análisis de los componentes hidráulicos

- Perfil de la superficie de agua para flujo permanente: Para este tipo de modelajes, es posible para el sistema realizar los cálculos de los perfiles de la superficie de agua, para un flujo gradualmente variado. El sistema puede manejar una gran red de canales, un sistema dendrítico, o simplemente la corriente de un río. “Se pueden realizar modelajes para un régimen subcrítico, supercrítico, y para un régimen de flujo mixto para los perfiles de la superficie de agua” (US Army Corps of Engineers, 2016).
El sistema para el procedimiento se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Para las pérdidas de energía, el sistema las evalúa mediante fricción, es decir, la ecuación de Manning. Según el US Army Corps of Engineers, la ecuación del momentum es utilizada en las situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Las situaciones incluyen los

cálculos para el régimen de flujo mixto, hidráulica de puentes y evaluación de los perfiles en las confluencias de los ríos.

Es posible considerar en los cálculos obstrucciones como puentes, alcantarillas, vertederos y estructuras en el cauce. También, existe la posibilidad de estimar el cambio en el perfil de la superficie del agua debido a mejoras en los canales y diques.

Además, “se incluyen algunas características especiales de los componentes del flujo permanente: análisis de planes múltiples, cálculos de perfiles múltiples, análisis de orificios múltiples, puentes y/o alcantarillas” (US Army Corps of Engineers, 2016).

- Simulación del Flujo no Permanente: Este componente, según US Army Corps of Engineers, es capaz de simular el flujo no permanente unidimensionalmente a través de una red completa de canales abiertos. Los cálculos hidráulicos para las secciones transversales, puentes, alcantarillas, y otras estructuras hidráulicas que fueron desarrolladas para el flujo permanente serán incluidas en el módulo de flujo no permanente. Además, para el flujo no permanente, es posible modelar áreas de almacenaje o almacenamientos, presas navegables, túneles, estaciones de bombeo, y diques deteriorados.
- Transporte de Sedimentos/Cálculo de Cauce: Este componente se basa en simulación unidimensional del transporte de sedimentos/cálculos del ensanchamiento o reducción resultante de la socavación y depósito en periodos de tiempo moderado.
Según US Army Corps of Engineers, el transporte de sedimentos se calcula para una fracción del tamaño de partículas. Además, se incluyen más características, como la capacidad para modelar una red completa de corrientes, dragado de canales, algunos diques y otras alternativas, y el uso de algunas ecuaciones diferentes para el cálculo del transporte de sedimentos.
El modelo tiene la capacidad de simular tramos largos de socavación; y depósito en una corriente de un canal que podría

resultar de la modificación de la frecuencia y duración de la descarga de agua en la modificación de la frecuencia y duración de la descarga de agua en la modificación de la geometría del canal. Además, es posible usarlo para evaluar el depósito en un embalse, el diseño en un embalse, el diseño de las contracciones requeridas para mantener la profundidad de navegación, estimar la socavación máxima durante largos periodos de inundación, y evaluar la sedimentación en canales.

Metodología de Gestión del Riesgo de Desastre

Definiciones

Desastre

Según la Ley No. 8488 de la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, se define como la situación o proceso que se desencadena como resultado de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar, en una población condiciones propicias de vulnerabilidad, causa alteraciones intensas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad, tales como: pérdida de vidas y de salud de la población, destrucción o pérdida de bienes de la colectividad y daños.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009), el desastre es una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa una gran cantidad de pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, que exceden la capacidad de la comunidad o sociedad afectadas para afrontar la situación utilizando sus propios recursos.

“Los desastres constituyen un elemento que puede afectar en cualquier momento a un proyecto de desarrollo” (Kiesel, 2001).

Algunos de los impactos directos del desastre son: personas heridas, fallecidas, desaparecidas y desplazadas permanente o temporalmente; y con afectación psicológica y traumas; infraestructuras con daños parciales o destruidas; interrupción servicios de salud o educativos suspendidos por daños en los equipos, inmobiliario e infraestructura; y el comercio y empresa privada incapaces de darle continuidad a los servicios y el negocio.

Según el proceso de gestión de desastres de la Municipalidad de Santa Ana (2019), los desastres no se consideran como “naturales”, ya que, aunque el ingrediente puede ser “natural” se encuentra en uno de dos componentes de la ecuación del riesgo que antecede a todo desastre, hablamos de la amenaza. Pero los desastres no son naturales y son socialmente construidos en las comunidades, donde somos coparticipes en la consolidación de comunidades vulnerables.

Riesgo de desastre

Según la Ley No. 8488 de la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, se define como la probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido. Se obtienen al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

El riesgo “solo puede existir si sobreviene un peligro en determinadas condiciones de vulnerabilidad, en un espacio y tiempo particular. (Jiménez, 2017).

Según el proceso de gestión de desastres de la Municipalidad de Santa Ana (2019), el riesgo de desastre se puede calcular con fórmulas matemáticas y entonces es posible saber cuál es la probabilidad de pérdida y daño futuro en caso de que ocurra un desastre.

Amenaza

Según la Ley No. 8488 de la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, se define como el peligro latente representado por

la posible ocurrencia de un fenómeno peligroso, de origen natural, tecnológico o provocado por el ser humano, capaz de producir efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios públicos y el ambiente.

Los mecanismos de disparo más frecuentes suelen ser: lluvias de intensidad alta, socavación por ríos u oleaje, sismo y acción antrópica.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009), las amenazas pueden ser:

1. Amenazas naturales: Las cuales se pueden clasificar por origen en: geológicas (terremotos, tsunamis, actividad volcánica), hidrometeorológicas (inundaciones, tormentas tropicales, sequías) o biológicas (epidemias).
2. Amenazas producidas por procesos humanos: Aquellas producidas por cambio climático, incendios, minería o recursos naturales no renovables, degradación, medio ambiente y amenazas tecnológicas.

Por otro lado, el proceso de gestión de desastres de la Municipalidad de Santa Ana (2019), indica que las amenazas se pueden clasificar como:

1. Amenaza natural: Aquella que deriva de la misma dinámica de las naturales y comprenden fenómenos como algún tipo de deslizamiento, vendavales, temporales, huracanes, tsunamis, y erupciones volcánicas.
2. Amenaza socio – natural: Aquella que resulta de la intersección de prácticas humanas con el ambiente natural, normalmente en condiciones tipificadas como degradación ambiental, de inadaptabilidad al entorno o bajo condiciones de insuficiencias y/o deficiencias en la dotación de infraestructuras urbanas y rurales, particularmente para el drenaje de aguas pluviales.
3. Amenaza antropogénica: Aquella que se origina por completo de acciones humanas e incluyen explosiones, incendios estructurales o en áreas boscosas, provocados por descuidos, derrames de sustancias peligrosas, accidentes tecnológicos y otros.

Entre las principales amenazas se encuentran:

- Eventos Meteorológicos:
 - Ciclones tropicales.
 - Sistemas de baja presión en el mar Caribe.
 - Zona de Convergencia Intertropical.
 - Frentes Fríos.
 - Periodos de El Niño y La Niña.
- De esta dinámica se derivan los eventos propios de la geodinámica externa:
 - Deslizamientos.
 - Represamientos de agua y lodo.
 - Los Torrentes.
 - Inundaciones.
 - Procesos erosivos ocasionados por el lavado de los suelos.
- Influencia de la tectónica de placas y fallamiento local.
- Erupciones volcánicas.

Vulnerabilidad

Según la Ley No. 8488 de la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, vulnerabilidad, se define como la condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados – la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, el ambiente – y la limitación de su capacidad para recuperarse.

La vulnerabilidad “está determinada por una combinación de factores que al interactuar entre sí definen una condición específica frente a la amenaza. Dos características importantes de la vulnerabilidad son; es socialmente construida y es dinámica, es decir, se puede transformar” (Jiménez, 2017).

“Para reducir la condición de vulnerabilidad de una población frente a una amenaza, hay que cambiar aquellos factores que están incidiendo en que una persona, población o comunidad sean vulnerables a determinadas amenazas. El fin es tener comunidades y poblaciones resilientes, seguras ante los riesgos de desastres.” (Jiménez, 2017). Según el proceso de gestión de desastres de la Municipalidad de Santa Ana (2019), algunos de los

factores determinantes de la condición de la vulnerabilidad son:

1. Factores ambientales: Se relacionan con la forma en cómo la comunidad explota los recursos naturales, tales como agua, bosque, suelo y aire.
2. Factores económicos: Se relacionan con la incapacidad de las familias de ahorrar, asegurar su patrimonio, acceder a un crédito, a una estabilidad laboral y donde, lo común es la informalidad laboral y sin una posibilidad de acceder a la seguridad social o de ser propietario de un terreno.
3. Factores físicos: la condición de vulnerabilidad se acentúa o no dependiendo de la ubicación de los asentamientos humanos y las actividades productivas; las condiciones y características de la infraestructura; los materiales usados; el diseño, si se respetó la normativa sismo resistentes y el aprovechamiento del ambiente y sus recursos. Dentro de los factores físicos se encuentran:
 - a. Factores sociales: Estos factores influyen, ya que se dice que el riesgo y su condición de vulnerabilidad se construyen en la cotidianeidad de las comunidades, en esas formas de vivir, se van construyendo los riesgos de desastres.
 - b. Factores políticos: Estos factores influyen en los niveles de autonomía que posee una comunidad para tomar o influir sobre las decisiones que la afectan, y a su capacidad de gestionar y negociar sus necesidades.
 - c. Factores ideológicos y culturales: Estos factores están determinados por la forma cómo ven el mundo, por sus creencias; ; costumbres de los pueblos y los patrones culturales.
 - d. Factores institucionales: Estos factores están influyendo, ya que la "vulnerabilidad institucional" hace referencia a los obstáculos formales -como el exceso de

tramitología-; la pérdida de credibilidad de la ciudadanía en las instituciones; la corrupción institucional; el tortuguismo con que se resuelven los trámites; la falta de rendición de cuentas y control ciudadano.

- e. Factores organizacionales: Estos factores se refieren a la capacidad de una comunidad para organizarse y establecer a lo interno vínculos de solidaridad, cooperación mutua, capacidad de dialogar, escuchar y negociar; de tener representatividad y legitimidad de sus organizaciones y sus líderes.

Resiliencia

Se entiende como la "capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesto a amenazas para adaptarse, resistiendo o cambiando, con el fin de alcanzar o mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura. Viene determinada por el grado en que el sistema social es capaz de organizarse para incrementar su capacidad de aprender de desastres pasados a fin de protegerse mejor en el futuro y mejorar las medidas de reducción de los riesgos" (EIRD de las Naciones Unidas, 2004).

La resiliencia se determina como "el grado de autoorganización para incrementar el aprendizaje sobre desastres pasados, de modo que se logre una mejor protección en el futuro y se optimicen las medidas de reducción de riesgo de desastres" (Kiesel, 2001).

Según Twigg (2007), el nivel de resiliencia en una comunidad es influido por capacidades fuera de la comunidad, por servicios de gestión de emergencias, pero también por servicios sociales y administrativos. Algunas de las características de una comunidad resiliente son:

- Las evaluaciones de amenazas/riesgos comunitarios, proporcionan un cuadro completo de todas las amenazas y riesgos mayores que enfrenta la comunidad.
- La evaluación de amenazas/riesgos es un proceso participativo que incluye

representantes de todos los sectores de la comunidad y expertos en el tema.

- Las conclusiones están disponibles para todas las partes interesadas y retroalimentan la planeación en torno a desastres
- El monitoreo constante de amenazas y riesgos y la actualización de las evaluaciones.
- La habilidad y capacidad para llevar a cabo evaluaciones de amenazas y riesgos comunitarios, mantenidas a través del apoyo y la capacitación.

Gestión del riesgo de desastre

Según la Ley No. 8488 de la Ley Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias, se define como el proceso mediante el cual se revierten positivamente las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que se incorporan criterios técnicos, efectos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009), el objetivo de la gestión del riesgo de desastres es reducir los factores subyacentes del riesgo y prepararse e iniciar una respuesta inmediata en cuanto el desastre golpea.

Según la CNE (2014), se presentan tres enfoques de la gestión del riesgo:

1. Gestión correctiva: conjunto articulado de acciones destinadas a reducir el riesgo ya establecido y a punto de materializarse. Se refiere al resultado de la acumulación de una serie de decisiones y prácticas incorrectas en el uso y ocupación del territorio, o bien por los cambios ambientales y sociales creados durante el desarrollo de la comunidad.
2. Gestión prospectiva: Es aquel conjunto interactivo de acciones y decisiones que anticipadamente evitan el impacto generado por las comunidades sobre su

ambiente y viceversa. Se enfatiza en colocar la labor para evitar que los procesos y las decisiones antrópicas generen y provoquen condiciones de riesgo futuro.

3. Gestión reactiva: Aquel conjunto de acciones complementarias destinadas a disponer de los recursos necesarios para responder eficientemente ante las emergencias y desastres. Por tanto, se requieren los instrumentos y mecanismos que garanticen la organización, el funcionamiento y la disponibilidad oportuna de los sistemas, los procedimientos, los recursos y las capacidades necesarios.

La gestión del riesgo de desastre “podría resumirse en cuatro grandes procesos: identificación y evaluación del riesgo; reducción del riesgo de desastre; preparativos y respuesta; y recuperación posdesastre” (Jiménez, 2017).

Percepción del riesgo

La percepción del riesgo consiste en una “evaluación subjetiva de la probabilidad de que un tipo específico de accidente ocurra y que nos afecte” (Lara, 2013).

El hecho de que haya diferencias individuales o grupales con respecto a la percepción del riesgo se debe a que hay una gran disparidad en la importancia que se les da a los peligros. Entre los factores que influyen en la percepción del riesgo, están los factores ideológicos y culturales, ya que influyen en la visión de mundo de una población o un individuo, en sus creencias y en cómo explican un desastre, ya sea por la costumbre de los pueblos o los patrones culturales. Estos factores son esenciales para desarrollar una cultura preventiva y dar elementos para definir una ruta para incorporar el análisis del riesgo.

Según Jiménez (2017), los aspectos que deben valorarse en relación con la percepción del riesgo son:

- Las ideas y visiones del desastre
- ¿Cómo se percibe el desastre y el riesgo?
- ¿Qué tanto se ha perdido la memoria colectiva de los desastres?
- Nivel de identificación con la localidad

- Sentimiento de pertenencia o no a la comunidad.
- Creencia o no de la posibilidad de evitar un desastre
- Percepción de los desastres como un castigo divino o de la naturaleza cruel.

Diagnóstico de la gestión local del riesgo de desastre

Tomando en cuenta que los desastres, y sus riesgos, cuando se manifiestan, impactan a las comunidades. Por tanto, se requiere una organización en las comunidades para enfrentar los riesgos y los desastres. La gestión del riesgo "demanda la participación de diferentes sectores y actores. El riesgo de desastre se manifiesta de forma más precisa en los niveles microsociales y territoriales. Esa gestión del riesgo que se hace desde esas escalas sociales más pequeñas y reducidas a nivel territorial, es la gestión local del riesgo de desastre (GLRD). (Jiménez, 2017). Las características de la gestión local del riesgo de desastre son:

- Propia de los actores locales.
- Participativa
- Responde a una dimensión territorial específica, mas se integra a escalas mayores o pequeñas donde se está gestionando también riesgo.

Software KoBoToolbox

El *software* según el sitio oficial (kobotoolbox.org) es un conjunto de herramientas para la recopilación de datos de campo para su uso en entornos desafiantes. El *software* es gratuito y de código abierto. Utilizado especialmente en crisis humanitarias e investigaciones. Se caracteriza por ser de gran utilidad en obtener información después de un desastre natural, ya que la recopilación es rápida. El *software* es desarrollado por la Iniciativa Humanitaria de Harvard.

Herramientas de KoBoToolbox

- Diseño de formularios de forma rápida y sencilla.
- Reutilizar preguntas y bloques de preguntas existentes.
- Crear formularios complejos con lógica de preguntas existentes, que incluyen 20 tipos de preguntas diferentes (ubicación, imagen, video, clasificación, matrices, entre otras).
- Compartir proyectos fácilmente con colegas y establecer niveles de permisos granulares.
- Importar y exportar XLSForms, CVS, KML, ZIP y SPSS.
- Recolectar datos en línea y fuera de línea
- Recolectar datos en teléfonos, tabletas o cualquier navegador.
- Sincronizar datos a través de SSL, garantiza que un tercero no pueda leer los datos.
- Crear informes resumidos con gráficos y tablas, ajustando los gráficos, los en colores y las preguntas del informe.
- Visualizar los datos recopilados en un mapa, incluyendo un mapa de calor, agrupando en *clústeres*, otras capas, entre otros.
- Caracterizar datos en informes y mapas, ya sea por género, región, nivel educativo, entre otros.

Metodología

Para el desarrollo de la práctica profesional dirigida, se comenzó con la recopilación y estudio de manuales, guías y metodologías existentes sobre la inspección de puentes, modelación hidráulica de cuencas y gestión del riesgo de desastres tanto a nivel nacional como internacional.

Los puentes pertenecen a un proyecto que consta de 17 puentes, divididos en 3 líneas, entre San Rafael de Escazú y Ciudad Colón, licitados por el CONAVI y construidos por la empresa constructora MECO. Mediante la ayuda de la Ing. Emilia Jiménez, se seleccionaron 2 de los puentes con más problemáticas, situados sobre Quebrada Azul y Quebrada Caraña.

Descripción del Sitio

Las áreas de estudio se localizan en la provincia de San José, específicamente en el cantón de Santa Ana, sobre la ruta 121.

Puente sobre quebrada Caraña

Este puente se ubica en el distrito Piedades, en el kilómetro 9.36 de la ruta nacional 121, sobre la Quebrada Caraña, el puente tiene una longitud total de 5.39m y un ancho de 13.96m, posee una carpeta asfáltica de 190mm y una altura libre de 2m. Consiste en un puente conformado por un arco de concreto prefabricado, construido por la empresa constructora MECO, diseñado por el Ing. Luis Francisco Viquez Solís.



Figura 3. Fotografía aérea del puente sobre Quebrada Caraña.

Fuente: Municipalidad de Santa Ana, 2021

Puente sobre Quebrada Azul

Este puente se ubica en el distrito Uruca, en el kilómetro 8 de la ruta nacional 121, sobre la Quebrada Azul, el puente tiene una longitud total de 6.33m y un ancho total de 13.96m, posee una carpeta asfáltica de 190mm y una altura libre de 2.2m. Consiste, de igual forma, en un puente conformado por un arco de concreto prefabricado, construido por la empresa constructora MECO, diseñado por el Ing. Luis Francisco Viquez Solís.



Figura 4. Fotografía aérea del puente sobre Quebrada Azul.

Fuente: Municipalidad de Santa Ana, 2021

Inventario de necesidades y vulnerabilidad

Considerando los antecedentes de las zonas de estudio, es necesario identificar el proyecto, sus necesidades y su vulnerabilidad. Para ello, se implementó el *software* Kobotoolbox para poder entrevistar a los vecinos de la zona. Para ello se aplicaron los siguientes pasos a seguir:

1. Formularios:

Se elaboró un formulario en el *software* que implementa tanto las necesidades de los entrevistados como la vulnerabilidad, incluyendo ubicación geográfica, imágenes y datos personales.

Las preguntas formuladas son:

- a. Seleccionar la quebrada que influye a la vecindad (Caraña o Azul)
- b. Anotar el nombre de la persona entrevistada.
- c. Anotar la cantidad de personas que habitan la casa .
- d. Seleccionar si se presentan o no niños o adultos mayores.
- e. Anotar la cantidad de tiempo en el cual se encuentran viviendo ahí.
- f. Seleccionar si presentó o no inconvenientes en relación con la quebrada durante el huracán Eta o Nate.
- g. Si se presentaron inconvenientes, seleccionar los posibles inconvenientes (inundaciones, derrumbes, acumulación, otro)
- h. Si se presentaron inconvenientes, seleccionar si tuvieron pérdidas económicas.
- i. Seleccionar si se presentaron o no inconvenientes antes y después del puente.
- j. Si se presentaron inconvenientes, seleccionar los posibles inconvenientes (inundaciones, derrumbes, acumulación, otro)

- k. Si se presentaron inconvenientes, seleccionar si tuvieron pérdidas económicas.
 - l. Anotar observaciones con respecto a las quebradas, puentes o vecindario que considere necesarias.
 - m. Indicar la ubicación geográfica.
 - n. Adjuntar fotografías del sitio.
- ## 2. Familias afectadas:
- Para identificar y caracterizar las casas de habitación vulnerables debe considerarse:
- a. Antecedentes.
 - b. Cercanía a las quebradas.
 - c. Estado de las viviendas

La mayoría de las casas de habitación seleccionadas para intervención se encuentran aguas abajo del puente, ya que, según los antecedentes de la Municipalidad de Santa Ana, es donde más reportes de inundación se han presentado.

3. Entrevistas:

Ya definidas las casas de habitación en cada una de las quebradas de estudio, se procedió a entrevistar directamente a las familias de cada una de las casas de habitación, es posible obtener la información en campo y enviarlas a la plataforma principal.

- ## 4. Análisis de resultados:
- Mediante los datos obtenidos en las entrevistas, se realizaron gráficos y estadísticas para simular los antecedentes y la vulnerabilidad de las viviendas. Determinando porcentajes de las casas anteriormente afectadas, con población vulnerable, entre otros.

Inventario Básico del Puente

Considerando que los puentes son estructuras nuevas, y que no se requiere determinar el grado de daño, solamente se utilizó el inventario básico del puente, formulario obtenido de las hojas del manual de inspección de puentes del MOPT.

El inventario incluye lo siguiente:

1. Información de datos de información general para la identificación del puente

- 1.1. Número de puente: dato definido por el encargado de la Dirección de Puentes del MOPT.
- 1.2. Nombre del puente: generalmente lleva el nombre del río que cruza.
- 1.3. Clasificación de la ruta: Existen cuatro tipos de clasificación de la ruta: 1. Ruta primaria, 2. Secundaria, 3. Terciaria o 4. Cantonal.
- 1.4. Kilómetro: Se refiere al kilómetro en el cual está ubicado el inicio del puente. Dato definido por la Dirección de Planificación Sectorial
- 1.5. Localización: Su dirección se define según la provincia, cantón y distrito.
- 1.6. Administración: Se debe determinar la institución encargada de la administración las regiones encargadas son el MOPT, el CONAVI o las municipalidades.
- 1.7. Latitud y longitud: Se refiere a la localización del puente según sus coordenadas.
- 1.8. Fecha de diseño y construcción: Información obtenida de planos o del encargado de la Dirección de Puentes.

2. Información básica

- 2.1. Dirección de la vía: Lugar hacia el cual se dirige el puente utilizando como punto de referencia el kilómetro de inicio del mismo.
- 2.2. Tipo de estructura: Existen opciones de tipos de estructura determinadas, las cuales son: 1. Puente, 2. Paso superior, 3. Paso inferior, 4. Vado, 5. Alcantarilla y 6. Otro
- 2.3. Carga viva de diseño: Es el tipo de carga asignada para el diseño del puente se establece en las especificaciones y normas utilizadas en el año de diseño del mismo. En general hay dos tipos de cargas estándares, el primero es un vehículo de una sola unidad con dos ejes, designado como camión tipo H, el segundo tipo de carga de camión es el denominado HS y comprende vehículos de tres ejes.
- 2.4. Longitud total: Es la suma de la longitud de cada tramo del puente en metros.

2.5. Especificación de diseño del puente: Los puentes existentes en el país están diseñados con base en las Especificaciones Estándares para los Puentes de Carretera emitidos por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO).

2.6. Número de superestructura: La sumatoria de todos los tipos de superestructura que presenta un mismo puente.

2.7. Número de tramos: El número de tramos en que se divide el puente

2.8. Número de subestructura: La cantidad total de bastiones y pilas de un puente.

2.9. Longitud de desvío: Distancia que debe recorrer un vehículo para llegar al mismo destino, debido al cierre del paso por un puente.

2.10. Pendiente longitudinal: Es el porcentaje de la inclinación longitudinal del puente.

2.11. Fecha de última pintura: día, mes y año de la última vez que se pintó la estructura para puentes de acero.

2.12. Servicios públicos: Servicios públicos como agua, gas, telecomunicación, aceite, entre otros, que pasan de un lado a otro conectados al puente.

2.13. Cruce: Se refiere al nombre del río o estructura sobre o debajo de la cual atraviesa el puente.

2.14. Tipo de pavimento y espesor: Información sobre el tipo de pavimento y el espesor en milímetros del pavimento.

2.15. Cuento de tráfico: Se requieren datos como el año en que se realizó el último cuento de tráfico, el total de vehículos que se midieron y el porcentaje de vehículos pesados de esta medición.

2.16. Restricciones: En caso de que el puente posea alguna restricción, por carga, ancho o altura.

3. Dimensiones del puente

3.1. Dimensiones: Se deben indicar medidas en metros del ancho total del puente, ancho de la calzada, altura libre vertical tanto superior como inferior, ancho de losa de aproximación y otras medidas de la sección transversal.

- 3.1.1. Ancho del puente: Comprende entre los bordes exteriores de los elementos externos de la sección transversal del puente.
- 3.1.2. Ancho de la calzada: La distancia entre las partes internas de los cordones.
- 3.1.3. Altura libre superior: Altura entre la rasante del paso inferior y la menor elevación de todos los elementos que componen la carretera existente.
- 3.1.4. Altura libre vertical inferior: Altura existente entre la parte inferior de la viga de mayor peralte o altura y el nivel de agua máximo del río.
- 3.1.5. Ancho de losa de aproximación: Espacio destinado al tránsito de vehículos en el camino de acceso.

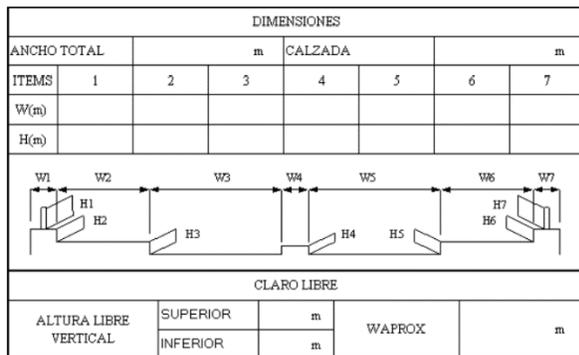


Figura 5. Dibujo de sección transversal del puente para mediciones.

Fuente: Manual de Inspección de Puentes, 2007

4. Antecedentes de inspección

Se completa si es el caso de que haya antecedentes de inspección, se debe de anotar la fecha en que se realizó, el nombre del inspector y el tipo de inspección.

5. Antecedentes de rehabilitación

Se completa si es el caso de que haya antecedentes de rehabilitación, se debe anotar la fecha en que se realizó, el elemento que se rehabilitó y el tipo de contramedida que se realizó.

6. Ubicación

Se refiere a la imagen de un mapa con la ubicación del puente.

7. Vista panorámica

Se debe recopilar una imagen de la vista panorámica del puente respectivo.

8. Observaciones

Anotaciones sobre aspectos de importancia de la condición del puente y el sitio donde está ubicado.

Simulación de las quebradas por HEC-RAS

Para realizar la modelación de las cuencas, se requiere el uso del *software* HEC-RAS y de información topográfica e hidráulica de las quebradas Azul y Caraña.

Se realizaron los siguientes pasos para la modelación de las mismas:

Comenzar un Proyecto Nuevo

En este caso, no se tienen documentos de proyectos existentes que incluyan información de las cuencas, por lo tanto, se requiere comenzar a crear un proyecto nuevo, se deben seguir los siguientes pasos:

- Crear o seleccionar una carpeta donde se va a incorporar el proyecto nuevo.
- Se le asigna un nombre en “ ” y un nombre en “File Name”, con la extensión “.prj.”

Cambiar el sistema de unidades

Se requiere cambiar el sistema de unidades, ya que, por defecto, se encuentra en unidades inglesas. Y se realiza de la siguiente manera:

- Seleccionar Option/Unit System (US Customary/SI)
- Seleccionar la opción System International (Metric System)

Introducción de datos geométricos

El *software* brinda la opción de realizar el tramo y las secciones transversales del canal manualmente. Mediante plantas topográficas brindadas por el CONAVI, fue posible trazar el cauce y agregar las secciones sin necesidad de realizar levantamiento topográfico.

Crear el tramo

Para crear el tramo del cauce, es necesario poseer la planta topográfica del mismo, para generar el trazo lo más exacto posible. A continuación, se presenta una figura que muestra el trazo de la Quebrada Azul, justo en la zona de estudio que se requiere.

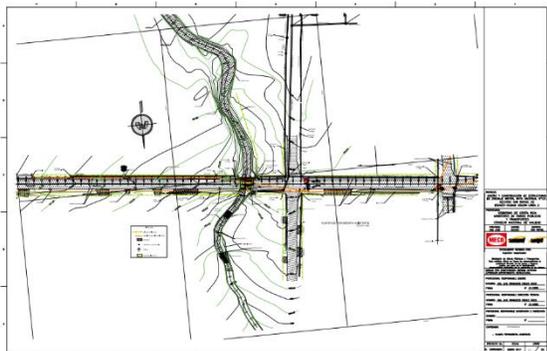


Figura 6. Planta topográfica de la Quebrada Azul
Fuente: CONAVI, 2017

Para poder realizar el trazo en el *software*, se siguieron los siguientes pasos:

- Seleccionar Edit/Geometric Data
- Activar el icono “River Reach” dentro de la ventana “Geometric Data”
- Definir el extremo de aguas abajo, ingresar el nombre del río y el nombre del tramo.

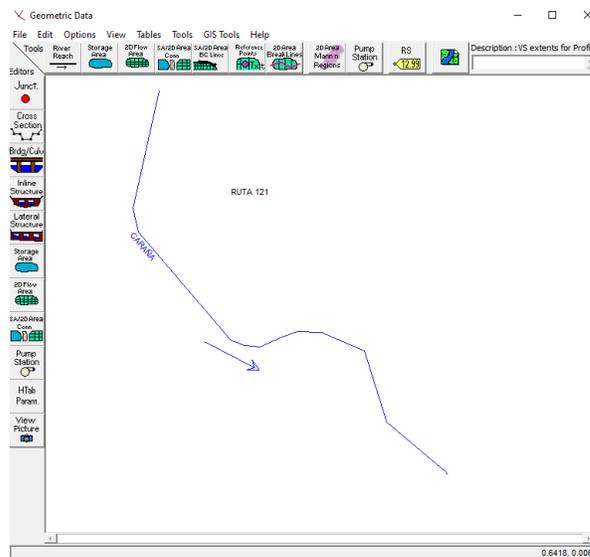


Figura 7. Dibujo del tramo del cauce
Fuente: Elaboración propia.

Introducir datos de secciones transversales

Para crear las secciones transversales del cauce, se requiere conocer la topografía del terreno o tener elevaciones de los cortes transversales del cauce. Se siguieron los siguientes pasos para elaborar los cortes en el tramo del cauce:

- Seleccionar el icono “Cross Section” en la ventana “Geometric Data”
- Introducir la primera sección transversal y agregar un número que represente la posición relativa con respecto a las demás secciones.
- Construir la sección transversal, agregando la abscisa en “Station” y la cota en “Elevation”.
- Agregar el valor de rugosidad de Manning en “Manning’s n Values”, dato obtenido de los estudios hidrológicos brindados por el CONAVI.
- Agregar el ancho del canal en “Main Channel Bank Stations” y la dirección de la sección transversal en planta en “Downstream Reach Lengths”.
- Realizar el mismo proceso para cada sección transversal.

Amenaza por sismo

- Zona sísmica y tipos de sitio

Esta variable se determina con una matriz de combinación que relaciona el tipo de sitio y las zonas sísmicas del mismo, datos obtenidos de la Tabla 2.1. Zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos y el capítulo 2.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2010,

De esa forma se fija un puntaje de incidencia que varía entre 3, 4 o 5, donde 3 es el nivel más bajo y 5 el nivel más alto de incidencia.

Cuadro 2. Matriz de combinación 1. Tipos de sitio con Zonas Sísmicas - Sismos

Tipo de Sitio/Zonas	IV	III	II
S ₄	5	4	4
S ₃	5	4	3
S ₂	5	4	3
S ₁	4	3	3

Fuente: MIDEPLAN, 2014

- Distancia en relación con el trazo de una falla local.
Esta variable se determina mediante la determinación de la distancia del trazo a la falla más cercana, mediante el uso de estudios de análisis de riesgo sísmico debido a la presencia de fallas, mapas, y demás información obtenida de la Municipalidad de Santa Ana. Se selecciona un puntaje de incidencia que varía del 1 al 5, donde 1 es el nivel más bajo de incidencia con una distancia del trazo, mayor a 100 metros; y 5 el nivel más alto de incidencia, cuando el trazo se encuentra justamente en la falla.
- Pendiente promedio y Zona Sísmica.
Esta variable se determina mediante una matriz de combinación que relaciona la pendiente promedio del sitio, dato obtenido de mediciones en la zona de estudio y la zona sísmica del mismo, obtenida de la tabla 2.1 del Código sísmico de Costa Rica 2010, y se define con un puntaje de incidencia que varía del 1 al 5, donde 1 es el nivel más bajo y 5 el nivel más alto de incidencia.

Cuadro 3. Matriz de combinación 2. Pendiente promedio (%) con zonas sísmicas.

Pendiente % / Zona sísmica	IV	III	II
Mayor a 70%	5	5	4
30 a 70%	5	5	4
15 a 30%	4	4	3
7 a 15%	3	2	2
0 a 7%	1	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Amenaza por inundación

- Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación.

Esta variable se determina por los antecedentes de la zona de estudio como: información de mapas, informes internos, reportes de la CNE o de la Municipalidad de Santa Ana, artículos de la Revista Geológica de América Central, entre otros, también se pueden incluir testimonios de vecinos de la zona. Esta variable permite considerar la ocurrencia de eventos previos que hubiesen afectado o que estén afectando el sitio de interés y tomar en cuenta la susceptibilidad del lugar a nuevas inundaciones. Se define si la zona de estudio se presenta o no en zonas de amenaza con potencial de inundación, donde el puntaje varía entre 1 y 5, 1 es el nivel más bajo de incidencia y se selecciona cuando no se presenta la amenaza, y 5 es el nivel más alto de incidencia, cuando sí se presenta la amenaza.

Pendiente promedio del terreno con precipitación.

Esta variable se determina mediante una matriz de combinación que relaciona la pendiente promedio del terreno (%), dato que se obtiene mediante mediciones en el sitio del proyecto, y la Precipitación, dato que se obtiene del cálculo del promedio de los 3 meses más lluviosos del año, precipitación adquirida de las estaciones más cercanas a la ubicación del proyecto del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Se le asigna un puntaje que varía

del 1 al 5, donde 1 es el nivel más bajo y 5 el nivel más alto de incidencia.

Cuadro 4. Matriz de combinación 3. Pendiente promedio del terreno (%) con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos).

Pendiente / Precipitación (mm)	Mayor a 500	400 a 500	300 a 400	200 a 300	Menor a 200
Menor a 8	5	5	4	4	3
8 a 15	5	4	3	3	2
15 a 30	3	3	2	1	1
30 a 60	2	2	1	1	1
Mayor a 60	1	1	1	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

- Valoración del parámetro de humedad del terreno.

Esta variable se determina mediante promedios mensuales de precipitación, supone una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes, previo a completar la matriz, se requiere obtener los siguientes cálculos con los promedios de precipitación:

- Adquirir el promedio mensual de precipitación para la estación más cercana a la ubicación del proyecto según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Para promedios mensuales menores a 125mm, se considera que la probabilidad de un aumento considerable de la humedad del terreno es baja; si se encuentra entre 125 y 150 mm se espera que haya un incremento moderado de humedad; y si se supera los 250 mm, implicaría una humedad del suelo muy elevada.
- Mediante la información obtenida, se le asigna a cada mes un puntaje del 0 al 2, como se muestra a continuación:
Cuadro 5. Promedios de precipitación mensual.

Promedio de precipitación (mm)	Valor asignado
<125	0
125-250	1
>250	2

Fuente: MIDEPLAN, 2014

- Se determina una sumatoria de los puntajes asignados para cada mes para los doce meses del año, de esa forma se obtiene un nuevo valor que oscila entre 0 y 24 unidades, el cual refleja la estimación de la saturación y la distribución temporal de humedad en el terreno, valor que se ingresa a la matriz y se determina un puntaje que varía del 1 al 5, donde 1 es el nivel más bajo y 5 el nivel más alto de incidencia.

- Cobertura vegetal, vegetación predominante.
Esta variable se define mediante una inspección en la zona de estudio, se especifica si se trata de una zona con suelo desnudo o herbáceo, charral, arbustiva, bosque no denso y bosque denso. Donde:

Cuadro 1. Matriz para amenaza de sismo

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Zona sísmica y Tipos de sitio (Matriz combinación 1)	Combinación de parámetros	Muy alto	5		60.0%	0
		Alto	4			
		Medio	3			
Distancia con respecto al trazo de una falla local	En la falla	Muy alto	5		20.0%	0
	Menor a 25 m	Alto	4			
	25-50 m	Medio	3			
	50-100 m	Bajo	2			
	mayor a 100 m	Muy Bajo	1			
Pendiente promedio y Zona sísmica (Matriz Combinación 2)	Combinación de parámetros	Muy alto	5		20.0%	0
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						0

Fuente: Mideplan, 2014

- Bosque denso: Bosque Cerrado o Denso; Árboles con sus copas traslapadas entre sí, generalmente la cubierta arbórea se ubica entre 60%T y 100%.
 - Bosque No Denso: Cubierta arbórea inferior al porcentaje de cubierta arbórea del bosque denso.
 - Arbustos: Individuos aislados o grupos de plantas y pequeños árboles no mayores de 2 m, pueden traslapar sus ramas o no, los arbustos presentan varios tallos o ramas que salen desde la raíz.
 - Charral o pastos: Herbazal, domina la vegetación herbácea terrestre (gramíneas, ciperáceas, algunos helechos y otras).
 - Suelo desnudo o herbáceo: Áreas sin o con vegetación escasa, donde domina el estrato abiótico, vegetación esparcida generalmente donde se acumulan nutrientes.
- Distancia a cuerpos de agua y alturas sobre el tirante de agua

Esta variable se determina mediante la matriz de combinación 4, que relaciona la distancia en metros desde donde se ubica el proyecto hasta el borde de cuerpos de agua con altura en metros, medida desde la proyección horizontal del proyecto hasta el tirante de agua en condiciones normales, parámetros que se obtienen mediante mediciones en sitio o en mapa brindados por la Municipalidad de Santa Ana.

Cuadro 6. Matriz de combinación 4. Distancia a cuerpos de agua con altura sobre el tirante de agua.

Distancia metros / Altura metros	0 a 2	2 a 4	4 a 6	6 a 8	Mayor a 8
Menor a 10	5	5	4	3	3
10 a 50	5	4	3	3	2
50 a 100	4	4	3	2	2
100 a 200	3	3	2	2	1
Mayor a 200	3	2	2	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Cuadro 7. Cuadro de Matriz de amenaza por inundación

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación	Sí	Muy Alto	5		35.0%	0
	No	Muy bajo	1			
Pendiente promedio del terreno con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos en mm) (Matriz combinación 3)	Combinación de parámetros	Muy alto	5		20.0%	0
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
Valoración del parámetro de humedad del terreno	20-24	Muy alto	5		15.0%	0
	15-19	Alto	4			
	10.-14	Medio	3			
	5.-9	Bajo	2			
	0.-4	Muy Bajo	1			
Cobertura vegetal, vegetación predominante	Suelo desnudo o herbáceo	Muy alto	5		10.0%	0
	Charral	Alto	4			
	Arbustiva	Medio	3			
	Bosque no denso	Bajo	2			
	Bosque denso	Muy bajo	1			
Distancia a cuerpos de agua y Altura sobre el tirante de agua (Matriz de combinación 4)	Combinación de parámetros	Muy alto	5		20.0%	0
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy Bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						0

Fuente: MIDEPLAN 2014

Cuadro 8. Niveles y escala del índice de la amenaza

Descripción	Nivel de amenaza	Índice de amenaza
Deben realizarse estudios geotécnicos, hidrológicos, climáticos y posteriormente una comparación de costos y beneficios del proyecto con aquellos asociados a emplazamientos alternativos, tomando en cuenta la necesidad, el costo y las dimensiones de las obras de reducción de riesgos necesarias	Muy Alto	5
La consideración de la ejecución de un proyecto de infraestructura física en un emplazamiento con estas condiciones de amenaza deberá tener en cuenta la realización de las obras necesarias de reducción de riesgos asociados a las amenazas identificadas.	Alto	4
Las amenazas analizadas no representan una limitante principal. En la mayoría de los proyectos, las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significa aumentos de costos significativos.	Medio	3
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva del manejo del riesgo implícito asociado al tipo de amenazas preexistentes, podría estar asegurada con un mínimo de inversiones adicionales orientado a la reducción de los riesgos por amenazas preexistentes.	Bajo	2
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva de amenazas específicas con este nivel de incidencia, debería estar asegurada sin necesidad de inversiones adicionales.	Muy Bajo	Menor o igual a 1

Fuente: MIDEPLAN 2014

Estimación del nivel de la amenaza

Después de llenar adecuadamente las matrices de amenazas (MIDEPLAN, 2014) con las variables de inundación y sismo, se obtiene un índice total por el tipo de amenaza, posteriormente se procede a establecer los niveles de amenazas y la escala de nivel utilizadas para la elaboración de la matriz de riesgo.

Para los niveles de amenazas menores o iguales a 1 y 2, el nivel es muy bajo, por tanto, se le asigna código verde.

Si es el caso de que se obtiene un índice de amenaza 3, el nivel es medio; por tanto, se define un código amarillo.

Por último, si los índices de amenaza están entre 4 y 5, el nivel es alto y muy alto respectivamente; por lo que se determina como código rojo.

Estimación de la severidad

Este parámetro debe considerarse como el análisis de la vulnerabilidad de los proyectos, el cual incluye el censo de la información de las personas que habitan en la zona de estudio y que están expuestas a las amenazas.

En el siguiente cuadro se presentan los niveles de daño que podrían ser expuestas las viviendas y la infraestructura si la amenaza se materializa.

El cuadro de severidad relaciona, en términos de criterios técnicos, en los posibles daños

cualitativos sobre los elementos expuestos de la infraestructura que se encuentra vulnerable y, en términos de operación, en la actividad de turismo y reconstrucción.

Cuadro 9. Clasificación de la severidad (exposición)

Descripción adaptada a la vulnerabilidad de los elementos expuestos	Índice de severidad
Daño grave, implica altos costos e impacta a toda la comunidad y al cantón.	5
Daño moderado a la infraestructura o a la actividad, impacta al costo operativo del proyecto.	4
Daño leve a la infraestructura o a la actividad, no genera mayores costos a lo operativo.	3
Daño muy leve a la infraestructura o a la actividad, no tiene costos operativos significativos.	2
No implica daños significativos a la infraestructura o la actividad.	1

Fuente: Jiménez, 2017

Para poder definir el índice de severidad para cada infraestructura, se requiere determinar el nivel de vulnerabilidad al que estaría expuesta si llegara a resultar en pérdida.

Matriz de análisis de riesgo

La presente matriz, permite evaluar de manera gráfica el riesgo, mediante distintos niveles, contemplando el índice de severidad y el índice de amenaza. Esta matriz es sencilla de analizar y facilita la visibilidad de riesgo y colabora con la toma de decisiones de gestión.

Para determinar el riesgo mediante la matriz de análisis de riesgo, se requiere aplicar la siguiente ecuación:

$$R = f(N, S)$$

Donde:

- R: Riesgo
- N: Nivel de Amenaza
- S: Severidad (Exposición)

Para estimar en forma gráfica el nivel de riesgo, se asignan las siguientes calificaciones dentro de un rango.

Cuadro 10. Escala de calificación del riesgo

Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
1 - 5	6 - 12	15 -25
Verde	Amarillo	Rojo

Fuente: MIDEPLAN Y CNE, 2014

En la siguiente figura se puede observar el esquema de valorización de riesgo en función de nivel de amenaza y severidad.



Figura 10. Matriz de calificación del riesgo

Fuente: Jiménez, 2017

Escenario de riesgo

Determinar un escenario de riesgo permite describir de manera general, las condiciones probables de daños y pérdidas que pueden presentar los elementos de estudio, por el efecto de eventos o fenómenos de origen natural o socio-natural, se considera la intensidad, magnitud y frecuencia, al igual que las condiciones de fragilidad de los elementos expuestos.

Para determinar la matriz de riesgo, se necesita establecer los escenarios de riesgo de la infraestructura, dividiéndola en dos sectores:

- Interno: este sector se define para realizar el análisis de escenarios de riesgo las áreas y los tramos establecidos en el plan de evacuación de las edificaciones o casas de habitación.
- Externo: se determinó el análisis de la infraestructura vial a la que tienen acceso los proyectos de infraestructura vial como lo son las calles 121, Ross y La Caraña.

En el siguiente cuadro se muestran los niveles de riesgo, según la metodología de la CNE, la cual adapta las normas y los elementos básicos de gestión municipal del riesgo de desastre con énfasis en prevención, control y regulación territorial (CNE, 2014)

Cuadro 11. Niveles de riesgo

Evaluación de riesgos	
Riesgo	Descripción
Alto	Se puede materializar la amenaza a menos de que sea reducida mediante la intervención con medidas correctivas o de mitigación (estructurales o no estructurales)
Medio	Se puede materializar la amenaza, se debe utilizar transferencia del riesgo
Bajo	Nivel de riesgo tolerable

Fuente: Jiménez, 2017

Mediante la asignación de nivel de riesgo, es posible determinar el nivel de gravedad para cada sector.

Resultados

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto. Al inicio se presentan los resultados de las entrevistas realizadas en los alrededores de las áreas de estudio, donde se evidencia la vulnerabilidad de las comunidades mediante gráficas y cuadros. Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos de las modelaciones y por último se muestran los resultados del análisis de gestión del riesgo de desastres. Los resultados de las inspecciones de los puentes, realizadas mediante inventarios básicos de los puentes se presentan en anexos.

Intervención de necesidades y vulnerabilidad

Luego de realizar las entrevistas en la comunidad que se encuentra vulnerable en los proyectos, se analizaron los resultados de los testimonios de los vecinos, con el fin de determinar las necesidades y la vulnerabilidad de la comunidad.

Debido a la cantidad de los sectores externos a analizar para la gestión del Riesgo en la Quebrada Azul, se posee un porcentaje mayor de entrevistados en la Quebrada Azul que en la Quebrada Caraña. El 62% de los entrevistados se encuentran cerca de la Quebrada Azul



Figura 11. Distribución de entrevistas para la Quebrada Azul y Caraña.

Fuente: Elaboración propia.

Del total de las familias entrevistadas, el 85% posee ciudadanos dependientes, lo cuales son ancianos o niños y se consideran independientes, porque dependen de un adulto que los asista ante una emergencia.

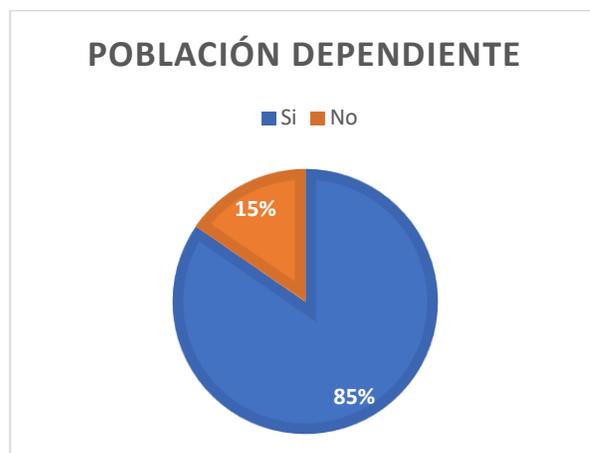


Figura 12. Porcentaje de población dependiente en el total de familias entrevistadas.

Fuente: Elaboración propia.

Quebrada Azul

A continuación, se encuentran los resultados obtenidos de los testimonios de los vecinos de la Quebrada Azul. En la figura 13 se puede observar que el 87% de las familias entrevistadas presentaron inconvenientes vinculados a la Quebrada Azul previo a la construcción del Puente sobre ruta 121.

AFECTIONS ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE

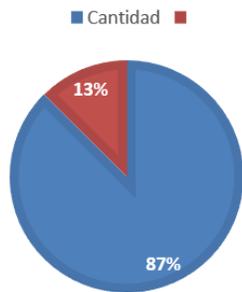


Figura 13. Porcentaje de familias afectadas antes de la construcción del puente sobre Quebrada Azul.

Fuente: Elaboración propia.

Entre los inconvenientes reportados por los vecinos de la Quebrada Azul, se encuentran inundaciones, acumulación de escombros, desprendimientos y hasta malos olores.

TIPOS DE AFECTIONS ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE

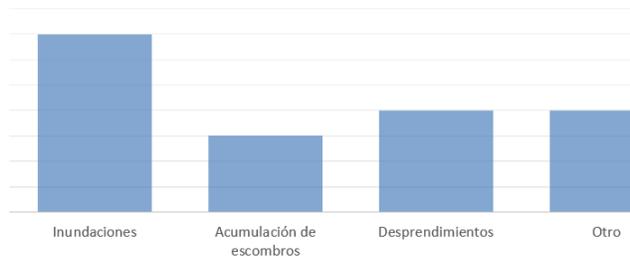


Figura 14. Variedad de inconvenientes que presentaron las familias previo a la construcción del puente sobre Quebrada Azul

Fuente: Elaboración propia.

Después de la colocación del puente, el porcentaje de familias que reportan inconvenientes vinculados a la Quebrada Azul es de un 50%.

AFECTIONS DESPUÉS DE LA COLOCACIÓN DEL PUENTE

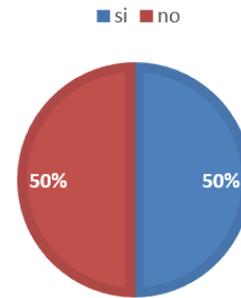


Figura 15. Porcentaje de familias afectadas después de la construcción del puente sobre Quebrada Azul.

Fuente: Elaboración propia.

Las afectaciones reportadas por los vecinos entrevistados después de la instalación del puente, en su mayoría son malos olores provenientes de la quebrada y solo una familia reportó problemas de inundación durante fuertes precipitaciones.

TIPOS DE AFECTIONS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE

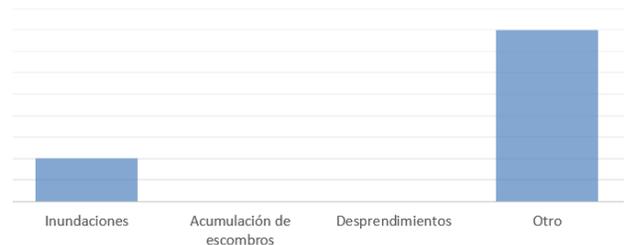


Figura 16. Variedad de inconvenientes que presentaron las familias después de la instalación de puente sobre Quebrada Azul.

Fuente: Elaboración propia.

Quebrada Caraña

A continuación, se presentan los resultados de las entrevistas realizadas en la zona de estudio de la Quebrada Caraña.

En la figura 17 se puede observar cómo el 100% de los entrevistados presentaron inconvenientes

vinculados con la Quebrada Caraña previo a la construcción del puente.

AFECTIONS ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE

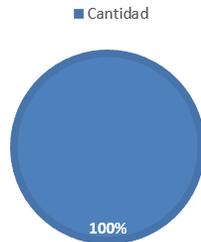


Figura 17. Porcentaje de familias afectadas antes de la construcción del puente sobre Quebrada Caraña.

Fuente: Elaboración propia.

Las familias solo reportan inconvenientes de inundación vinculados con la Quebrada Caraña, que se presentaron según testimonios generalmente durante fuertes precipitaciones.

TIPOS DE AFECTIONS ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE

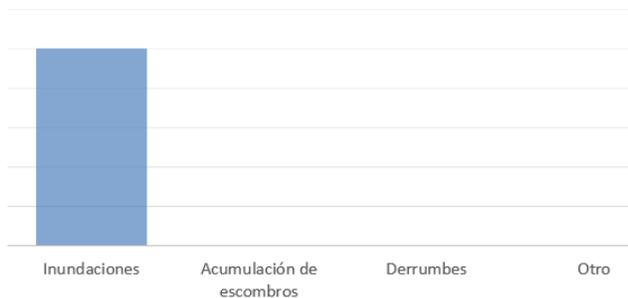


Figura 18. Variedad de inconvenientes que presentaron las familias previo a la construcción del puente sobre Quebrada Caraña.

Fuente: Elaboración propia.

Después de la construcción del puente sólo el 50% de las familias entrevistadas reportan inconvenientes vinculados a la Quebrada Caraña.

AFECTIONS DESPUÉS DE LA COLOCACIÓN DEL PUENTE

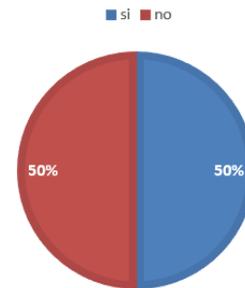


Figura 19. Porcentaje de familias afectadas después de la construcción del puente sobre Quebrada Caraña.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, se logra observar en la figura 20 que los vecinos que reportaron inconvenientes indican que solo han presentado inundaciones vinculadas a la Quebrada Caraña.

TIPOS DE AFECTIONS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL PUENTE



Figura 20. Variedad de inconvenientes que presentaron las familias después de la instalación de puente sobre Quebrada Azul.

Fuente: Elaboración propia.

Inventario Básico del Puente

Quebrada Azul

El puente sobre Quebrada Azul se encuentra en el kilómetro 8 de la ruta 121, una ruta nacional, secundaria que conecta Escazú – Ciudad Colón.

El puente se ubica en distrito Uruca, Santa Ana, San José.
Sus coordenadas son: 9°56'0.67" latitud norte y 84°11'38.47" longitud oeste.

Figura 21. Fotografía aérea del puente sobre Quebrada Azul, en ruta 121.



Figura 21. Fotografía aérea del puente sobre Quebrada Azul, en ruta 121.
Fuente: Municipalidad de Santa Ana.

La altura libre vertical inferior es de 1.65 metros y el ancho de 13.96 metros.

Con respecto al conteo del tráfico, las mediciones de tránsito promedio diario (TPD) se obtuvieron de la secretaría de Planificación Sectorial del MOPT, se obtiene que para ese sector de la ruta 121, en el año 2015, el TPD es de 13 095 vehículos, de los cuales el 9.26% corresponde a vehículos pesados.

Durante la inspección se observa que se encuentra una gran cantidad de material debajo del puente, el cual impide el libre tránsito del flujo de agua del cauce. Además, según lo observado en planos, durante la visita al sitio no se logró presenciar la placa de fundación del puente.



Figura 22. Fotografía del material encontrado debajo del puente sobre Quebrada Azul.
Fuente: Elaboración propia.

Quebrada Caraña

El puente sobre Quebrada Caraña se encuentra en el kilómetro 9.36 de la ruta 121, una ruta nacional, secundaria que conecta Escazú – Ciudad Colón. El puente se ubica en el distrito de Piedades, Santa Ana, San José.

Sus coordenadas son: 9°55'47.35" latitud norte y 84°12'16.78" longitud oeste.



Figura 23. Fotografía aérea del puente sobre Quebrada Caraña, en ruta 121.

Fuente: Municipalidad de Santa Ana.

La altura libre vertical inferior es de 1.10 metros y el ancho 13.96 metros.

Con respecto al conteo del tráfico, las mediciones de tránsito promedio diario (TPD) se obtuvieron de la secretaría de Planificación Sectorial del MOPT, son los mismos que para la Quebrada Azul, se

obtiene que para ese sector de la ruta 121, en el año 2015, el TPD es de 13 095 vehículos, de los cuales el 9.26% corresponde a vehículos pesados. Durante la inspección se lograron observar dos incongruencias con planos, una lámina al inicio de la Quebrada que obstruye el flujo de agua de la quebrada y una acumulación de material debajo del puente que de igual forma limita el libre tránsito del flujo de agua del cauce.



Figura 24. Fotografía de la lámina ubicada al inicio de la Quebrada Caraña
Fuente: Elaboración propia.



Figura 25. Fotografía del material encontrado debajo del puente sobre Quebrada Caraña.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Resumen de los resultados obtenidos del inventario básico de puentes.

Puente	Quebrada Azul	Quebrada Caraña
Ruta	121	121
Km	8.000	9.360
Distrito	Uruca	Piedades
Longitud (m)	6.330	5.390
Ancho total (m)	13.963	13.963
Calzada (m)	6.140	9.550
Claro vertical superior (m)	2.000	1.500
Claro vertical inferior (m)	1.650	1.100
Observaciones	Se presenta una gran cantidad de material debajo del puente, el cual puede afectar el libre tránsito del flujo del cauce. La placa de fundación especificada en planos estructurales no se construyó en el sitio.	Se presenta una gran cantidad de material debajo del puente, el cual puede afectar el libre tránsito del flujo del cauce.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13. Resumen de resultados obtenidos tras la modelación en HEC-Ras de la Quebrada Azul para caudales de 12.3 m³/s. (Pr: 100 años)

Sector	Q total (m ³ /s)	Elevación min (m)	Elevación del agua (m)	Elevación del tirante crítico (m)	Elevación de la línea de energía (m)	Pendiente de la energía (m/m)	Velocidad del agua (m/s)	Área efectiva del agua (m ²)	Ancho de lámina (m)	Froude #
8	12.3	871.00	872.48	872.48	872.72	0.018713	2.15	5.72	12.36	1.01
7	12.3	870.70	872.09	872.09	872.61	0.018725	3.20	3.85	3.73	1.01
6	12.3	870.60	872.02	872.02	872.47	0.016510	2.96	4.15	4.72	1.01
5	12.3	870.70	871.71	871.71	872.15	0.016741	2.93	4.20	4.86	1.01
4	12.3	870.20	871.53	871.53	872.02	0.017697	3.09	3.98	4.15	1.01
3	12.3	869.88	871.17	871.17	871.64	0.017102	3.06	4.02	4.27	1.01
2	12.3	869.50	870.41	870.60	871.06	0.031597	3.57	3.45	5.39	1.43
1	12.3	869.00	870.41	870.41	870.93	0.018930	3.20	3.85	3.70	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Simulaciones de las quebradas por HEC-RAS

A continuación, se muestran los resultados de la simulación de las quebradas mediante el *software* HEC-RAS

Quebrada Azul

Para la simulación del cauce en el *software* HEC-RAS de la Quebrada Azul se trazó en el mismo un tramo de 75 metros del cauce, el cual abarca la sección de estudio del proyecto.

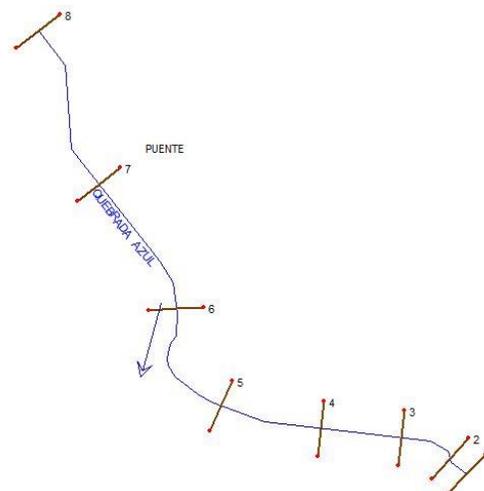


Figura 26. Trazo del cauce de la Quebrada Azul en el software HEC-RAS.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se ingresó el caudal correspondiente al cauce, el cual es de 12.3 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, para una duración estimada de 90 min, en el cuadro 12 se logra observar los resultados obtenidos de la simulación de la Quebrada Azul mediante datos de topografía obtenidos del CONAVI y datos hidrológicos del estudio hidrológico e hidráulico

de la Quebrada Azul, por la empresa Carbón Ingeniería del año 2019.

En la figura 27, se puede observar el perfil del tramo simulado en el software de la Quebrada Azul, y se logra presenciar las líneas de las diferentes elevaciones que se obtuvieron en el cuadro resumen.

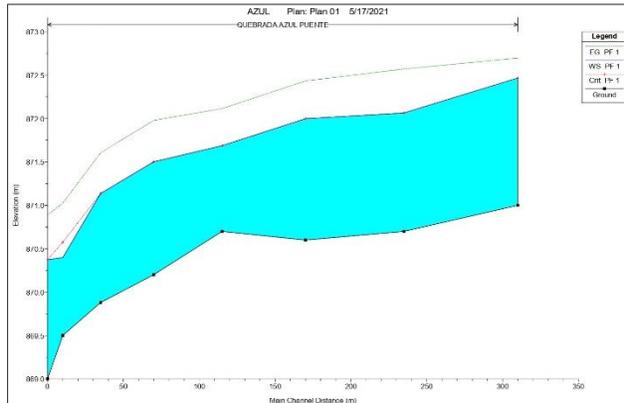


Figura 27. Perfil del total del tramo de la Quebrada Azul simulado en HEC-RAS.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28, se logra observar la sección transversal que presenta mayor problemática con respecto a las elevaciones del agua obtenidas en la simulación de la Quebrada Azul.

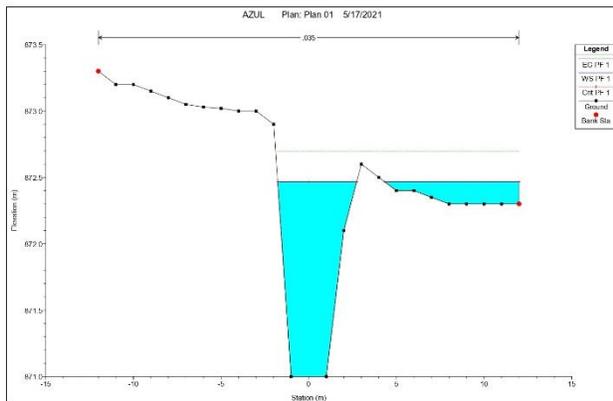


Figura 28. Sección transversal de la sección 8, el más problemático del tramo simulado.
Fuente: Elaboración propia.

Quebrada Caraña

Para la simulación del cauce en el software HEC-RAS de la Quebrada Caraña se trazó en el mismo un tramo de 75 metros del cauce, en el que abarca la sección de estudio del proyecto.

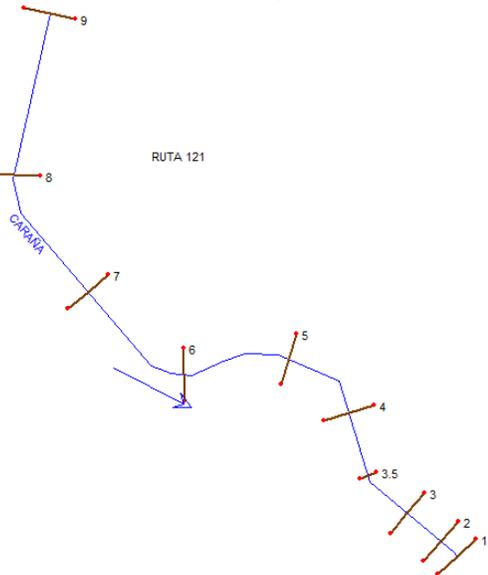


Figura 29. Trazo del cauce de la Quebrada Caraña en el software HEC-RAS.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se ingresó el caudal correspondiente al cauce, el cual es de 15.5 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, para una duración estimada de 60 min, en el cuadro 13 se logra observar los resultados obtenidos de la simulación de la Quebrada Azul mediante datos obtenidos del “Estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la Quebrada Caraña en la ruta nacional 121, en pedadas de Santa Ana, San José” realizado por Geotecnia & Construcción brindado por el CONAVI.

En la figura 30, se puede observar el perfil del tramo simulado en el software de la Quebrada Caraña, y se logran presenciar las líneas de las diferentes elevaciones que se obtuvieron en el cuadro resumen.

Cuadro 13. Resumen de resultados obtenidos tras la modelación en HEC-Ras de la Quebrada Caraña para caudales de 15.5 m³/s. (Pr: 100 años)

Sector	Q total (m ³ /s)	Elevación min (m)	Elevación del agua (m)	Elevación del tirante crítico (m)	Elevación de la línea de energía (m)	Pendiente de la energía (m/m)	Velocidad del agua (m/s)	Área efectiva del agua (m ²)	Ancho de lámina (m)	Froude #
9	15.50	873.21	874.48	874.48	874.84	0.014759	2.64	5.87	8.43	1.01
8	15.50	873.20	874.50	874.50	874.77	0.016213	2.30	6.74	12.75	1.01
7	15.50	872.70	874.38	874.38	874.56	0.019080	1.86	8.33	24.00	1.01
6	15.50	872.30	874.34	874.34	874.62	0.018129	2.31	6.71	12.54	1.01
5	15.50	872.10	873.25	873.31	873.70	0.017732	2.97	5.22	6.91	1.09
4	15.50	871.90	872.26	873.26	873.51	0.017985	2.19	7.07	15.35	1.03
3.5	15.50	871.80	873.36	873.36	873.72	0.017125	2.67	5.80	8.00	1.00
3	15.50	869.85	871.24	871.76	872.83	0.072289	5.58	2.78	3.06	1.87
2	15.50	867.98	869.57	870.10	871.26	0.083519	5.76	2.69	3.35	2.05
1	15.50	867.90	869.03	869.46	870.42	0.068820	5.22	2.97	4.46	2.04

Fuente: Elaboración propia.

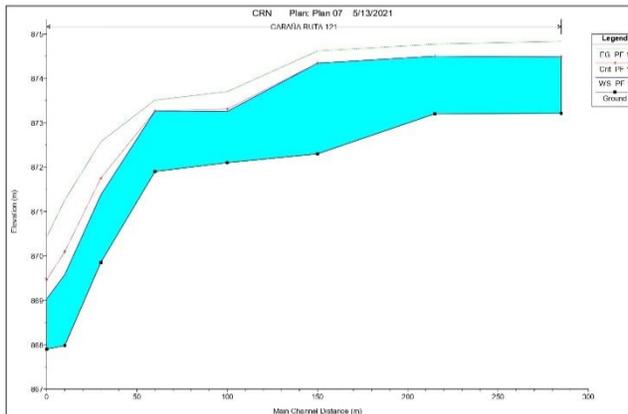


Figura 30. Perfil del total del tramo de la Quebrada Caraña simulado por HEC-RAS.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31, se logra observar la sección transversal que presenta mayores problemas en relación c las elevaciones del agua obtenidas en la simulación de la Quebrada Caraña, la sección 3.5 corresponde a la sección en donde se encuentra el paso de alcantarilla ubicado en Calle Canelos, zona con constantes problemas de inundación

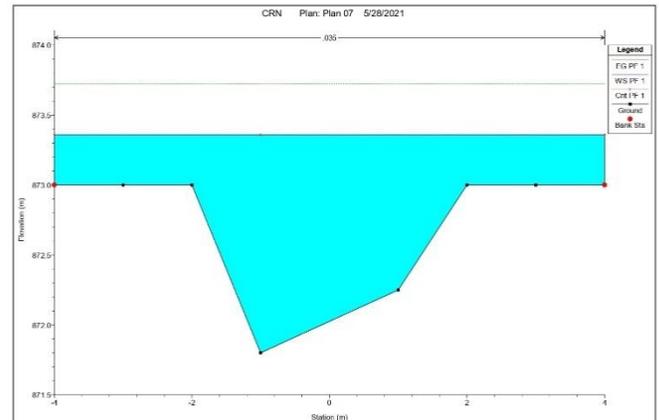


Figura 31. Sección transversal de la sección 3.5, el más problemático del tramo simulado.

Fuente: Elaboración propia.

Gestión del riesgo de desastre

A continuación, se muestran los resultados de la gestión del riesgo para cada uno de los puentes.

Resultados de matrices de amenaza

Quebrada Azul

Datos históricos:

La Quebrada Azul forma parte de la cuenca del Río Virilla, se encuentra en una zona urbana, por lo es un constante punto de desfogue, la quebrada finaliza en el río Uruca, la microcuenca cuenta con un área estimada de 2.399 km².

La quebrada nace al oeste del poblado denominado como Paso Machete, específicamente a 1600 metros del área del puente, sobre el distrito de La Uruca.

Se cuenta con varios estudios en distintas zonas de la quebrada:

- a. “Estudio hidrológico y de amenazas de la microcuenca de la Quebrada Azul, Santa Ana” realizado por Geotéctica S.A:

El estudio fue realizado en el 2019, con respecto al lugar de estudio, se trata de una propiedad en la cual se pretendía construir un condominio, por lo que se realizó un análisis completo de la zona de aporte pluvial de la Quebrada Azul, el sitio 900 metros aguas arriba del puente a analizar sobre ruta 121.

El estudio muestra el caudal calculado mediante método Mac-Math para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años, y se obtuvo un caudal de 5.31 m³/s para un periodo de retorno de 500 años y una intensidad de lluvia de 110.8 mm/h, para una duración estimada de 35.76 minutos. Además, se realizó una estimación de la capacidad hidráulica de la Quebrada Azul en esa zona y se obtuvo un flujo supercrítico, y no se encuentra en total capacidad hidráulica para el transporte del caudal de avenida crítica. El análisis de riesgos naturales en el área del proyecto indica que se posee un nivel de riesgo medio para amenaza de inundación.

- b. “Estudio hidrológico e hidráulico de la Quebrada Azul” realizado por Carbón Ingeniería:

El estudio fue realizado en el 2019, incluye un análisis de la Quebrada Azul y su afluente sin nombre en el sector de Río oro, entre la zona del Condominio Agapanthus y el Condominio La Hacienda, a 500 metros aguas abajo del puente a analizar sobre ruta 121.

El estudio muestra las condiciones del cauce de la Quebrada Azul y su afluente en los sitios de los puentes existentes sobre calle Ross, de las cuales algunas necesitan intervención.

La estimación de caudal de diseño mediante el modelo HEC-HMS para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Se obtiene un caudal de 12.3 m³/s para el sector sur de la Quebrada Azul, para un periodo de retorno de 100 años y una duración estimada de precipitación de 90 min.

El estudio muestra la condición actual de los niveles de agua para los caudales de diseño y presentan solamente problemas muy puntuales de capacidad, en el puente sobre Quebrada Azul, en calle Ross, el agua no sobrepasa la estructura de rodamiento del puente, pero se produce un remanso en el sector aguas arriba, por capacidad hidráulica insuficiente, además se menciona el deterioro de los bastiones del mismo. Por lo que recomiendan aumentar su capacidad hidráulica.

- c. “Estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la Quebrada Azul en la ruta nacional 121, Río Oro de Santa Ana”, realizado por Geotecnia & Construcción:

Este estudio fue realizado en el 2015 y fue utilizado por el CONAVI como base para el diseño del puente sobre Quebrada Azul en ruta 121.

El caudal obtenido de la cuenca ronda entre 5.1 m³/s hasta 11.8 m³/s para periodos de retorno desde 5 años hasta 100 años, respectivamente. Se utilizaron registros de precipitación máxima diaria anual de la estación 84038 Salitral, datos desde el año 1970 al 1990, del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

El estudio indica que el cauce de la Quebrada Azul presenta un canal bien definido y una pendiente de 2.14%.

El tipo de socavación determinada corresponde a una socavación de lecho móvil y se estima en una profundidad máxima de 6.0m.

Sugieren la construcción de un puente de 5.0m de ancho, 2.0m de altura libre y 14.25m de longitud.

Amenaza de inundación:

Considerando los antecedentes de la zona, los cuales han sido de vecinos de la zona, obtenidos mediante testimonios de los vecinos de la zona, el “Estudio hidrológico y de amenazas naturales de la microcuenca de la Quebrada Azul” elaborado por Geotécnica, el cual abarca aguas arriba del puente, el “Estudio Hidrológico e Hidráulico Quebrada Azul” el cual abarca aguas abajo, y el “Estudio hidrológico e hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la Quebrada Azul en la ruta nacional 121, Santa Ana”, se considera una localización en zonas de amenaza con potencial muy bajo de inundación, ya que no se encontraron más registros de inundación de la zona.

El sitio de estudio presenta un promedio anual de precipitación, según el registro mensual acumulado de precipitación para la estación de Santa Ana – Guachipelín 84-199 (IMN, 2020), de 139.04mm, un promedio mensual de los 3 meses más lluviosos de 277.3mm. La pendiente promedio de fondo es de 2.14%, según el estudio hidrológico de la Quebrada Caraña, realizado por Geotecnia & Construcción. Una cobertura vegetal en su mayoría herbácea. La distancia a cuerpos de agua es de 0m y la altura sobre el tirante de agua es de aproximadamente 2 metros.

Tras la cuantificación de Amenazas respecto a inundación sobre el sitio de estudio, se estima que la misma posee un índice total de 3.1, por lo que su nivel de amenaza es Alto (rango entre 3.01 a 4.00), en el cuadro 13 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la estimación a detalle sobre el área del proyecto.

Cuadro 15. Matriz de amenaza de inundación para la quebrada Azul.

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación	Sí	Muy Alto	5	1.00	35.0%	0.35
	No	Muy bajo	1			
Pendiente promedio del terreno con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos en mm) (Matriz combinación 3)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	4.00	20.0%	0.8
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
Valoración del parámetro de humedad del terreno	20-24	Muy alto	5	2.00	15.0%	0.3
	15-19	Alto	4			
	10.-14	Medio	3			
	5.-9	Bajo	2			
	0.-4	Muy Bajo	1			
Cobertura vegetal, vegetación predominante	Suelo desnudo o herbáceo	Muy alto	5	5.00	10.0%	0.5
	Charral	Alto	4			
	Arbustiva	Medio	3			
	Bosque no denso	Bajo	2			
	Bosque denso	Muy bajo	1			
Distancia a cuerpos de agua y Altura sobre el tirante de agua (Matriz de combinación 4)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	5	20.0%	1
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy Bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						2.95

Fuente: MIDEPLAN 2014

Amenaza de Sismo:

Para el sitio de estudio la pendiente promedio de fondo de $S=2.14\%$ aproximadamente, mientras que por zona sísmica este se cataloga como III. El valor a utilizar para estos parámetros es de S2. La falla más cercana se encuentra a más de 500 m. El área del proyecto presenta un nivel de amenaza sísmica Medio con un índice total de 2.8, para el rango entre 2.01 – 3.00. Los resultados se logran observar en el cuadro 14.

Cuadro 16. Matriz de amenaza de sismo para la quebrada Azul.

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Zona sísmica y Tipos de sitio (Matriz combinación 1)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	4	60.0%	2.4
		Alto	4			
		Medio	3			
Distancia con respecto al trazo de una falla local	En la falla	Muy alto	5	1	20.0%	0.2
	Menor a 25 m	Alto	4			
	25-50 m	Medio	3			
	50-100 m	Bajo	2			
	mayor a 100 m	Muy Bajo	1			
Pendiente promedio y Zona sísmica (Matriz Combinación 2)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	1	20.0%	0.2
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						2.8

Fuente: MIDEPLAN 2014

Quebrada Caraña

Datos históricos:

La Quebrada Caraña forma parte de la cuenca del Río Uruca, la cuenca tiene un área de 1.39 km². El uso de suelo de la cuenca en su mayoría es de bosques y zonas de protección (48.9% y zona urbana (28.3%).

Se cuenta con un estudio "Estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la Quebrada Caraña en la ruta nacional 121, Ren Piedades de Santa Ana", realizado por Geotecnia & Construcción el cual fue brindado por el CONAVI y se tomó como base para el diseño del puente sobre Quebrada Caraña en ruta 121. El estudio incluye el cálculo del caudal de diseño, el cual ronda entre 5.7 m³/s hasta 15.5

m³/s para periodos de retorno entre 5 años hasta 100 años, respectivamente, se determinaron mediante registros de precipitación máxima diaria anual de la estación 84038 Salitral, datos desde el año 1970 al 1990, del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), los cuales rondan entre 72.62mm a 112.78mm para periodos de retorno entre 5 a 100 años, respectivamente.

Según el estudio, el cauce presenta un canal bien definido, con una pendiente promedio de fondo de 3.95%. El tipo de socavación estimada corresponde a socavación de agua clara.

El estudio recomienda la construcción de un puente de 4.88m de ancho, 1.40m de altura libre, y 14.25m de longitud. Además, indica que la alcantarilla que se encuentra aguas abajo no posee capacidad hidráulica suficiente.

Cuadro 17. Matriz de amenaza por inundación para la Quebrada Caraña.

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación	Sí	Muy Alto	5	5.00	35.0%	1.75
	No	Muy bajo	1			
Pendiente promedio del terreno con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos en mm) (Matriz combinación 3)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	4.00	20.0%	0.8
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
Valoración del parámetro de humedad del terreno	20-24	Muy alto	5	2.00	15.0%	0.3
	15-19	Alto	4			
	10.-14	Medio	3			
	5.-9	Bajo	2			
	0.-4	Muy Bajo	1			
Cobertura vegetal, vegetación predominante	Suelo desnudo o herbáceo	Muy alto	5	4.00	10.0%	0.4
	Charral	Alto	4			
	Arbustiva	Medio	3			
	Bosque no denso	Bajo	2			
	Bosque denso	Muy bajo	1			
Distancia a cuerpos de agua y Altura sobre el tirante de agua (Matriz de combinación 4)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	5	20.0%	1
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy Bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						4.25

Fuente: MIDEPLAN 201

Además, se posee registros de eventos de inundación, los más recientes son del día 18 de julio del 2012, en el cual se menciona que se generó una inundación debido al desbordamiento de la Quebrada Caraña, en la intersección con la Ruta 121 y se han producido daños importantes en la ruta cantonal conocida como Calle Canelos lo que obligó a la Municipalidad de Santa Ana a intervenir. El otro registro es más reciente, es del día 16 de abril del 2021, donde, producto de fuertes precipitaciones, la quebrada se desbordó en el mismo sitio del evento del 2012, la inundación afectó: la ruta 121, la calle cantonal Canelos, a los vecinos de la zona y al supermercado que está en la esquina, llamado “La bendición”, las fotografías se encuentran en anexos.

Amenaza de inundación:

Considerando los antecedentes de la zona, los reportes encontrados, principalmente el del 18 de julio del 2012, donde se presentó daños por desbordamiento de la Quebrada Caraña, que generó roturas en la calle e inundaciones a los vecinos de la zona, y el reporte más reciente, el cual es del día 16 de abril del 2021, donde, debido a fuertes precipitaciones, se desbordó la quebrada Caraña e inundó la calle Canelos, al igual que los vecinos de la zona. Además, tomando en cuenta los testimonios de los vecinos de la zona, se considera una localización en zonas de amenaza con potencial muy alto de inundación.

Cuadro 18. Matriz para amenaza de Sismo para la Quebrada Caraña

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Valor	Ponderación %	Índice
Zona sísmica y Tipos de sitio (Matriz combinación 1)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	4	60.0%	2.4
		Alto	4			
		Medio	3			
Distancia con respecto al trazo de una falla local	En la falla	Muy alto	5	1	20.0%	0.2
	Menor a 25 m	Alto	4			
	25-50 m	Medio	3			
	50-100 m	Bajo	2			
	mayor a 100 m	Muy Bajo	1			
Pendiente promedio y Zona sísmica (Matriz Combinación 2)	Combinación de parámetros	Muy alto	5	1	20.0%	0.2
		Alto	4			
		Medio	3			
		Bajo	2			
		Muy bajo	1			
ÍNDICE TOTAL						2.8

Fuente: MIDEPLAN 2014

El sitio de estudio presenta un promedio anual de precipitación, según el registro mensual acumulado de precipitación para la estación de Santa Ana – Guachipelín 84-199 (IMN, 2020), es de 139.04mm, un promedio mensual de los 3 meses más lluviosos de 277.3 mm. La pendiente promedio de fondo es de 3.95%, según el estudio hidrológico de la Quebrada Caraña, realizado por Geotecnia & Construcción. Una cobertura vegetal en su

mayoría considerado charral. La distancia a cuerpos de agua es de 0m y la altura sobre el tirante de agua es de aproximadamente 2 metros. Tras la cuantificación de Amenazas respecto a la inundación sobre el sitio de estudio, se estima que la misma posee un índice total de 4.4, por lo tanto su nivel de amenaza es Muy Alto (rango entre 4.01 a 5.00), en el cuadro 15 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la estimación en detalle sobre el área del proyecto.

Cuadro 19. Niveles y escala del índice de la amenaza

Descripción	Nivel de amenaza	Índice de amenaza
Deben realizarse estudios geotécnicos, hidrológicos, climáticos y posteriormente una comparación de costos y beneficios del proyecto con aquellos asociados a emplazamientos alternativos, tomando en cuenta la necesidad, el costo y las dimensiones de las obras de reducción de riesgos necesarias	Muy Alto	5
La consideración de la ejecución de un proyecto de infraestructura física en un emplazamiento con estas condiciones de amenaza deberá tener en cuenta la realización de las obras necesarias de reducción de riesgos asociados a las amenazas identificadas.	Alto	4
Las amenazas analizadas no representan una limitante principal. En la mayoría de los proyectos, las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significan aumentos de costos significativos.	Medio	3
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva del manejo del riesgo implícito asociado al tipo de amenazas preexistentes, podría estar asegurada con un mínimo de inversiones adicionales orientado a la reducción de los riesgos por amenazas preexistentes.	Bajo	2
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva de amenazas específicas con este nivel de incidencia, debería estar asegurada sin necesidad de inversiones adicionales.	Muy Bajo	Menor o igual a 1

Fuente: MIDEPLAN 2014

Amenaza por sismo:

Para el sitio de estudio la pendiente promedio de fondo de $S=3.95\%$ aproximadamente, mientras que por zona sísmica este se cataloga como III. El valor a utilizar para estos parámetros es de S2. La falla más cercana se encuentra a más de 500 m. El área del proyecto presenta un nivel de amenaza sísmica Medio con un índice total de 2.8, para el rango entre 2.01 – 3.00. Los resultados se logran observar en el cuadro 16.

Valoración de amenazas

Tras la cuantificación de diferentes amenazas naturales en los sitios de estudio, se concluye que el nivel de amenaza de inundación, para la Quebrada Caraña es muy alto y para la Quebrada Azul es medio, además de un nivel medio de amenaza de sismo medio para ambas quebradas.

Cuadro 20. Valoración de amenaza para los sitios de estudio.

Sector	Amenaza	Índice de Amenaza	Nivel de Amenaza
Quebrada Azul	Sísmica	2.8	Medio
	Inundación	2.95	Medio
Quebrada Caraña	Sísmica	2.8	Medio
	Inundación	4.25	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

Según el cuadro 17, se deduce que, para la Quebrada Caraña, con respecto al nivel de amenaza de inundación se requiere realizar estudios geotécnicos, hidrológicos, climáticos y posteriormente una comparación de costos y beneficios del proyecto con aquellos asociados a emplazamientos alternativos, tomando en cuenta la necesidad, el costo y las dimensiones de las obras de reducción de riesgos necesarias. Para las demás amenazas se concluye que las amenazas analizadas no representan una limitante principal, con respecto a la amenaza por sismo para ambas quebradas y la amenaza por inundación para la quebrada Azul.

Matriz de Riesgo

La matriz de riesgo permite determinar objetivamente cuál es el nivel de riesgo. Mediante el cuadro 9, el cual permite clasificar el índice de severidad o vulnerabilidad, es posible determinar el mismo para cada uno de los sectores analizados de cada quebrada, tomando en cuenta el daño, tanto social como económico, que implicaría si ese sector en específico se ve afectado por un sismo o una inundación, para la comunidad y el cantón.

Los sectores a analizar con respecto a cada quebrada son:

Cuadro 21. Sectores analizados en los sitios de estudio de las quebradas.

Sector	Interno	Externo
Quebrada Azul	Tramo de la Quebrada Azul	Tramo de microcuenca de
	Puente principal sobre ruta 121	Verdulería sobre ruta 121
	Desfogues de la quebrada de la ruta 121	Servidumbre en ruta 121
	Calzada del puente sobre ruta 121	Vivero en servidumbre
	Aceras del puente sobre ruta 121	Terreno baldío en servidumbre
		Tramo de calle Ross
		Puente sobre calle Ross
Quebrada Caraña	Tramo de la Quebrada Caraña	Super La Bendición sobre calle Canelos.
	Puente principal sobre ruta 121	Tramo de Calle Canelos
	Calzada del puente sobre ruta 121	Casas de habitación sobre calle Canelos
	Desfogues de quebrada de la ruta 121 y calle Macho Madrigal	
	Aceras del puente sobre ruta 121	
	Puente sobre calle Canelos	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las matrices de riesgos para cada una de las quebradas.

Cuadro 22. Matriz de escenario de riesgo en el proyecto ubicado en Quebrada Azul.

QUEBRADA AZUL					Probabilidad de Amenaza	
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario	Severidad	INUNDACION	SISMO
					2.95	2.8
Externo	Microcuenca	500m aguas abajo y 500m aguas arriba del puente principal	Quebrada Azul	4	12	11
	Verdulería	Junto al Puente, frente a ruta 121, aguas arriba	Terrenos aledaños a Ruta 121	2	6	6
	Servidumbre	Junto al Puente, frente a ruta 121, aguas abajo	Terrenos aledaños a Ruta 121	3	9	8
	Terreno baldío	Junto al Puente, frente a ruta 121, aguas abajo, dentro de servidumbre	Terrenos aledaños a Ruta 121	1	3	3
	Vivero	A 15 metros del Proyecto, junto a Quebrada Azul, agua abajo	Terrenos aledaños a Ruta 121	3	9	8
	Calle Ross	A 280 metros del Proyecto, junto a Quebrada Azul, aguas abajo	Calle Ross	4	12	11
	Puente sobre calle Ross	A 290 metros del Proyecto, sobre Quebrada Azul, en calle Ross	Calle Ross	4	12	11
	Casas de habitación Calle Ross	Terrenos junto a Quebrada Azul, a 300 metros del Proyecto	Calle Ross	2	6	6
Interno	Quebrada Azul	50m aguas arriba y 50m aguas abajo del puente sobre ruta 121	Quebrada Azul	4	12	11
	Puente sobre Ruta 121	Sobre Quebrada Azul, ruta 121	Ruta 121	4	12	11
	Desfogues	Sobre Quebrada Azul, Aguas arriba ruta 121 y servidumbre	Ruta 121	4	12	11
	Calzada	Sobre Quebrada Azul, ruta 121	Ruta 121	4	12	11
	Aceras	Sobre Quebrada Azul, ruta 121	Ruta 121	3	9	8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Matriz de escenario de riesgo en el proyecto ubicado en quebrada Caraña.

QUEBRADA CARAÑA					Probabilidad de Amenaza	
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario	Severidad	INUNDACION	SISMO
					4.25	2.8
Externo	Super La Bendición	25 metros norte del Proyecto	Calle Canelos	3	13	8
	Casas de habitación	50 metros norte el Proyecto	Calle Canelos	2	9	6
	Calle Canelos	Contiguo a la ruta 121	Calle Canelos	4	17	11
Interno	Puente sobre calle Canelos	Sobre Calle Canelos	Calle Canelos	4	17	11
	Quebrada Caraña	5m del cauce aguas arriba, y 50m aguas abajo del puente en ruta 121	Quebrada Caraña	3	13	8
	Puente sobre ruta 121	Sobre Quebrada Caraña	Ruta 121	4	17	11
	Calzada	Sobre Quebrada Caraña	Ruta 121	4	17	11
	Desfogues	Sobre Quebrada Caraña, de la calle Macho Madrigal y la ruta 121	Ruta 121	4	17	11
	Aceras	Sobre Quebrada Caraña	Ruta 121	3	13	8

Fuente: Elaboración propia.

Tras los resultados que se presentan en los cuadros 20 y 21, se puede observar que los sectores analizados para la Quebrada Azul presentan un riesgo medio/bajo de inundación y sismo, tanto para el sector interno como externo. Ese no es el caso de la Quebrada Caraña, en donde se puede mencionar que, en el área del tramo de calle Canelos, el puente sobre calle Canelos, el puente sobre ruta 121, y los accesorios que los componen presentan un riesgo alto a eventos de inundación, donde la problemática es similar, y por ende los escenarios, donde se presenta un desbordamiento de la quebrada Caraña y provoca inundaciones en la

intersección de la calle Canelos con la ruta nacional 121.

Análisis de Resultados

Este apartado de análisis se presentará segmentado de la misma forma que fueron mostrados los resultados anteriormente. Por lo tanto, al inicio se muestra la discusión de la intervención de necesidades y vulnerabilidad realizada en las zonas de estudio, subdividida en las quebradas analizadas. Seguidamente se encuentran las observaciones y análisis de las mismas, halladas durante las inspecciones en sitio, en relación con el inventario básico que se realizó para cada una de las quebradas, igualmente se dividió en las quebradas analizadas. Luego se logra observar el análisis con respecto a los resultados obtenidos mediante las simulaciones de las quebradas, calculadas por medio del *software* HEC-RAS, se realiza una discusión con respecto a las características de cada una de las quebradas. Y por último se muestra el análisis de los resultados de las matrices realizadas para la gestión del riesgo de desastres, en donde se presentan posibles soluciones a los riesgos encontrados, en relación con los resultados obtenidos en las simulaciones y en el inventario básico de los puentes sobre ruta 121.

Intervención de necesidades y vulnerabilidad

La cantidad de familias entrevistadas en la zona de estudio del puente sobre quebrada Azul es mayor debido a que la zona de estudio es más grande, abarca el tramo del puente secundario en calle Ross y el puente principal en la ruta nacional 121, la distancia entre los puentes a analizar es de 290 metros, por lo tanto, se requiere abarcar testimonios en ambos tramos. En cambio, para la quebrada Caraña, los dos puentes a analizar, el puente principal en la ruta nacional 121 y en la calle municipal Canelos, están a 25 metros de distancia, por consiguiente, los testimonios obtenidos son los mismos para ambos puentes. En ambas comunidades cerca de las quebradas se encuentran familias que incluyen población dependiente, aquella que depende de un adulto para poder evacuar durante una emergencia, por lo que, durante una inundación o sismo, esta población es más vulnerable.

Quebrada Azul

El 87% de las familias entrevistadas en la zona de estudio de la quebrada Azul reportaron afectaciones antes de la instalación del puente en la ruta nacional, la mayoría de los reportes fueron en la calle Ross, en la que se ubica el segundo puente a analizar, este dato se puede verificar con los resultados obtenidos del estudio hidrológico e hidráulico que se realizó en el año 2019, donde mencionan los problemas observados de capacidad hidráulica en el puente sobre la quebrada Azul en calle Ross, para todos los periodos de retorno analizados, el remanso aguas arriba del puente secundario disminuye al igual que la inundación en el sector de la Calle Ross y la entrada al condominio La Hacienda.

Entre las afectaciones reportadas por las familias son inundaciones, acumulación de escombros, desprendimientos, caídas de muros de contención y hasta malos olores. Los vecinos de calle Ross son los que reportan más variedad de afectaciones, y la mayoría menciona que la quebrada resalta por los malos olores, posiblemente por desfogue de aguas residuales. En dos ocasiones se ha presentado que, durante fuertes precipitaciones, en la quebrada se generó un inusual crecimiento del tirante y provocó la caída de dos muros de contención que se encontraba al borde del cauce, estructura que se había construido para contener el terreno de cada familia; y hace un par de años se derrumbó, lo que ejemplifica la magnitud de caudal y la velocidad en la que el flujo se encontraba.

Después de la instalación del puente, el 50% de las familias entrevistadas reportaron afectaciones, todas provenientes de la calle Ross, cerca del puente secundario sobre la quebrada, los tipos de inconvenientes en su mayoría fueron malos olores, solo una familia reportó problemas con inundación, lo que significa que la instalación del puente principal en la ruta nacional generó un gran cambio con respecto a la capacidad hidráulica de la quebrada pero puede que se requiera otras modificaciones en el tramo de la quebrada por la calle Ross. Con respecto al puente secundario en la calle Ross, la Municipalidad de Santa Ana realizó una rehabilitación de los bastiones y la losa del puente, pero no realizaron modificaciones en la geometría del puente.

Quebrada Caraña

A diferencia de la quebrada Azul, el 100% de las familias entrevistadas en los sectores de análisis de la quebrada Caraña reportaron afectaciones antes de la instalación del puente, e indican que solo se presentan inundaciones vinculadas con la quebrada, lo que no confirma los datos históricos encontrados que muestran los constantes casos de desbordamiento de la quebrada, donde ha afectado a los puentes, la calzada de la calle Canelos y por supuesto los vecinos de la zona.

Después de la instalación del puente, el 50% de las familias entrevistadas reportaron inconvenientes vinculados con la quebrada, dato que se puede verificar con el reporte del día 16 de abril del 2021, donde, durante fuertes precipitaciones, se desbordó la quebrada y afectó

la calle Canelos y los vecinos de la zona. El puente sobre ruta nacional se estrenó en junio del año 2020, sin embargo, se presentó este inconveniente en abril del 2021, por lo que se requiere intervención para realizar un diagnóstico de ambos puentes sobre la quebrada, enfocándose en el puente de calle Canelos, el cual no se ha intervenido en mucho tiempo y requiere de valoración.

Esta quebrada presenta más reportes de emergencia durante fuertes precipitaciones, sin embargo, la Municipalidad de Santa Ana no posee información de estudios hidrológicos o hidráulicos para diagnosticar la capacidad hidráulica de las estructuras, y considerando los últimos reportes de emergencia y los testimonios de la comunidad, es probable que la capacidad hidráulica de los mismo sea insuficiente.

Inventario básico del puente

Los puentes sobre las quebradas, ubicados en la ruta nacional 121, están compuestos por elementos prefabricados, los cuales están diseñados de acuerdo con las “especificaciones estándar para puentes de carretera” 17te edición, aprobada por la asociación americana del estado carreteras y transporte 2002 (AASHTO), se trata de un diseño práctico que no implica complicación en la etapa constructiva, la cual se vio limitada de acuerdo con la normativa para la Construcción de Caminos y Puentes C.R 2010 y las Especificaciones Especiales del proyecto que se detallan en la lámina 7.2 de los planos estructurales del proyecto de diseño y construcción de estructuras de drenaje mayor de la ruta nacional 121.

Considerando que ambas estructuras están recién construidas y que durante las inspecciones en sitio se puede observar cómo las obras están en perfectas condiciones estructurales, se procedió a completar el inventario básico de cada puente.

Quebrada Azul

El puente sobre quebrada Azul se encuentra en excelentes condiciones estructurales, no presenta

daños como grietas, abrasión, deformación, oxidación, filtraciones de agua, acero de refuerzo, descascamiento, eflorescencia, agujeros, entre otros, la estructura consta de un puente de 6.33 metros de longitud, y un claro vertical de 1.65 metros.

El diseño puente se basa de un arco de prefabricado, que contiene una placa de fundación de concreto estructural de 0.75 m de profundidad, 14,48 m de largo y 6 m de ancho, con 67 aros cada 20 cm. La estructura posee 4 aletones, relleno estructural, protección de taludes, estructura de pavimento, carpeta asfáltica, aceras y barandas.

La estructura incluye un enrocado aguas abajo del puente, en los laterales de la quebrada Azul, con el objetivo de proteger los taludes contra los daños causados por el flujo de la quebrada. El enrocado se basa de una estabilización de talud con concreto ciclópeo, sistema de drenaje y una cimentación de 770 cm de profundidad y 1000 cm de ancho. El mismo abarca una longitud aproximada de 16 metros en el sector sur y 20 metros en el sector norte de la quebrada. En el talud en la sección sur de la quebrada se ubica un vivero, al cual se ingresa por una servidumbre, junto a la ruta nacional 121, la familia propietaria del mismo, durante las entrevistas realizadas, indicó que antes y después de la instalación del puente en la ruta nacional, no se han presentado inconvenientes de ningún tipo vinculados a la quebrada Azul y considerando la inversión realizada, esa zona no presentará en un futuro problemas vinculados a la quebrada.

Una de las incongruencias encontradas es la inexistencia de la placa de fundación ubicada debajo del arco del puente, detallada en la lámina 7.3 de los planos estructurales del proyecto, además, se observa una gran cantidad de material ubicado debajo del arco prefabricado, lo que influye directamente al claro vertical libre indicado en planos estructurales.

De acuerdo con el estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la quebrada Azul en la ruta nacional 121, en Río Oro de Santa Ana, el cauce está compuesto por bancos de depósitos aluviales y el tipo de socavación estimada corresponde con la socavación de lecho móvil y se estima en una profundidad máxima de 6.0 metros, por lo que el estudio recomienda la construcción de una losa en el fondo del puente, revestir el canal y las márgenes del cauce a la salida de la alcantarilla debido al cambio de dirección del flujo. Todas

estas recomendaciones se tomaron en cuenta para el diseño, como se logró observar en los planos estructurales, sin embargo, no todas se ejecutaron.

Según los resultados del inventario básico de puentes del MOPT y las observaciones indicadas anteriormente, se puede decir que la estructura actualmente se encuentra en excelentes condiciones estructurales, al igual que el enrocado mencionado, no obstante, el incumplimiento estructural de los planos establecidos puede generar una socavación por parte de la quebrada y dejar expuesta la estructura del arco prefabricado, también, se debe considerar que las fundaciones de las bases del arco prefabricado se basan en una cimentación superficial, lo que perjudica aún más a la estructura del puente, en un escenario de socavación.

Quebrada Caraña

Este otro puente en la ruta nacional sobre quebrada Caraña, de igual forma, se encuentra en excelentes condiciones estructurales, consiste en una estructura de 5.39 metros de longitud, y un claro vertical de 1.5 metros.

El diseño del mismo consiste en un arco prefabricado con dos placas de fundación de 950 cm de ancho, 450 cm de profundidad y 14,48 metros de longitud para las bases del arco prefabricado, con aros #4 cada 15 cm. También se incluyen 4 aletones, relleno estructural, protección de taludes, estructura de pavimento, carpeta asfáltica, aceras y barandas.

El proyecto también incorpora dos enrocados, aguas abajo del puente, con 10 metros de longitud a ambos lados de la quebrada Caraña, sin embargo, la longitud no es suficiente para abarcar el terreno en donde se ubica el super "La Bendición", el cual ha estado involucrado en varias emergencias de inundación y se encuentra en la zona de protección de la quebrada, por lo tanto está sumamente expuesto a posibles daños vinculados a la quebrada, como desprendimiento producto de socavación del talud, ya que el mismo se ubica en un cambio de dirección del flujo.

Durante las inspecciones se logró presenciar una gran cantidad de material ubicado debajo del arco prefabricado del puente, además de una lámina metálica aguas arriba del puente, que solo permite el paso del flujo del cauce en un espacio de 0.05 x 2 metros. Ambos escenarios influyen

negativamente al libre flujo del cauce de la quebrada.

De acuerdo con los resultados del inventario básico del puente del MOPT y las observaciones mencionadas anteriormente, se puede mencionar que el puente sobre quebrada Caraña se encuentra en excelentes condiciones estructurales, sin embargo, se incluyen dos observaciones en este análisis que perjudica al flujo de la quebrada, ya que se presentan restricciones en la misma, asimismo, también se debe mencionar la necesidad de continuar con la protección del talud que actualmente se encuentra pero no abarca por completo el talud involucrado con el cambio de dirección del flujo.

Simulaciones de las quebradas por el *software* HEC-RAS

A continuación, se muestra el análisis de resultados de las simulaciones realizadas para la quebrada Caraña y Azul, para ambas modelaciones se utilizó topografía obtenida por el CONAVI, datos hidrológicos de estudios realizados para el diseño del mismo puente y estudios solicitados por la Municipalidad de Santa Ana.

El modelo Hec Ras necesita de la inclusión de geometría a detalle de las secciones transversales, por lo que se incluyeron las restricciones geométricas actuales medidas en campo de los puentes instalados en el canal de cada cauce, con el objetivo de observar los resultados hidráulicos más realistas, no obstante, para ambas simulaciones se empleó un tramo de 75 metros de cada quebrada, y secciones transversales cada 5 o 10 metros, lo que nos limita a obtener resultados para secciones aguas abajo de los puentes.

Quebrada Azul

Del anexo 26 al anexo 34 se exponen las secciones transversales de la quebrada Azul, que incluyen sus tirantes críticos y normales para un

caudal de avenida máxima de 12.3 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, para una duración estimada de 90 min y se logra observar que la sección 8 analizada, no posee la capacidad hidráulica de transportar la avenida máxima obtenida del estudio hidrológico e hidráulico, ya que se producen desbordamientos sobre el canal del cauce. Se debe considerar que no se tiene información de más caudales calculados para periodos de retorno más altos, tampoco datos hidráulicos actualizados en el tramo de la quebrada donde se ubica el puente, solo datos aguas arriba y aguas debajo del mismo, lo cual es una limitación para determinar otros escenarios posibles y probablemente más críticos.

El cuadro 12 presenta un resumen de los datos hidráulicos obtenidos tras la modelación de la quebrada. Se puede observar en la columna de elevación de agua, que el sector 8 corresponde a la sección con la elevación más alta y el sector 1 corresponde a la sección más baja.

En el mismo cuadro se puede observar que el número de Froude en todos los sectores son mayores a 1, el cual influye directamente en las condiciones hidráulicas del cuerpo de aguas en análisis, debido a que este indica que el flujo que atraviesa la quebrada es de tipo supercrítico, donde las fuerzas inerciales se vuelven dominantes, el flujo tiene pendientes altas, al igual que las velocidades, y usualmente se describe como rápido y torrencial, las cuales sobrepasan 2.15 m/s, siendo inadecuado para canales principales.

El sector 4 corresponde a la sección transversal en donde se ubica el puente sobre ruta nacional y como se logra presenciar en el anexo 29, según los resultados de la modelación, la elevación del tirante crítico no sobrepasa el claro libre vertical del puente, por lo que, se puede mencionar que el puente generó una mejora en la geometría de la quebrada. La sección 8, la cual corresponde al sector más crítico, se encuentra aguas arriba del puente, zona donde según el estudio hidrológico y de amenazas naturales de la microcuenca, el cual se enfoca en un condominio a 900 m aguas arriba del puente, indica que se tiene un nivel de riesgo medio para amenaza de inundación, por lo que se puede deducir que esa zona requiere una intervención para mejorar la geometría del canal y garantizar la capacidad hidráulica apropiada. Para el tramo aguas abajo del puente sucede lo contrario, las secciones transversales muestran

que el canal posee suficiente capacidad hidráulica para el caudal de la quebrada.

Los resultados de esta simulación se pueden relacionar con las estadísticas obtenidas de los testimonios de los vecinos de las zonas analizadas, donde indican que actualmente no han presenciado problemas de inundación vinculados con la quebrada.

Quebrada Caraña

Los datos hidráulicos suministrados para obtener los resultados de la simulación de la misma son registros poco actualizados de la quebrada, ya que se obtiene de un estudio realizado en el 2015 mediante datos de precipitaciones de los años 1970 al 1990, además de un periodo de retorno de 100 años, y no se cuenta con estudios realizados en zonas aguas abajo o aguas arriba de la quebrada, esta situación es una limitación muy grande para poder conocer las condiciones hidráulicas reales en las que se encuentra la quebrada.

Del anexo 35 al 45 se muestran los resultados hidráulicos de las secciones transversales de la quebrada Caraña, los mismos incluyen sus tirantes críticos y normales para un caudal de avenida máxima de 15.5 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, para una duración estimada de 60 min, como se logra observar, de las 10 secciones transversales analizadas, 4 de ellas no presentan la capacidad hidráulica de transportar la avenida máxima obtenida del estudio hidrológico e hidráulico, ya que se producen desbordamientos sobre el canal del cauce.

El cuadro 13 muestra un resumen de los productos obtenidos en la simulación hidráulica de la quebrada, de igual forma que la quebrada Azul, el flujo del agua se dirige del sector 9 al sector 1, como se observa en el cuadro, ya que el sector 9 posee la elevación más alta y el sector 1 la elevación más baja. Todos los sectores poseen un número de *froude* superior a 1, por lo tanto, se trata de un flujo supercrítico, donde, de igual forma que la otra quebrada, las fuerzas inerciales se vuelven dominantes, pero a diferencia de quebrada azul, este cauce presenta mayores velocidades, debido a que la pendiente es mucho mayor, aguas arriba se manifiestan velocidades de hasta 5.76 m/s, considerándose un flujo rápido y torrencial, siendo inadecuado para canales principales.

El sector 7 corresponde a la sección transversal ubicada en el puente principal sobre ruta nacional, como se puede observar en el anexo 42, la elevación del tirante crítico sobrepasa la capacidad del puente, provocando un desbordamiento en un escenario crítico. El sector 3.5 corresponde a la sección transversal del puente secundario sobre calle Canelos, y se puede visualizar en la figura 31 que la elevación del tirante crítico sobrepasa por mucho la capacidad del puente, provocando un desbordamiento durante precipitaciones extraordinarias, es posible que esta sea la restricción que genere el desbordamiento total de la zona y afecte las demás estructuras, ya que los puentes son prácticamente consecutivos.

Estos resultados se pueden relacionar con lo obtenido en reportes de emergencias y las estadísticas obtenidas en las entrevistas, ya que exhiben la capacidad hidráulica insuficiente que presenta el canal y sus estructuras aguas arriba de la quebrada.

Entre las posibles causas de que, según la simulación, el tramo de la quebrada en donde se ubica el puente sobre ruta 121, presente problemas de desbordamiento, a pesar de que se trate de un puente recién construido, está el alcance del estudio hidrológico, hidráulico y de socavación, ya que el mismo estima la precipitación mediante registros de precipitación máxima diaria anual desde el año 1970 al 1990, el estudio indica que la zona en donde se ubica el puente no presenta problemas relacionados con inundaciones, se tienen varios registros de los considerables desbordamientos de la quebrada. No se realizó un trabajo social que incluya testimonios de los vecinos para incluir datos históricos de la zona, y el estudio no abarcó a profundidad la totalidad de desfuegos que posee la quebrada. Por consiguiente, se requiere de un estudio hidrológico más profundo, que represente las condiciones reales actuales de la quebrada, para generar un diagnóstico más detallado.

Gestión del Riesgo de Desastre

Según la cuantificación realizada en la matriz de riesgo para la quebrada Azul, la cual se presenta

en el cuadro 20, se puede mencionar que, tanto para las áreas internas y externas, se presenta un nivel de riesgo medio en relación con eventos de inundación y sismo, excepto para el sector del “terreno baldío”, ya que se muestra que posee un nivel de riesgo bajo, por su índice de severidad. De acuerdo con las estadísticas obtenidas en los testimonios, los cuales mostraban que después de la instalación del puente no han presentado eventos de inundación vinculados con la pandemia y los resultados de la simulación de la quebrada Azul, se puede enlazar con el producto obtenido de la matriz de riesgo, el cual indica que es medio, por tanto, se requiere tomar medidas de mitigación, en su mayoría no estructurales para reducir el eventual riesgo.

Para la quebrada Caraña, se obtienen otros resultados, según la matriz de riesgo, se presenta un nivel de riesgo medio a eventos de inundación y sismo para la mayoría de las zonas analizadas, excepto para los sectores el puente sobre calle Canelos, la calle cantonal, el puente sobre ruta nacional, la calzada sobre la ruta 121 y los desfuegos de la quebrada, donde se presenta un nivel de riesgo alto a eventos de inundación. De igual forma, estos resultados respaldan las estadísticas de los testimonios realizados, los cuales indican que después de la instalación del puente se han presentado eventos de inundación vinculados a la quebrada, además, también se avala con los resultados de la simulación realizada, en los cuales se muestra una capacidad hidráulica ineficiente. Asimismo, se necesita acudir a medidas de mitigación estructurales y no estructurales para reducir el eventual riesgo, de manera sostenible y eficiente. Con el objetivo de reducir el eventual riesgo, se recomienda las siguientes implementaciones estructurales y no estructurales sobre los sectores más vulnerables de ambas quebradas.

Quebrada Azul

- Mantenimiento del lecho de la quebrada, por medio de una campaña de limpieza, incluyendo preferiblemente a la comunidad de calle Ross, con el objetivo de reducir la generación excesiva de sedimentos y materiales sólidos que se depositan en el cauce lo cual puede generar un sobreflujo.

- Eliminación de material encontrado debajo de la estructura del puente sobre ruta 121, con el objetivo de eliminar restricciones que perjudiquen el libre flujo del cauce.
- Realizar un plan de emergencia incluyendo todos los escenarios posibles y de esa forma salvaguardar la vida de los vecinos ante un desastre, dándole prioridad a aquellas viviendas que se ubican muy cerca de la quebrada, con antecedentes de inundación y que contienen población dependiente.
- Consecutivo recorte de vegetación, ya que ocupa mucho espacio del lecho de la quebrada, esto puede ocasionar remansos en el flujo hidráulico y también obstruye el paso del flujo, lo que puede generar cierta socavación. No se recomienda el uso de herbicida sobre la vegetación, ya que puede afectar la calidad del agua.
- Realizar un trabajo en conjunto con la Municipalidad de Santa Ana con el Ministerio de Salud, para que ambas instituciones implementen medidas para evitar la descarga directa de aguas residuales a la quebrada Azul, de esa forma reducir la contaminación de la misma y eliminar los malos olores que reportan los vecinos de la Calle Ross
- Mantener contacto con el propietario del nuevo condominio La Hacienda del Bosque, debido a que el mismo se ubica en calle Ross y posee una gran cantidad de viviendas, con el objetivo de verificar el uso de los desfuegos y conocer el tipo del flujo que se vierte en el cauce.
- Intervenir en la estructura del puente sobre ruta 121 con la construcción de una losa de protección en el sector inferior del puente con concreto estructural de 75 cm de espesor, con el objetivo de evitar socavación en un futuro.

Quebrada Caraña

- Mantenimiento en el cauce, por medio de una campaña de limpieza, incluyendo a la

comunidad de calle Canelos, con el objetivo de reducir la generación excesiva de sedimentos y materiales sólidos que se depositan en el cauce lo cual puede generar un sobre flujo.

- Eliminación de material encontrado debajo de la estructura del puente sobre ruta 121, con el objetivo de eliminar restricciones que perjudiquen el libre flujo del cauce.
- Retirar lámina metálica que se encuentra obstruyendo el cauce, la cual está ubicada a 10 metros aguas arriba del puente sobre la ruta 121, con el objetivo de evitar obstrucciones que perjudiquen el flujo del cauce.
- Realizar un plan de emergencia incluyendo todos los escenarios posibles y de esa forma salvaguardar la vida de los vecinos ante un desastre, dándole prioridad a aquellas viviendas que se ubican muy cerca de la quebrada, con antecedentes de inundación y que contienen población dependiente.
- Generar un diagnóstico de la red de alcantarillado pluvial de la calle Macho Madrigal y ruta 121, con el objetivo de generar una solución que disminuya el caudal que desfoga en la quebrada Caraña.
- Realizar taller con el objetivo de llegar a un acuerdo consensuado con la comunidad, con el objetivo de encontrarle una solución al exceso de desfogues que son vertidos a la quebrada Caraña.
- Mantener contacto con el propietario del nuevo condominio Vista Santa Ana, debido a que el mismo se conecta con la calle Macho Madrigal y se compone de 401 casas de habitación, por lo tanto se requiere obtener información de los desfogues del mismo y el tipo de flujo que se vierte.
- Constante recorte de vegetación, ya que ocupa mucho espacio del lecho de la quebrada, lo que puede ocasionar remansos en el flujo hidráulico y también obstruye el paso del flujo, lo que puede generar cierta socavación. No se

recomienda el uso de herbicida sobre la vegetación, ya que puede afectar la calidad del agua.

- Implementar una mejora en las secciones donde se presentan desbordamientos, y según los resultados de las simulaciones, el puente sobre ruta 121 presenta desbordamiento, y tomando en cuenta que la estructura está recién construida, se recomienda realizar un diagnóstico más profundo de la estructura, ya que no se tienen estudios hidrológicos, hidráulicos y de blindaje climático con gestión del riesgo, con el fin de analizar la estructura y de generar una solución que soporte los caudales de avenida máxima.
- Reemplazo del puente sobre calle Canelos, por un puente con un claro vertical libre de mínimo 3 metros y una longitud total mínima de 4 metros. Considerando que esa calle municipal es la única ruta para ingresar a la comunidad de la Caraña, se sugiere un puente prefabricado de 1 tramo, que sea una solución rápida, práctica y eficiente que incluya la metodología de blindaje climático y gestión del riesgo de desastre. Se sugiere un puente que posea dos carriles, paso peatonal, que cumpla con metodología LRFD para una vida útil de por lo menos 75 años, además de incluir todos los accesorios para su adecuado funcionamiento.
- Construcción de un dique de contención que impida la socavación del terreno donde se encuentra ubicado el supermercado "La Bendición", ya que, el mismo se encuentra dentro de la zona de protección de la quebrada y no posee ningún tipo de estructura que contenga el agua, además de encontrarse justo en un desvío del flujo del cauce y como se puede observar en los resultados hidráulicos de la simulación de la quebrada, el cauce muestra un flujo supercrítico, por lo tanto se caracteriza por presentar altas velocidades.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La metodología de análisis de riesgo de desastres del MIDEPLAN permite cuantificar las amenazas y generar un mapa que muestre gráficamente los sectores que requieren implementar medidas de mitigación con más urgencia.
- El *software* HEC RAS permite determinar la capacidad hidráulica del canal del cauce, pero no considera las restricciones de canales cerrados.
- La comunidad alrededor de la quebrada Caraña reporta eventos de inundación después de la instalación del puente sobre ruta nacional.
- El puente ubicado en ruta nacional sobre quebrada Azul no presenta daños de ningún tipo, sin embargo, la estructura no incluye una placa de fundación indicada en planos, requerida para evitar socavación.
- La quebrada Azul se caracteriza por presentar un flujo supercrítico con velocidades de hasta 3.20 m/s, una condición inadecuada para canales principales.
- Según la simulación, la quebrada Azul posee una sección transversal aguas arriba del puente en ruta nacional que presenta desbordamiento, por geometría inadecuada, sin embargo, no influye en el puente, por lo tanto, se puede mencionar que el sector aguas debajo de la quebrada Azul presenta una capacidad hidráulica suficiente para las condiciones del cauce.
- La quebrada Caraña posee un flujo supercrítico con velocidades de hasta 5.22 m/s, una condición inadecuada para canales principales y requiere monitoreo.
- La quebrada Caraña se caracteriza por mostrar varias secciones transversales que presentan desbordamientos, por lo que se puede decir que ambos puentes sobre la quebrada presentan una capacidad hidráulica insuficiente para las condiciones del cauce.
- La sección transversal que corresponde a los puentes involucrados en la quebrada Caraña son los más críticos por presentar desbordamientos de la quebrada y sobrepasa la capacidad del puente.
- La amenaza menos influyente para ambos puentes es la de sismo, ya que los mismos se encuentran a una distancia mayor a metros en relación con el trazo de una falla local, para ambos puentes se posee un índice total de 2.8, lo que representa un nivel de amenaza sísmica media.
- Según la cuantificación de amenaza de inundación para el puente sobre quebrada Azul, el índice total de amenaza por inundación es de 2.95, lo que corresponde a un nivel medio, y se debe a que el nivel de incidencia para la variable de localización en zonas de amenaza con potencial de inundación es muy bajo, tomando en cuenta la ausencia de reportes de inundación, los resultados de estudios hidrológicos e hidráulicos anteriores de la zona, los testimonios de

los vecinos, los cuales indican que después de la instalación del puente no han presenciado eventos de inundación y los resultados de las simulaciones mediante el *software* HEC RAS.

- Según la cuantificación de amenaza de inundación para el puente sobre quebrada Caraña, el índice total de amenaza por inundación es de 4.25, lo que corresponde a un nivel muy alto, esto se debe a que, tomando en cuenta los reportes de inundación, los testimonios de los vecinos y los resultados de las simulaciones de la quebrada mediante el *software* HEC RAS, se concluye que el puente si se encuentra en una zona de amenaza con potencial de inundación.
- Para el puente sobre quebrada Azul, según los datos de la matriz de severidad, los sectores más vulnerables son la quebrada Azul, el puente sobre ruta 121, los desfuegos de la quebrada, la calzada de la ruta nacional, la calle municipal Ross y el puente sobre la calle Ross.
- Para el puente sobre quebrada Caraña, según los datos de la matriz de riesgo, los sectores que muestran un riesgo alto por amenaza de inundación son; el puente sobre ruta 121, la calzada de la ruta nacional, los desfuegos de la quebrada, la calle municipal Canelos y el puente en la calle Canelos.
- Se elaboraron medidas de mitigación.

mitigación estructurales y no estructurales indicadas en el proyecto para las quebradas analizadas, con el objetivo de reducir el riesgo.

- La Municipalidad de Santa Ana debe considerar la elaboración de estudios más detallados que incluyan una topografía actualizada, datos de precipitaciones de mínimo 3 estaciones que cumplan con las mismas características de la zona, un periodo de retorno de mínimo 100 años, estudio de amenazas naturales, estudio hidrológico que abarque la totalidad de la microcuenca y un estudio hidráulico que considere el caudal actual.
- La Municipalidad de Santa Ana debe considerar realizar capacitaciones de gestión del riesgo de desastre a los profesionales encargados de los procesos municipales para incorporarlo en sus proyectos de inversión.

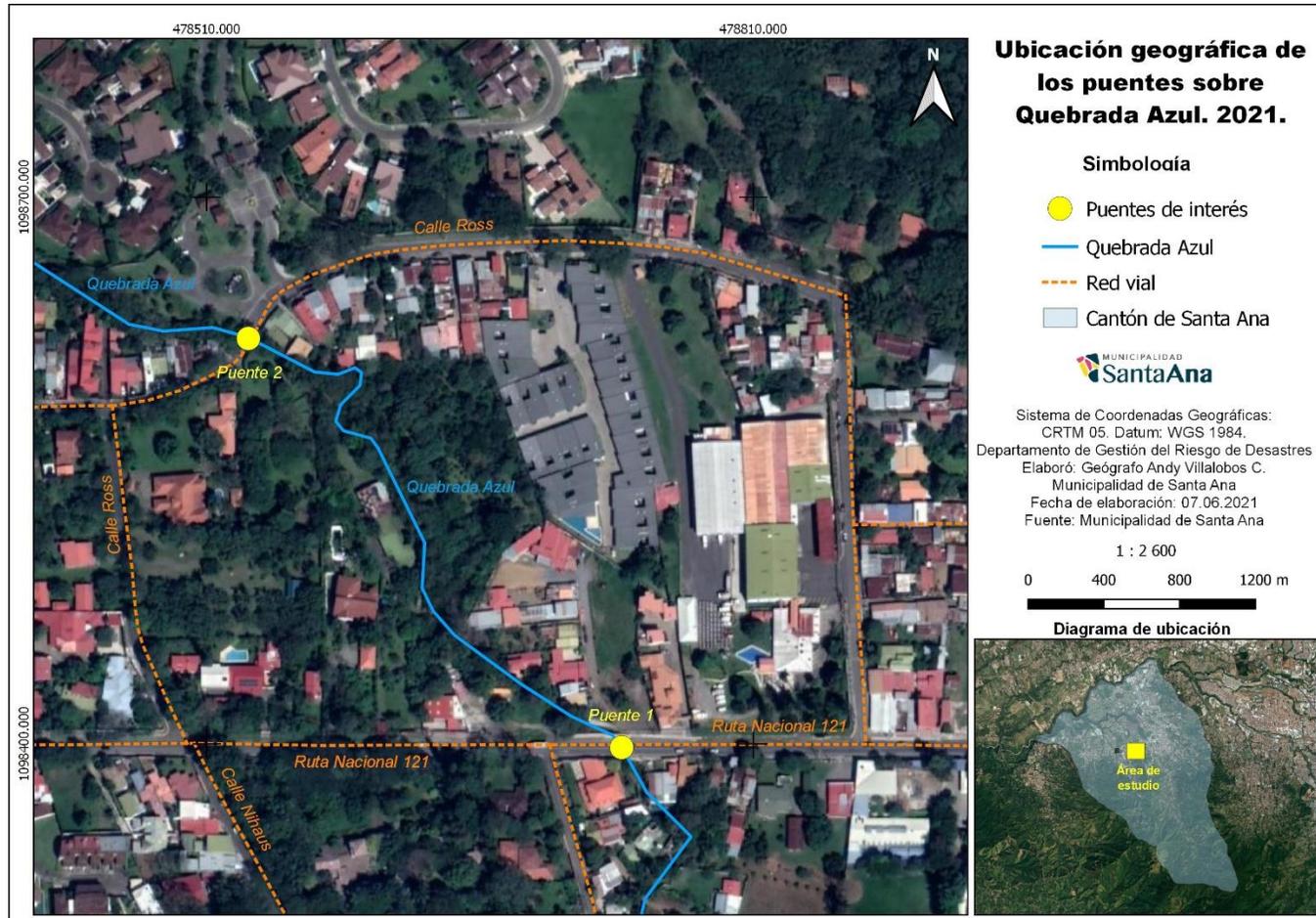
Recomendaciones

- El departamento de Permisos de Construcción de la Municipalidad de Santa Ana debe incorporar un reglamento que exija a futuros proyectos de construcción la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en sus estudios preliminares y diseño, que varíe en relación con la ubicación, ya que, dependiendo del sitio, varían amenazas, y que demande, para algunos sectores, estudios hidrológicos e hidráulicos con periodos de retorno de mínimo 100 años.
- La Municipalidad de Santa Ana debe considerar implementar las medidas de

Anexos

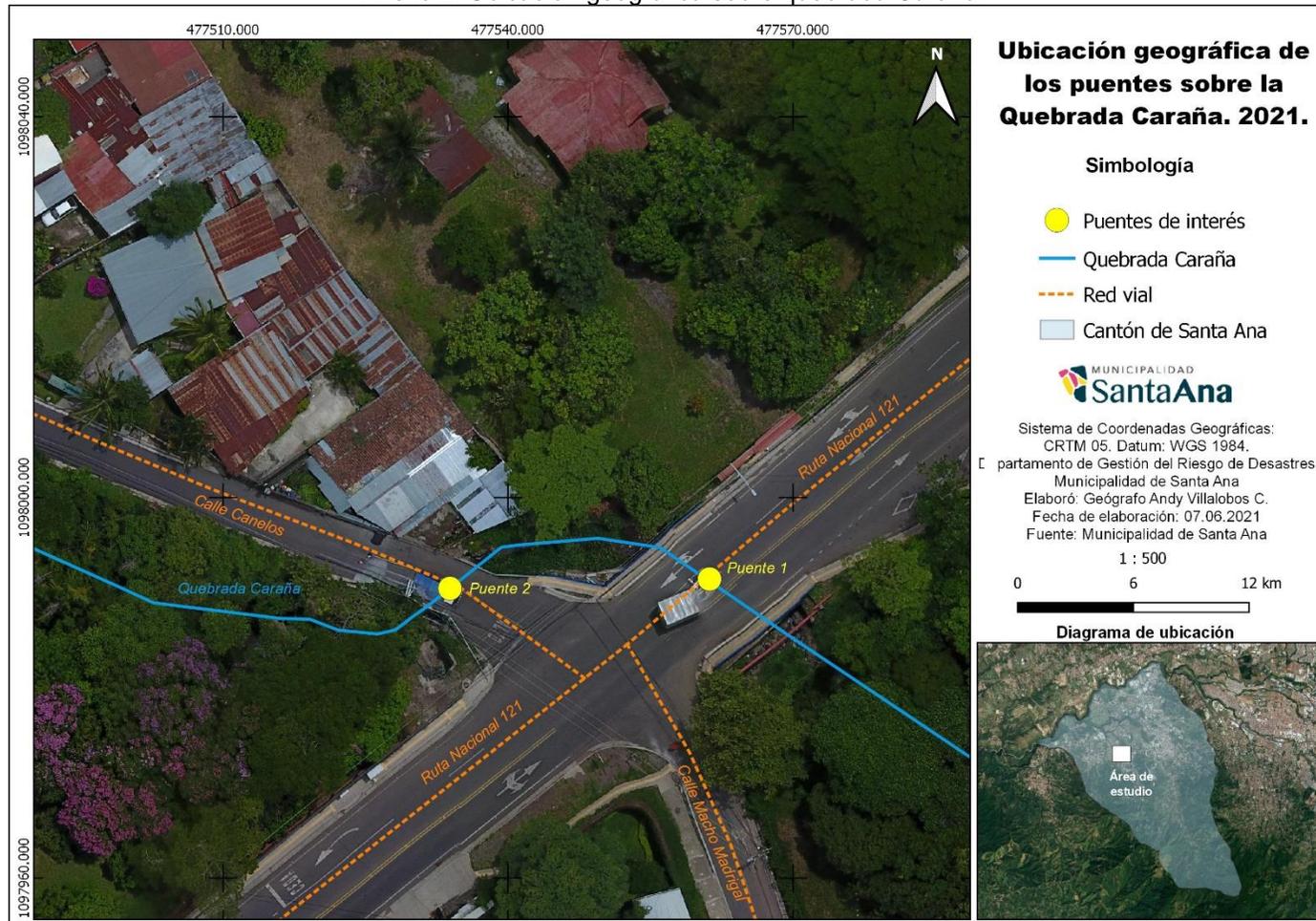
Ubicación geográfica de los puentes sobre las quebradas analizadas

Anexo 1. Ubicación geográfica sobre quebrada Azul



Fuente: Municipalidad de Santa Ana, Geog. Andy Villalobos

Anexo 2. Ubicación geográfica sobre quebrada Caraña



Fuente: Municipalidad de Santa Ana, Geog. Andy Villalobos

Fotografías de la Quebrada Azul

Anexo 3. Fotografía del puente sobre quebrada azul en ruta 121



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Fotografía del puente sobre quebrada Azul en ruta 121



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Fotografía del puente aguas abajo sobre quebrada Azul en ruta 121.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Fotografía aérea del puente sobre quebrada azul en ruta 121



Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana

Anexo 7. Fotografía aérea del puente sobre quebrada azul en ruta 121.



Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana

Anexo 8. Fotografía aérea del puente sobre quebrada Azul en calle Ross



Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana

Anexo 9. Fotografía aérea del puente sobre quebrada Azul en calle Ross



Revisión y análisis integral y eficiencia hidráulica de dos puentes sobre la ruta 121 con gestión del riesgo de desastre

Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana.
Fotografías de la Quebrada Caraña

Anexo 10. Fotografía del puente aguas arriba sobre quebrada Caraña en ruta 121



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Fotografía del puente aguas abajo sobre quebrada Caraña, en ruta 121



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Fotografía de la quebrada aguas arriba del puente en calle Canelos, junto al super la Bendición



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Fotografía del puente aguas abajo sobre quebrada Caraña en Calle Canelos.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Fotografía aérea de los puentes sobre quebrada Caraña en ruta 121 y calle Canelos



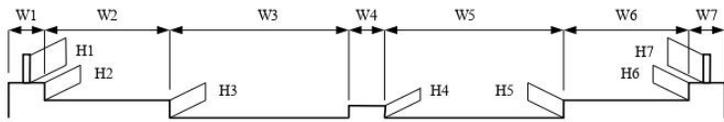
Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana.

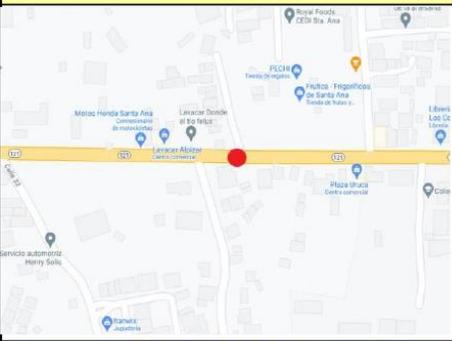
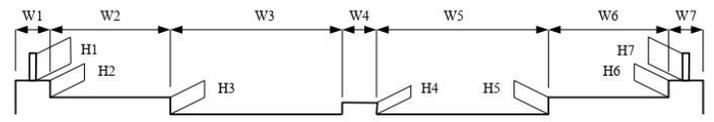
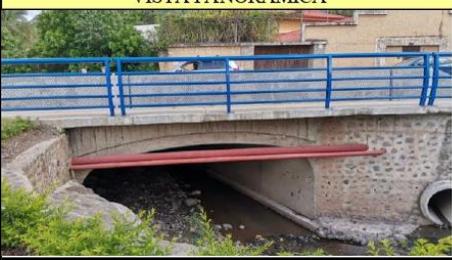
Anexo 15. Fotografía aérea de los puentes sobre quebrada Caraña en ruta 121 y calle Canelos.



Fuente: Fotografía tomada por el Geog. Andy Villalobos, Municipalidad de Santa Ana.

DIRECCION DE PUENTES
INVENTARIO BASICO DE PUENTES

NOMBRE DEL PUENTE	Quebrada Caraña			PROVINCIA	San José	*	ENCARGADO	CONAVI			*	DIA	MES	AÑO				
RUTA N°	2	CLASIFICACION RUTA	Nacional	LOCALIZACION	CANTON	Santa Ana	*	LATITUD NORTE	9	'	55	"	47.35	"	FECHA DE DISEÑO	-	Enero	2017
KILOMETRO	9.360 km			LOCALIZACION	DISTRITO	Piedades	*	LONGITUD OESTE	84	'	12	"	16.78	"	FECHA DE CONSTRUCCION	-	Febrero	2020
ELEMENTOS BASICOS				DIMENSIONES							UBICACION							
DIRECCION DE LA VIA HACIA	Plaza Paraiso			ANCHO TOTAL	13.963 m			CALZADA	9.550 m									
TIPO DE ESTRUCTURA	Puente			ITEMS	1	2	3	4	5	6	7							
CARGA VIVA	HL - 93			W(m)	0.900	1.300	3.150	0.100	6.300	1.400	0.000							
LONGITUD TOTAL	5.39 m			H(m)	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.150							
ESPECIFICACION	AASHTO																	
No. DE SUPER ESTRUCTURA	1			CLARO LIBRE														
No. DE TRAMOS	1			ALTURA LIBRE SUPERIOR 1.5 m ALTURA LIBRE INFERIOR 1.1 m WAPROX 12.2 m														
No. DE SUB ESTRUCTURA	1			ANTECEDENTES DE INSPECCION														
LONGITUD DE DESVIO	1.31 km			DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION				
PENDIENTE LONGITUDINAL	0 %			DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION				
FECHA DE ULT. PINTURA	DESCONOCIDO			DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION				
SERVICIOS PUBLICOS	1	-	3	-	DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION			
	2	-	4	-	DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION			
CRUZA SOBRE	1	Quebrada Caraña		DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION				
	2			DIA							MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION				
PAVIMENTO	TIPO	Asfalto		ANTECEDENTES DE REHABILITACION														
	ESPESOR ORIGINAL SOBRECAPA	190 mm	mm	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
CONTEO DE TRAFICO	AÑO	2015	Year	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
	TOTAL DE VEHICULOS	13 095	Car	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
	% DE VEHICULOS PESADOS	9.26	%	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
RESTRICCIONES	POR CARGA	-	t	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
	POR ALTURA	-	m	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
	POR ANCHO	9.6	m	DIA							MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS				
OBSERVACIONES																		
Se presenta una gran cantidad de material debajo del puente, el cual puede afectar el libre tránsito del flujo del cauce.																		

NOMBRE DEL PUENTE	Quebrada Azul			LOCALIZACIÓN	PROVINCIA	San José *	ENCARGADO	CONAVI *				DIA	MES	AÑO						
RUTA N°	2	CLASIFICACION RUTA	Nacional *	LOCALIZACIÓN	CANTON	Santa Ana *	LATITUD NORTE	9 ' 56 "	0.67 "	FECHA DE DISEÑO	-	Enero	2017							
KILOMETRO	8.000 km				DISTRITO	Uruca *	LONGITUD OESTE	84 ' 11 "	38.47 "	FECHA DE CONSTRUCCION	-	Febrero	2020							
ELEMENTOS BASICOS					DIMENSIONES						UBICACION									
DIRECCION DE LA VIA HACIA	Iglesia Rio Oro			ANCHO TOTAL	13.963 m			CALZADA	6.140 m											
TIPO DE ESTRUCTURA	Puente			ITEMS	1	2	3	4	5	6	7									
CARGA VIVA	HL - 93			W(m)	0.000	1.450	3.020	0.100	3.020	1.450	0.000									
LONGITUD TOTAL	6.33 m			H(m)	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.150									
ESPECIFICACION	AASHTO																			
No. DE SUPER ESTRUCTURA	1			<p style="text-align: center;">CLARO LIBRE</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>ALTURA LIBRE SUPERIOR</td> <td>2 m</td> <td rowspan="2">WAPROX</td> <td rowspan="2">9.0 m</td> </tr> <tr> <td>ALTURA LIBRE INFERIOR</td> <td>1.65 m</td> </tr> </table>											ALTURA LIBRE SUPERIOR	2 m	WAPROX	9.0 m	ALTURA LIBRE INFERIOR	1.65 m
ALTURA LIBRE SUPERIOR	2 m	WAPROX	9.0 m																	
ALTURA LIBRE INFERIOR	1.65 m																			
No. DE TRAMOS	1																			
No. DE SUB ESTRUCTURA	1																			
LONGITUD DE DESVIO	0.74 km																			
PENDIENTE LONGITUDINAL	0 %																			
FECHA DE ULT. PINTURA	DIA	MES	AÑO	ANTECEDENTES DE INSPECCION																
SERVICIOS PUBLICOS	1	-	3	-	DIA	MES	AÑO	INSPECTOR	TIPO DE INSPECCION											
	2	-	4	-											*					
CRUZA SOBRE	1	Quebrada Azul																		
	2																			
PAVIMENTO	TIPO	Asfalto		ANTECEDENTES DE REHABILITACION																
	ESPESOR ORIGINAL SOBRECAPA	190 mm	- mm	DIA	MES	AÑO	ELEMENTOS	RESUMEN DE CONTRAMEDIDAS												
CONTEO DE TRAFICO	AÑO	2015	Year																	
	TOTAL DE VEHICULOS PESADOS	13 095	Car																	
RESTRICCIONES	POR CARGA	-	t																	
	POR ALTURA	-	m																	
	POR ANCHO	6.1	m																	
VISTA PANORAMICA																				
OBSERVACIONES														<p>Se presenta una gran cantidad de material debajo del puente, el cual puede afectar el libre tránsito del flujo del cauce. La placa de fundación especificada en planos estructurales no se construyó en el sitio.</p>						

Fotografías de las entrevistas realizadas

Anexo 16. Entrevista realizada en la comunidad en calle Ross



Fuente: Elaboración propia

Anexo 17. Entrevista realizada en la comunidad de calle Ross.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 18. Entrevista realizada en la comunidad de calle Ross



Fuente: Elaboración propia

Anexo 19. Entrevista realizada en la comunidad de calle Ross.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20. Entrevista realizada en la comunidad de calle Ross.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 21. Entrevista realizada en el vivero en ruta 121.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22. Entrevista realizada en la verdulería en ruta 121.



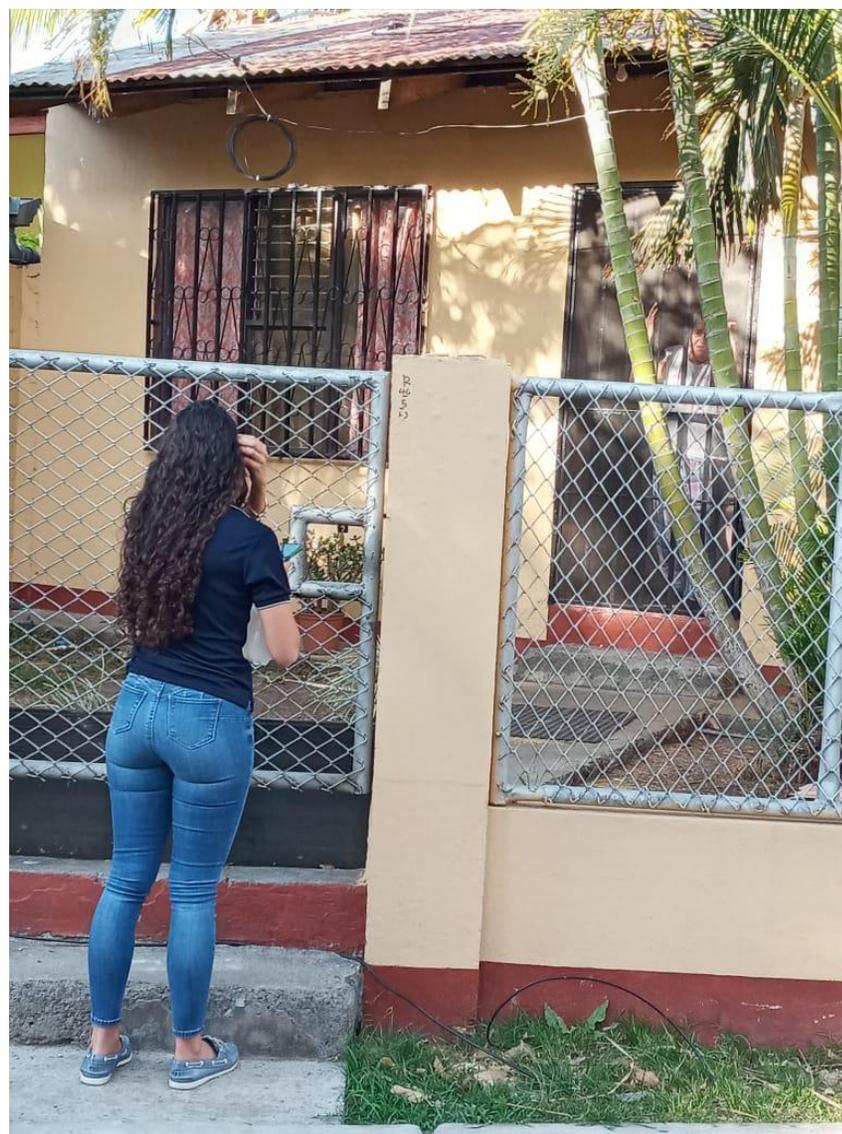
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 23. Entrevista realizada en la comunidad de calle Canelos.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 24. Entrevista realizada en la comunidad de calle Canelos.



Fuente: Elaboración propia.



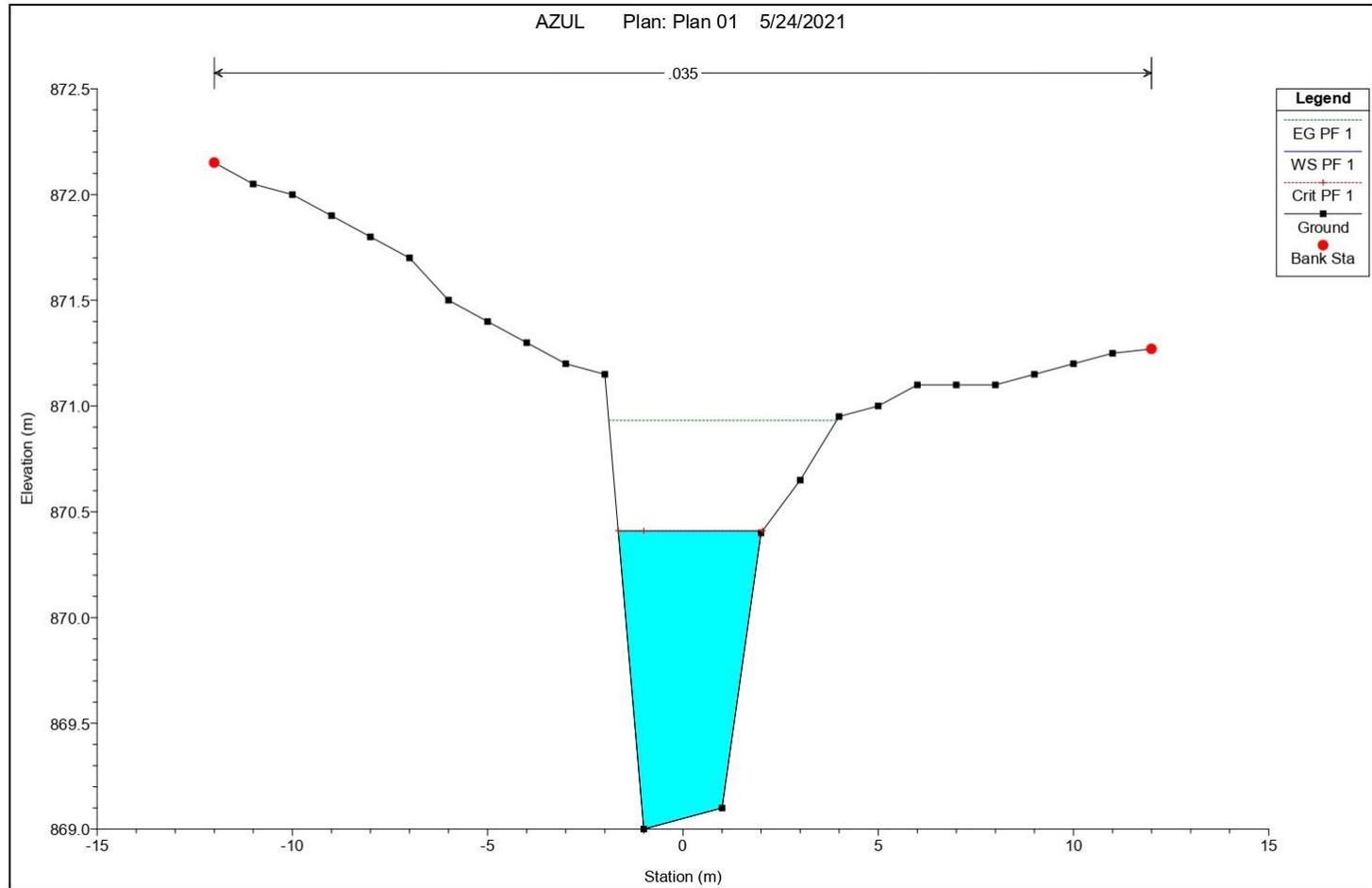
25.

Entrevista realizada en el abastecedor La Bendición en calle Canelos.

Fuente: Elaboración propia.

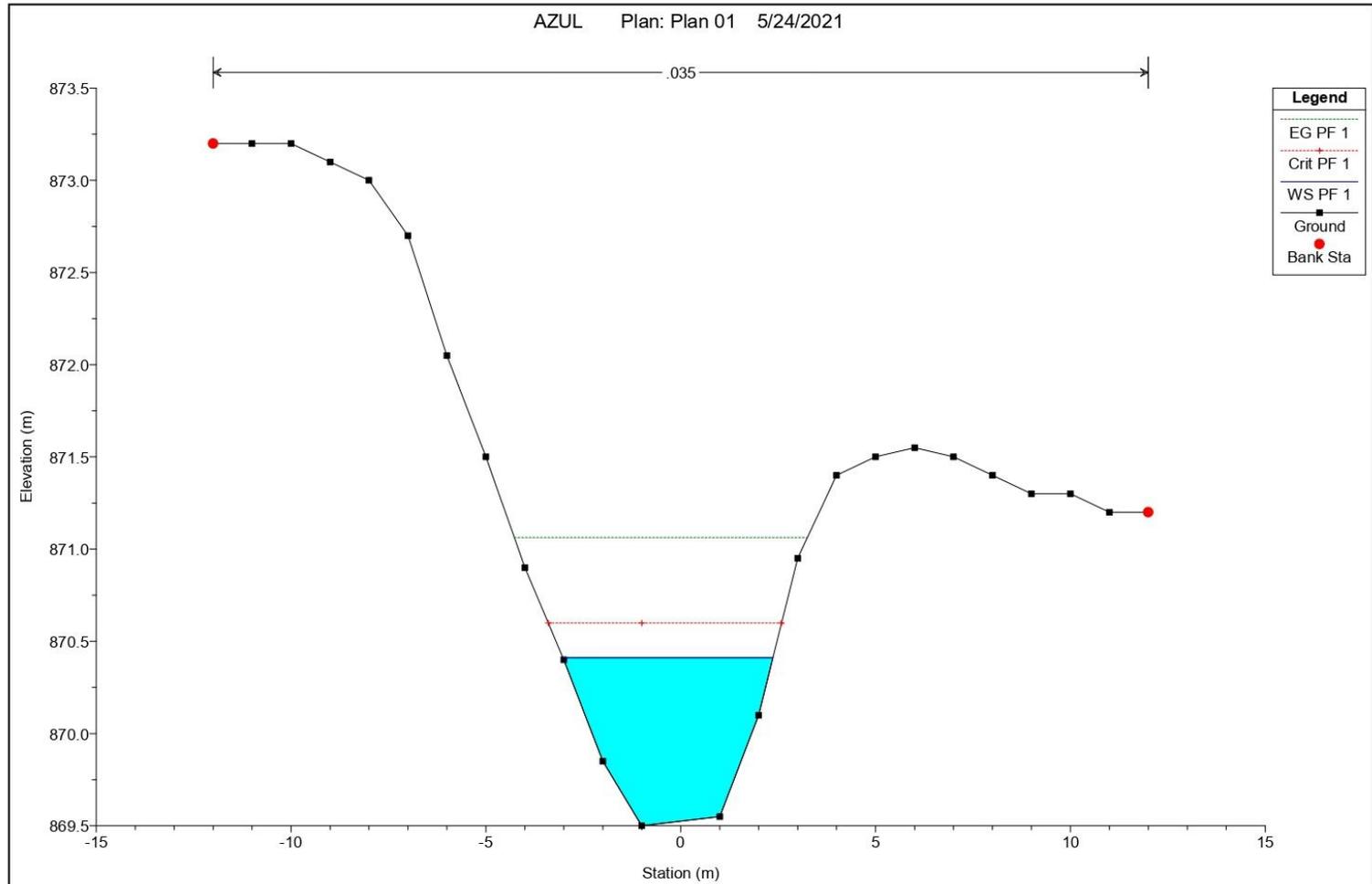
Resultados de simulaciones de la Quebrada Azul

Anexo 26. Resultados hidráulicos de la sección transversal 1.



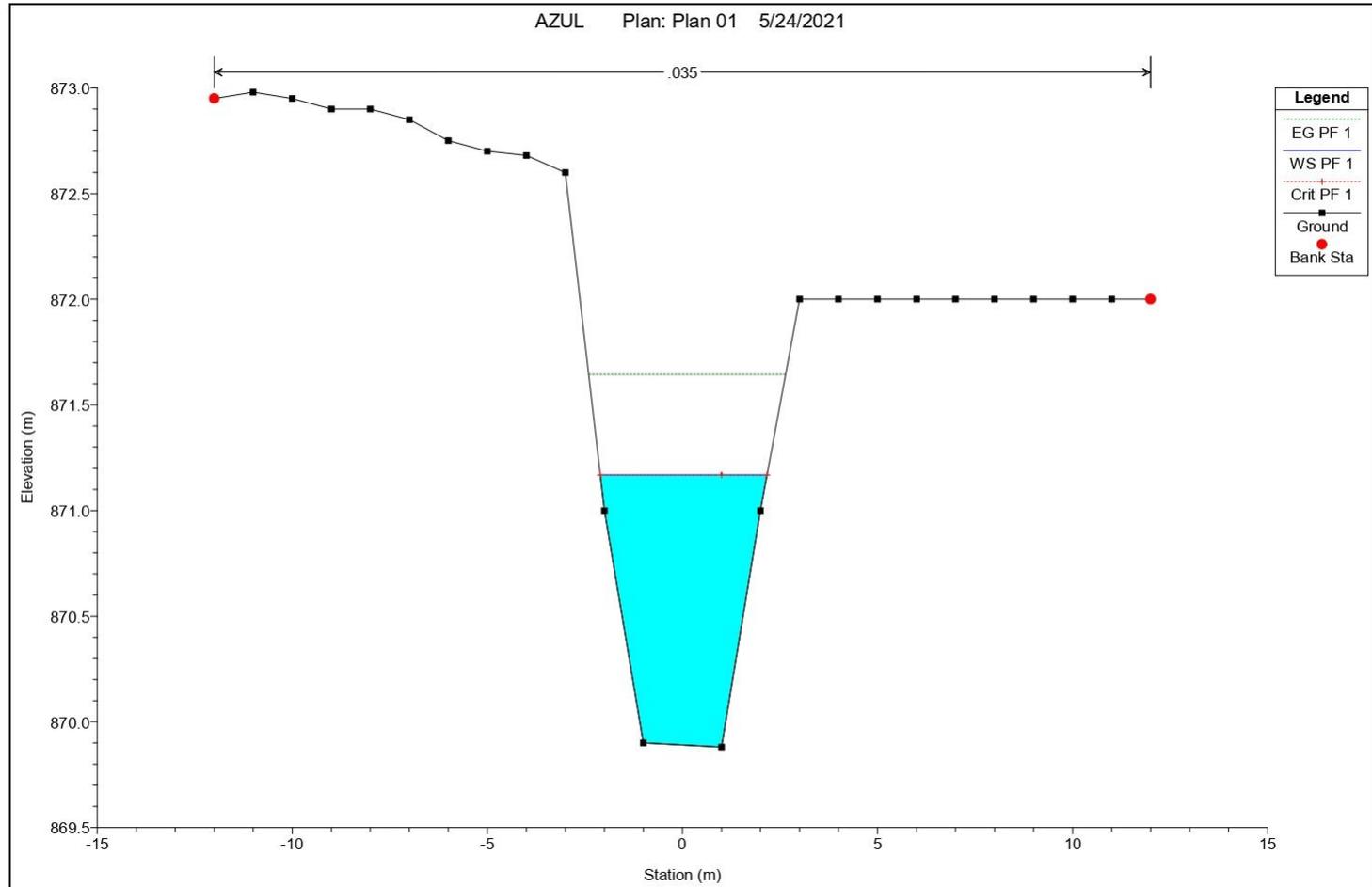
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 27. Resultados hidráulicos de la sección transversal 2.



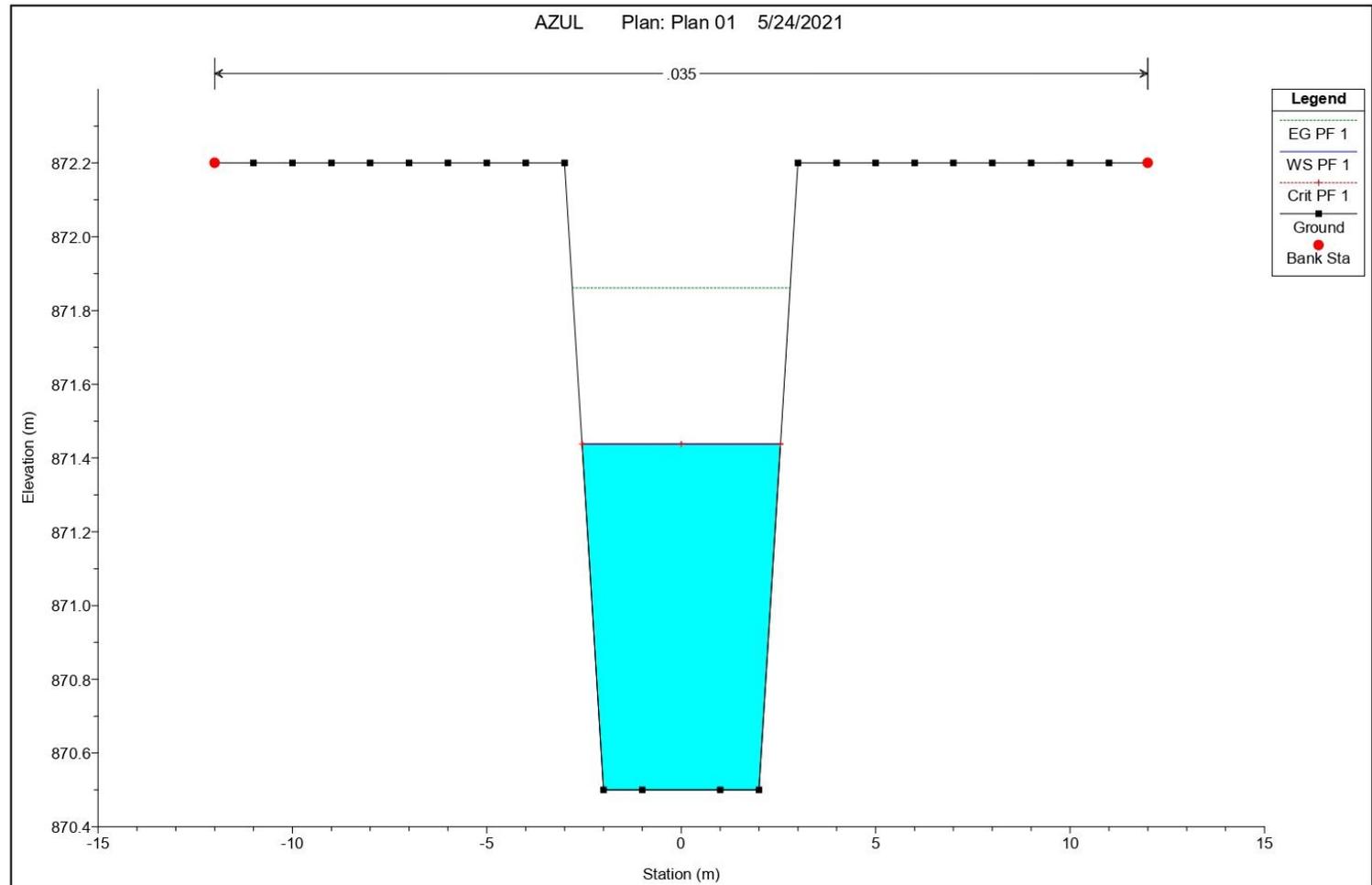
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 28. Resultados hidráulicos de la sección transversal 3.



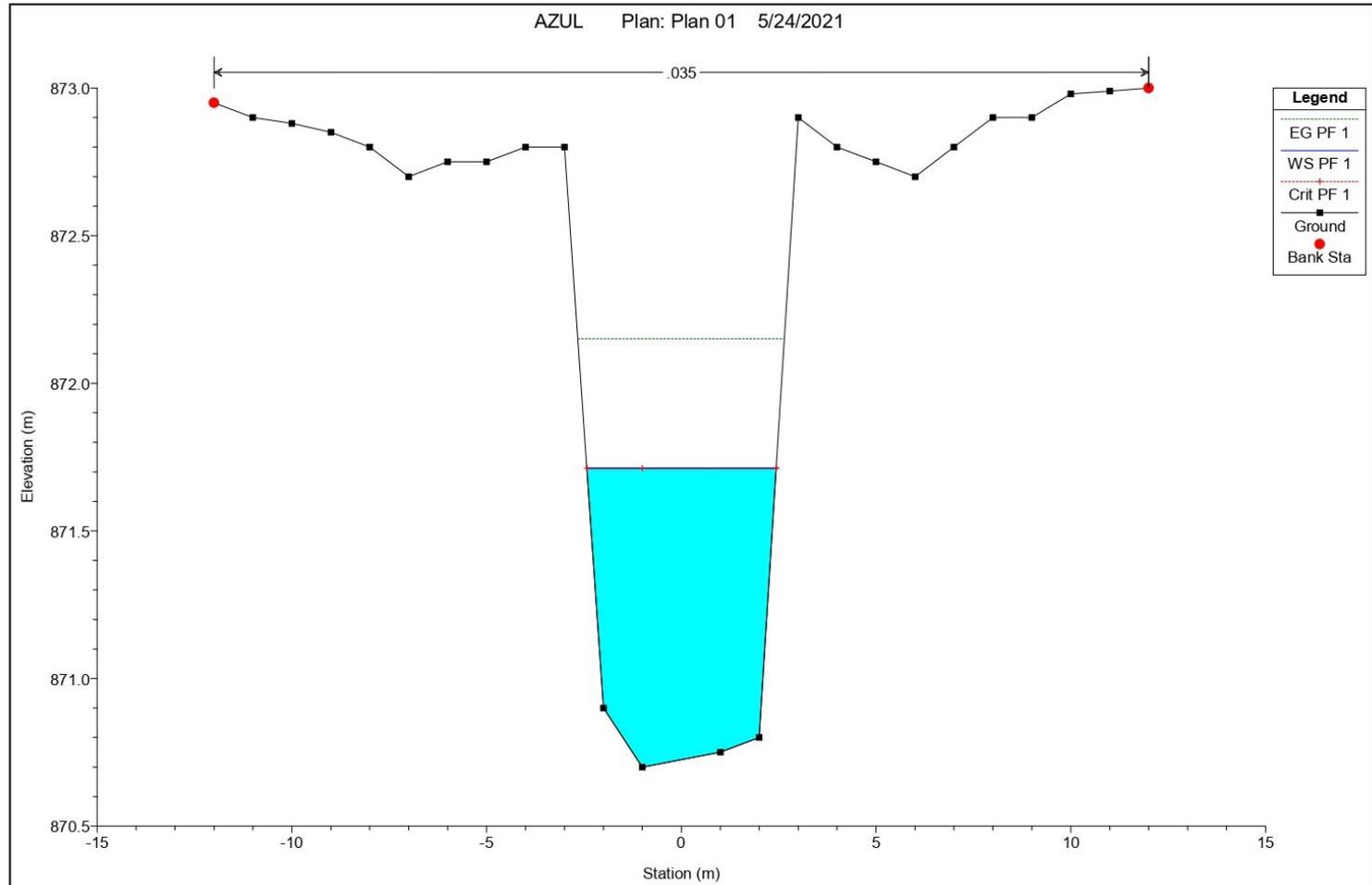
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 29. Resultados hidráulicos de la sección transversal 4.



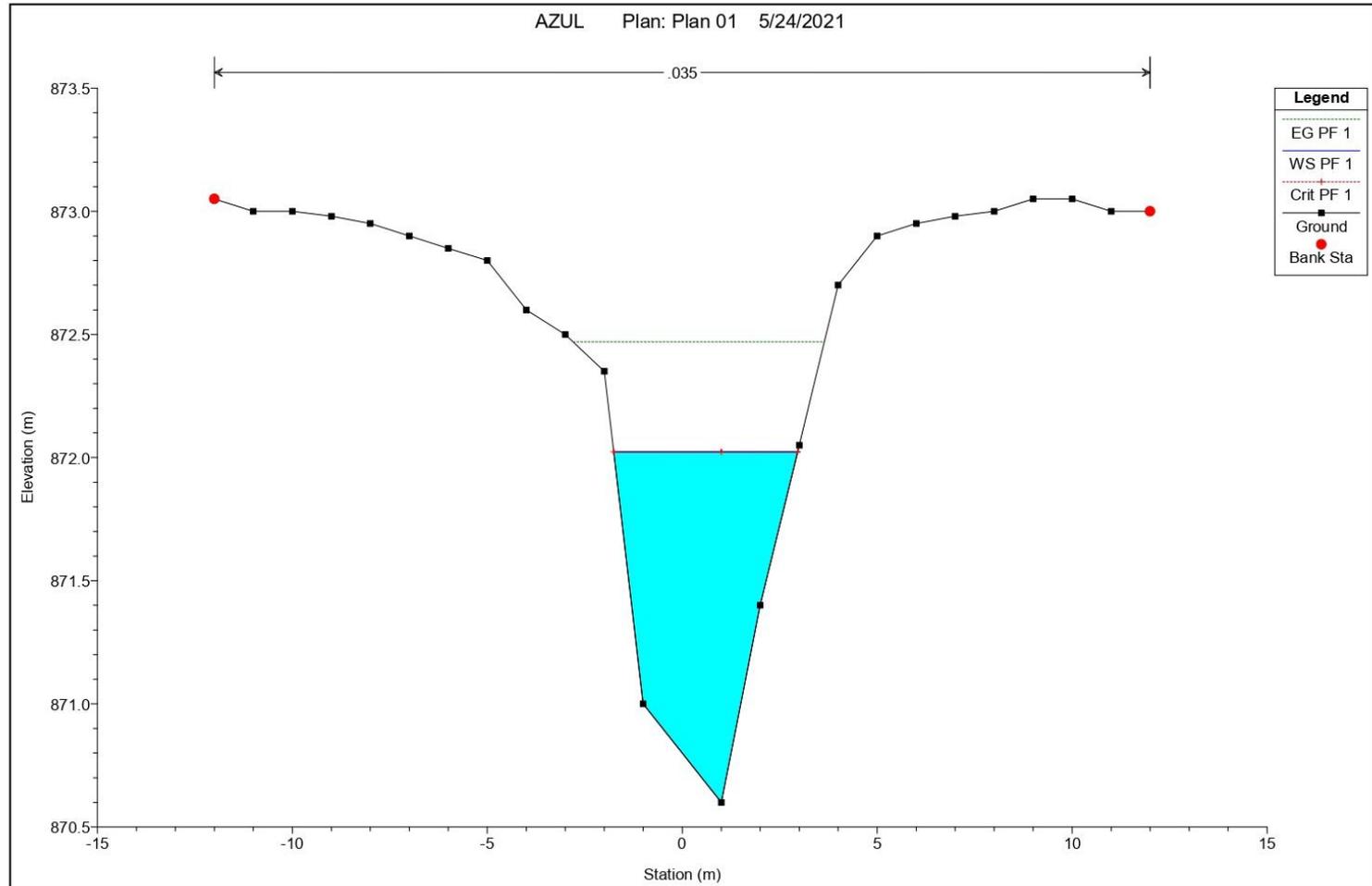
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 30. Resultados hidráulicos de la sección transversal 5



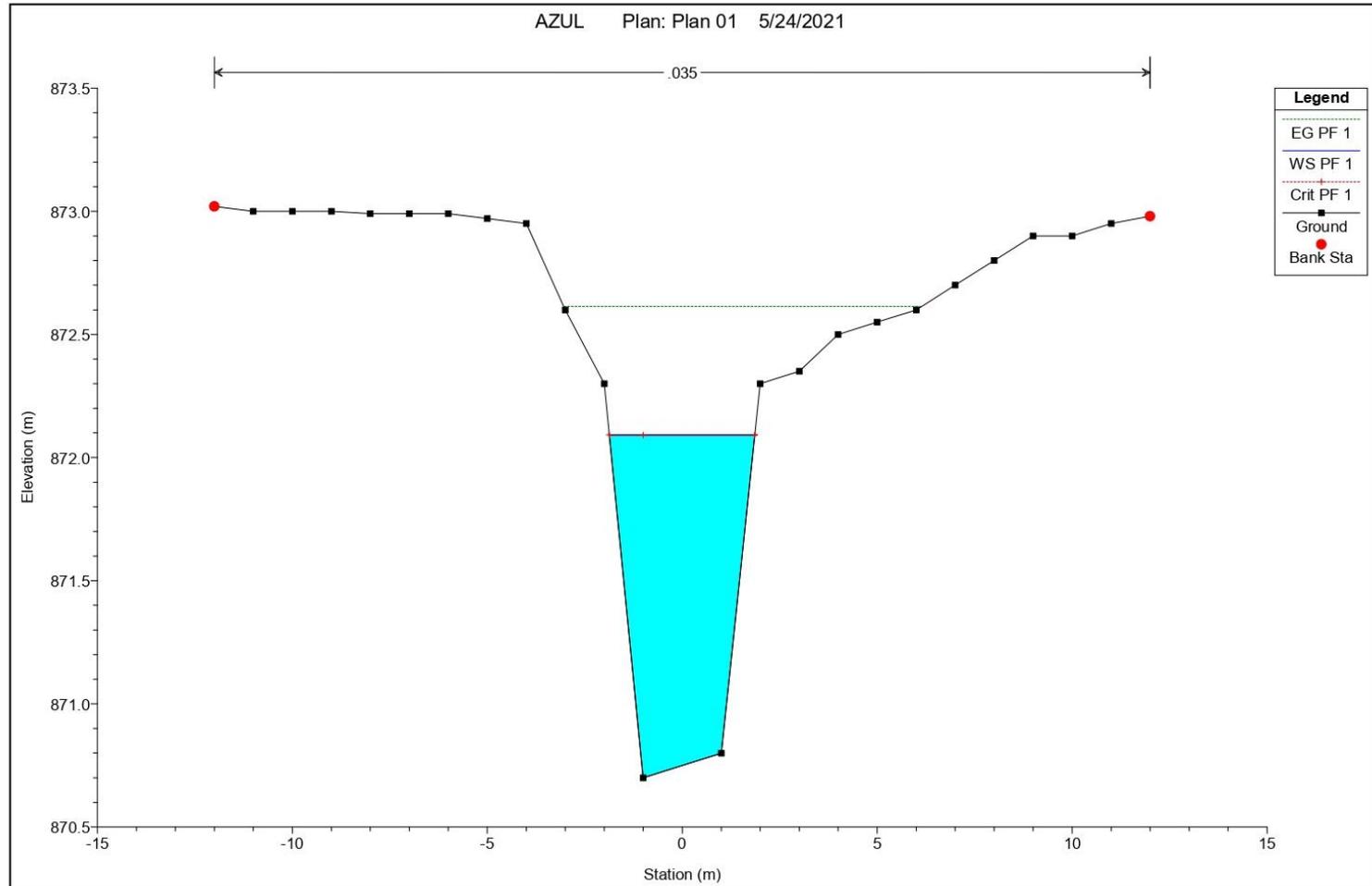
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 31. Resultados hidráulicos de la sección transversal 6.



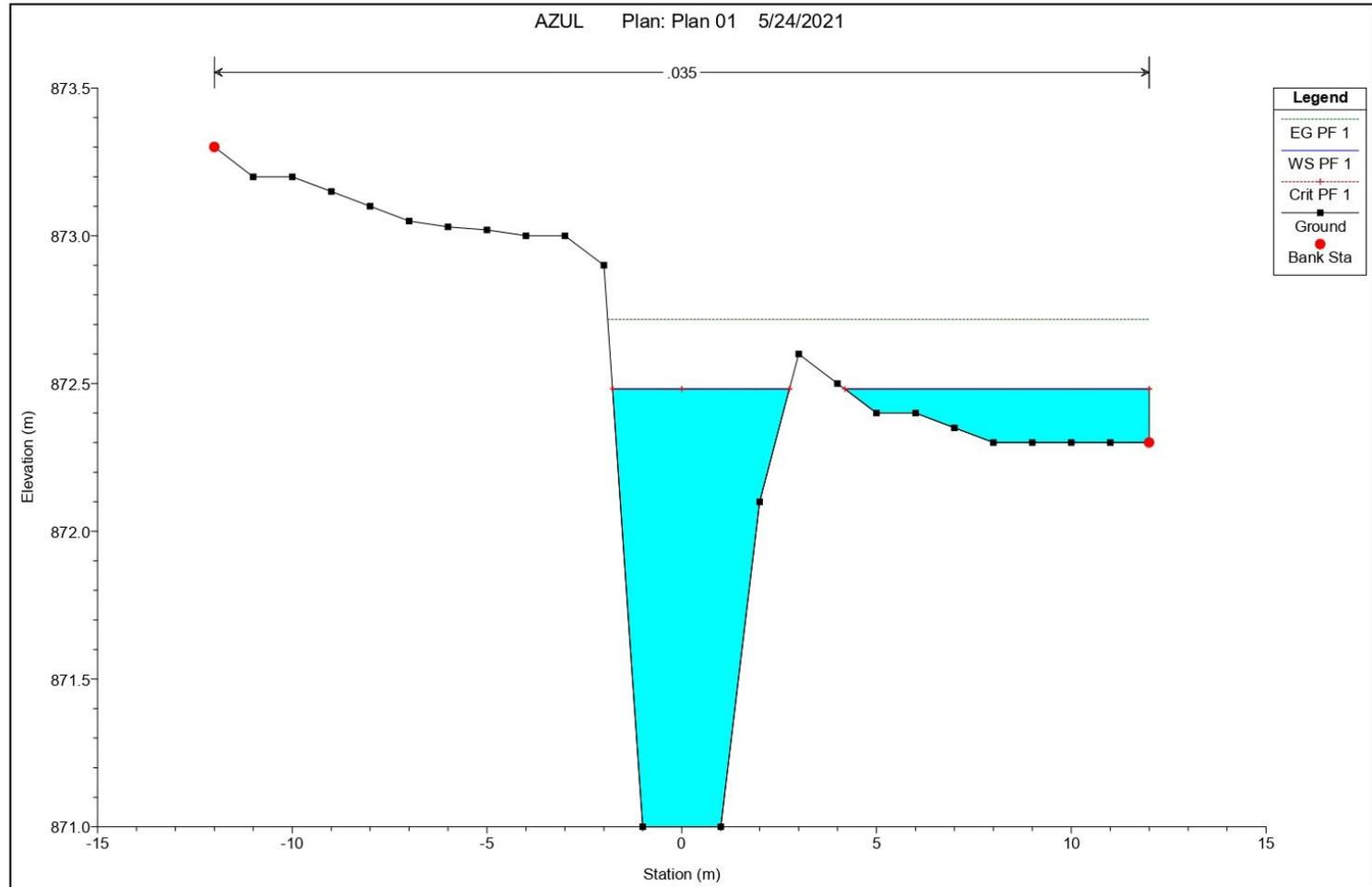
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 32. Resultados hidráulicos de la sección transversal 7



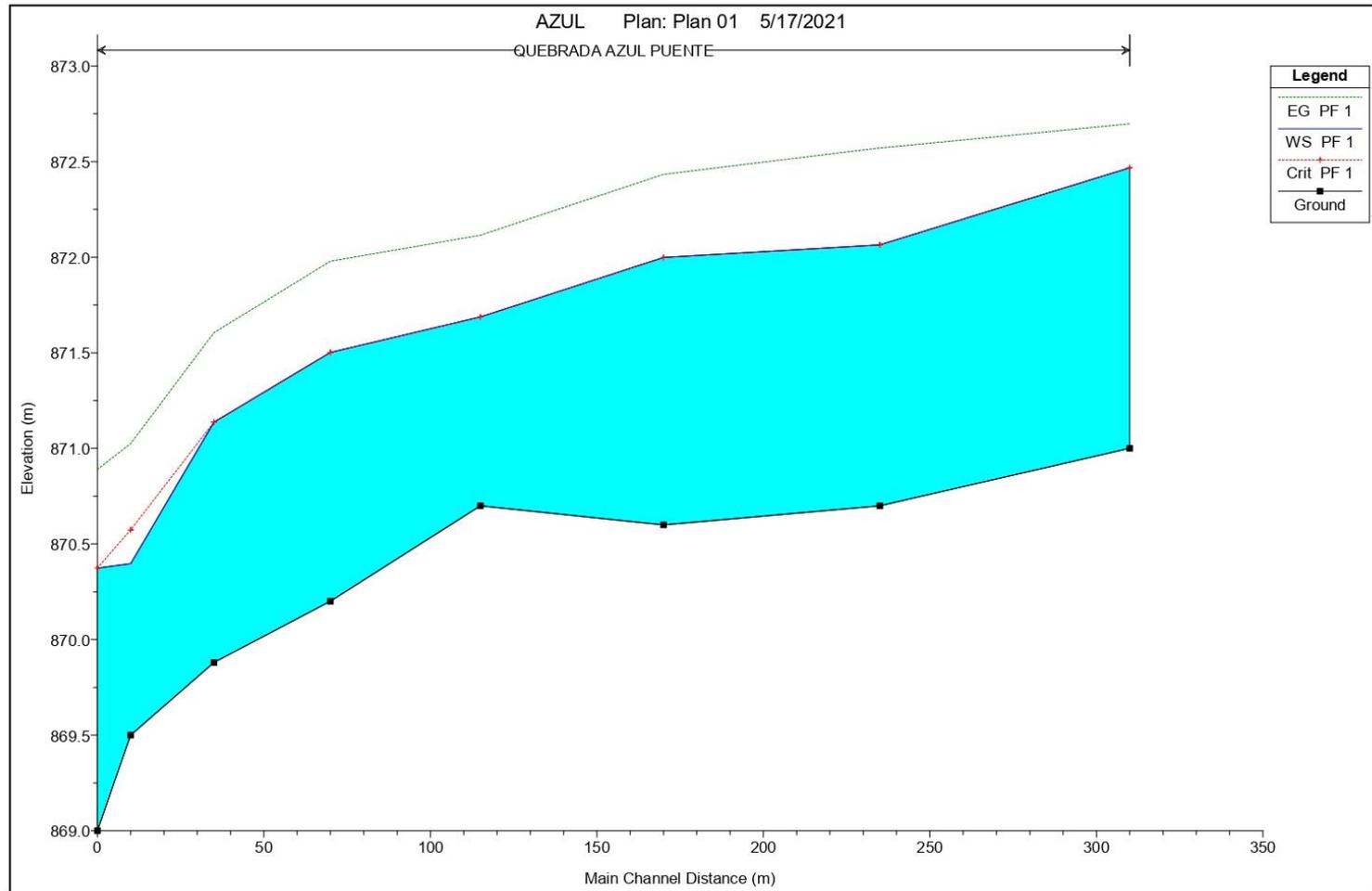
Fuente: *Software* HEC RAS

Anexo 33. Resultados hidráulicos de la sección transversal 8



Fuente: Software HEC RAS

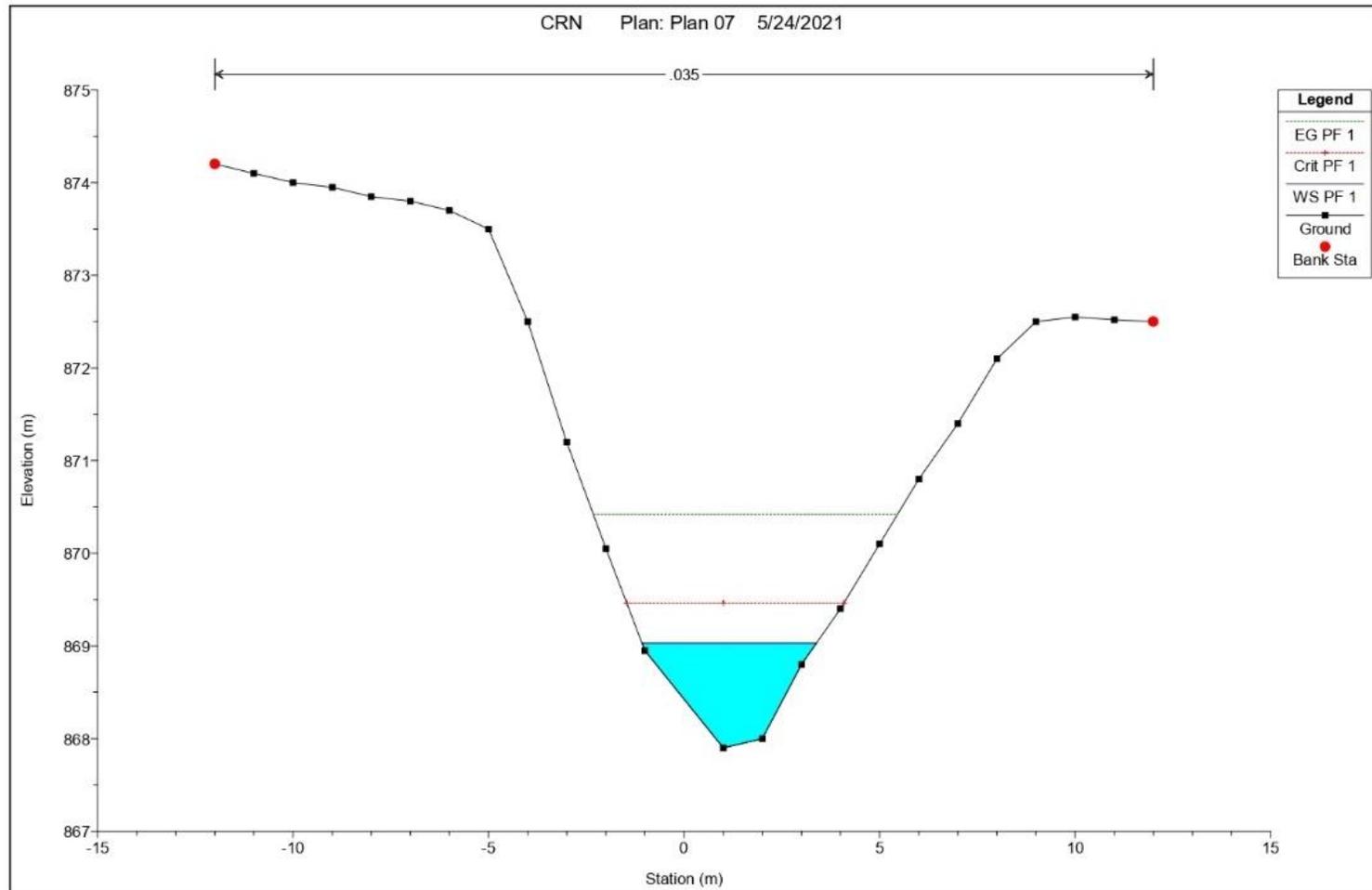
Anexo 34. Resultados hidráulicos del perfil de la quebrada Azul



Fuente: Software HEC RAS

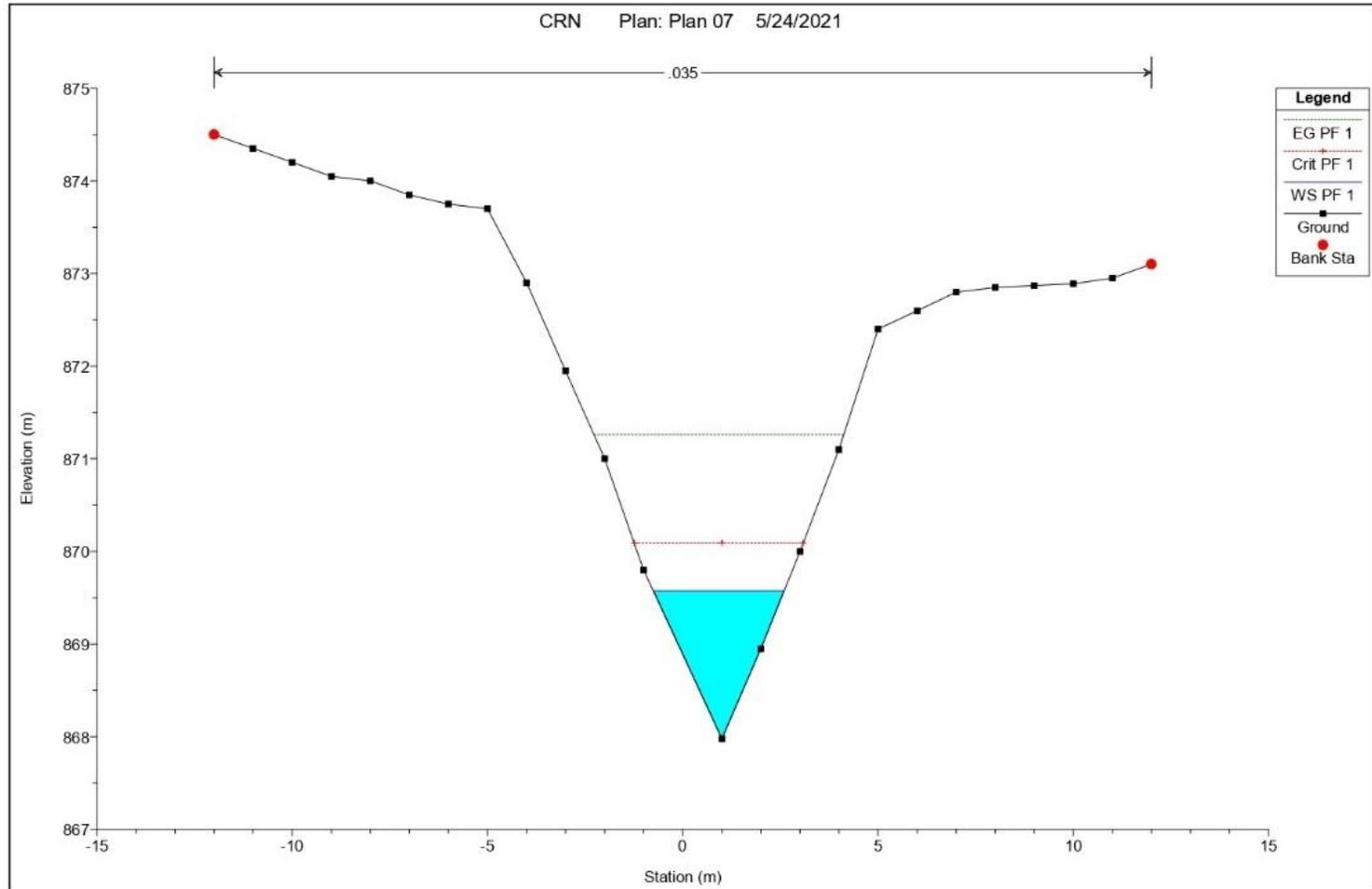
Resultados de la simulación de la Quebrada Caraña

Anexo 35. Resultados hidráulicos de la sección transversal 1.



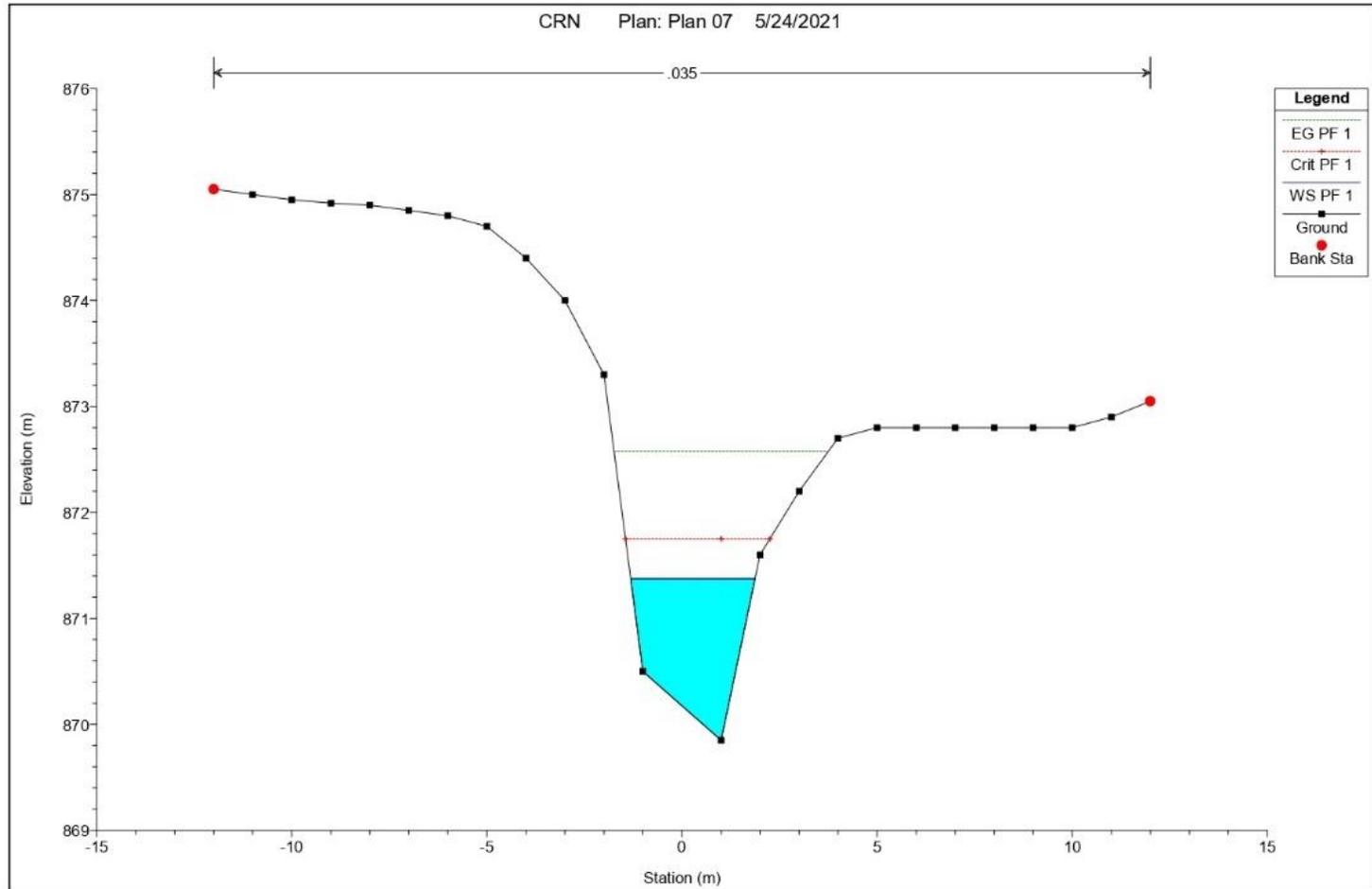
Fuente: HEC RAS

Anexo 36. Resultados hidráulicos de la sección transversal 2.



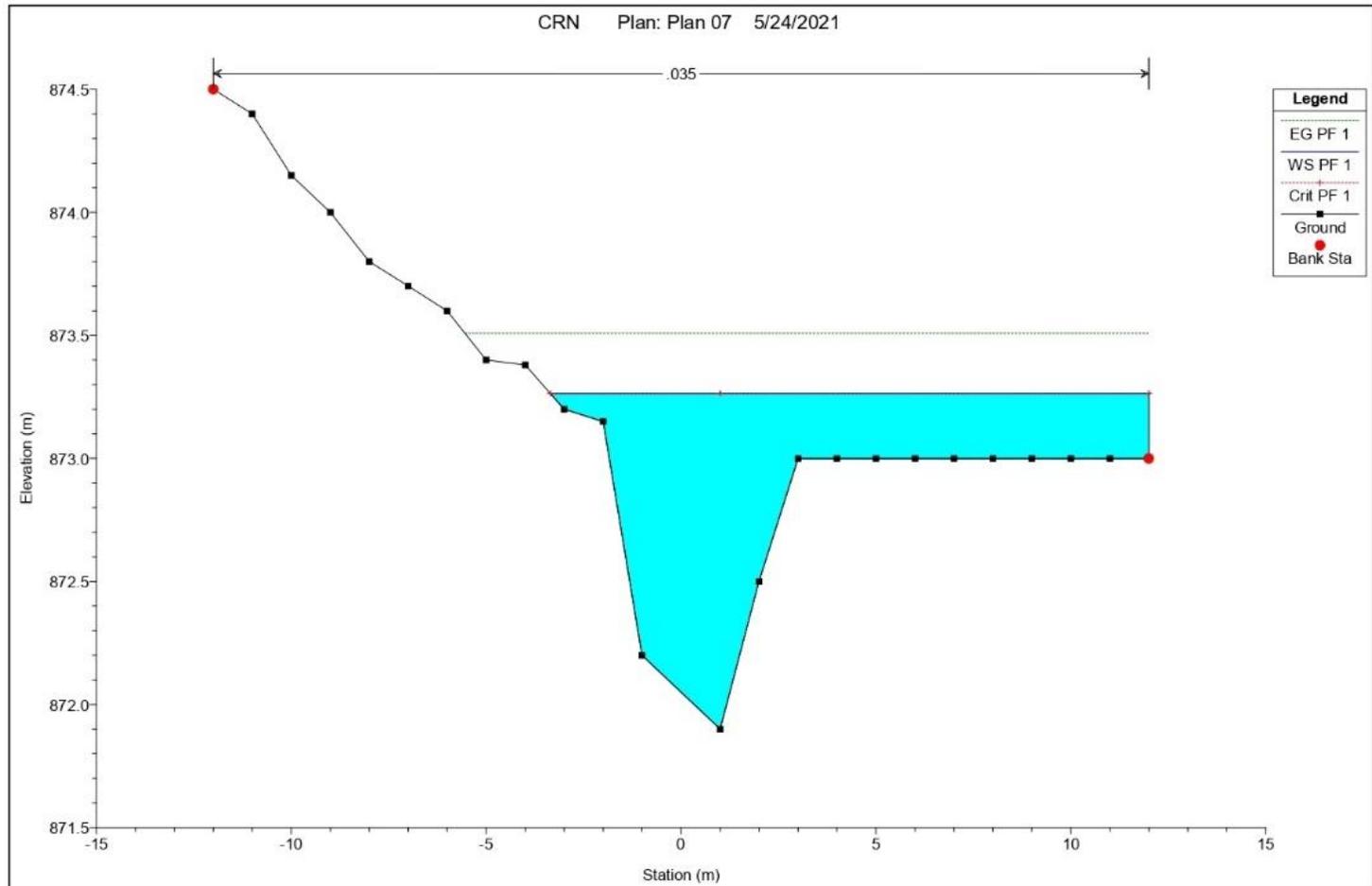
Fuente: *Software* HEC RAS

Anexo 37. Resultados hidráulicos de la sección transversal 3.



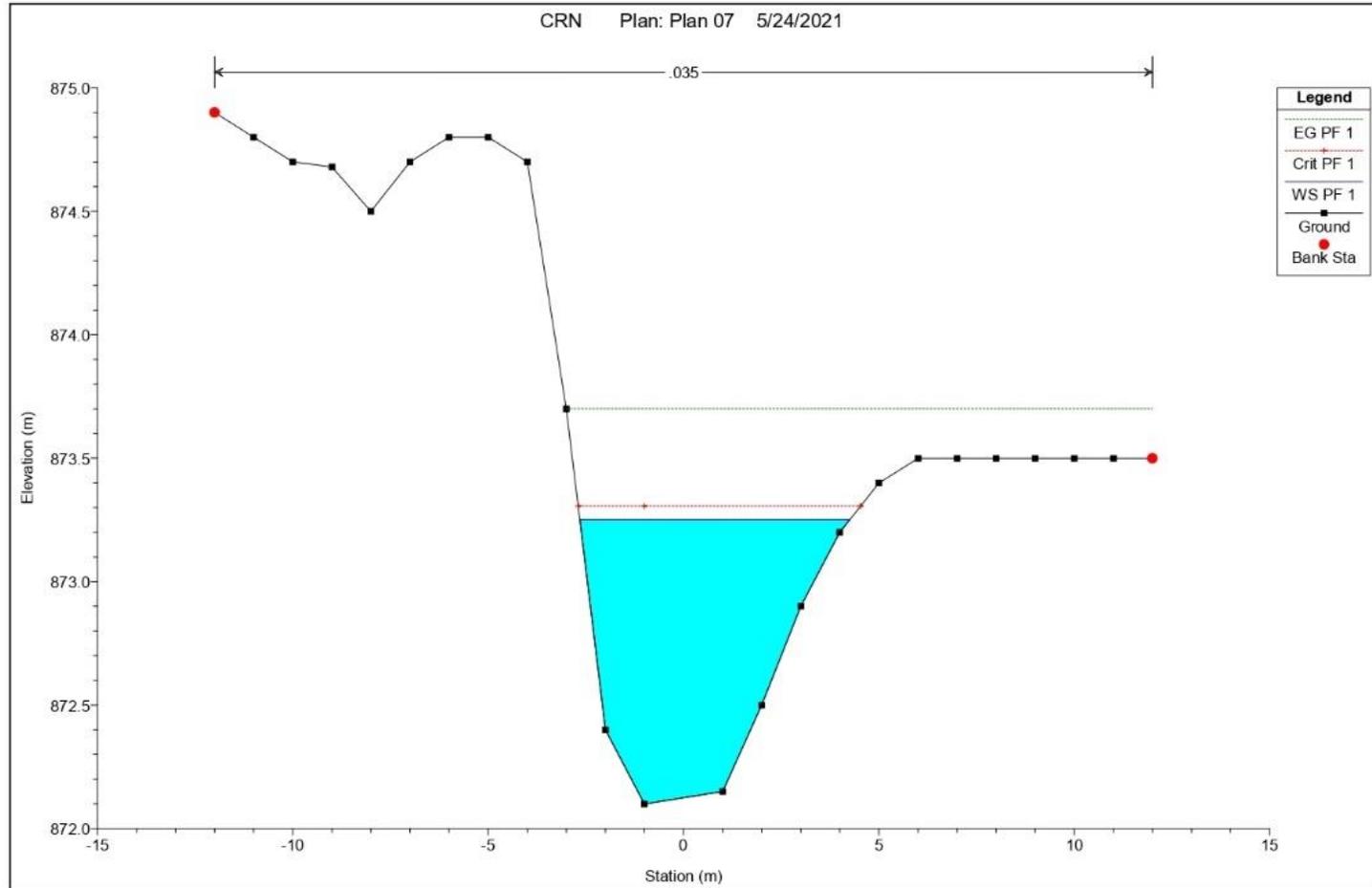
Fuente: HEC RAS

Anexo 39. Resultados hidráulicos de la sección transversal 4



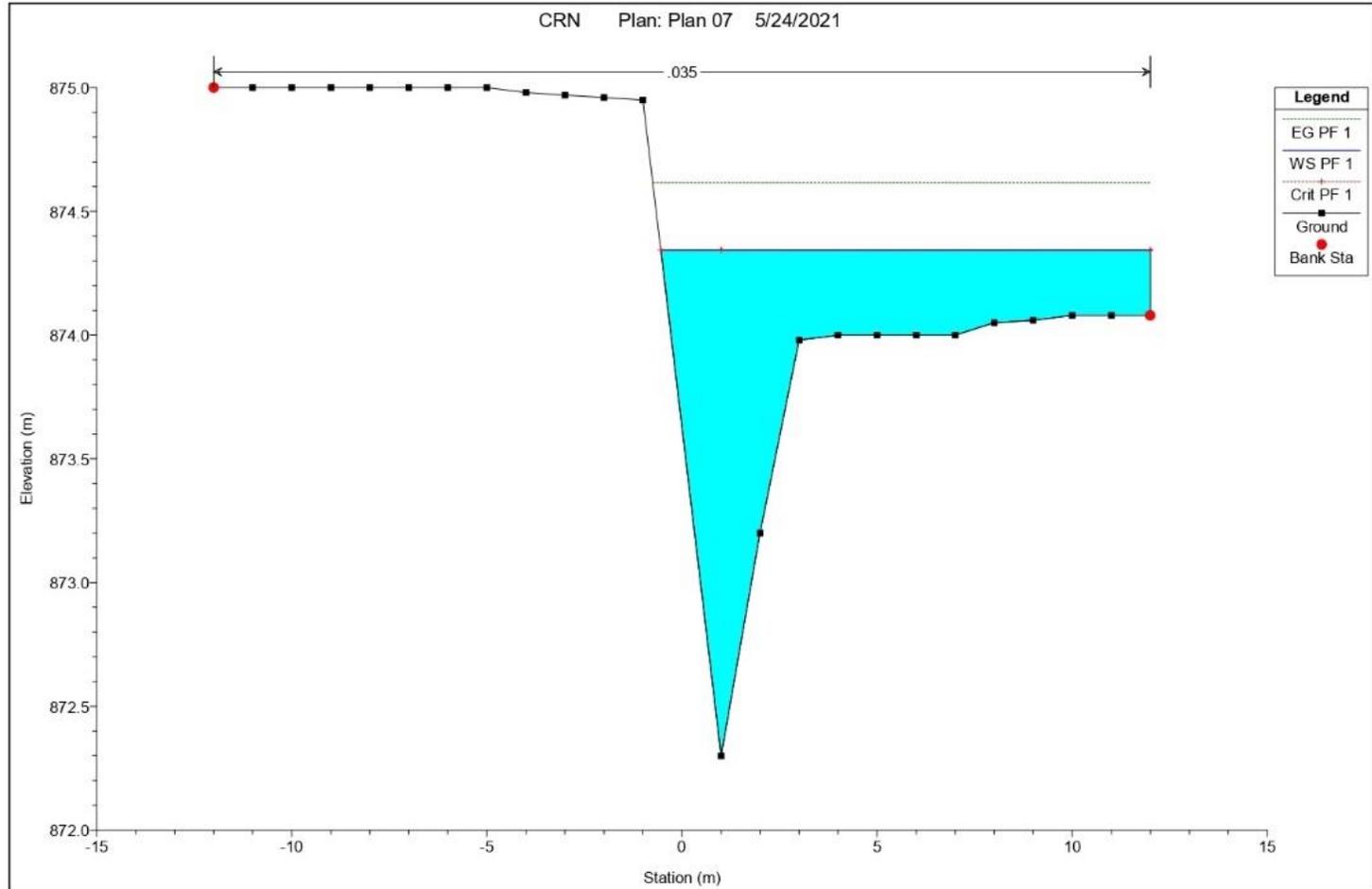
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 40. Resultados hidráulicos de la sección transversal 5



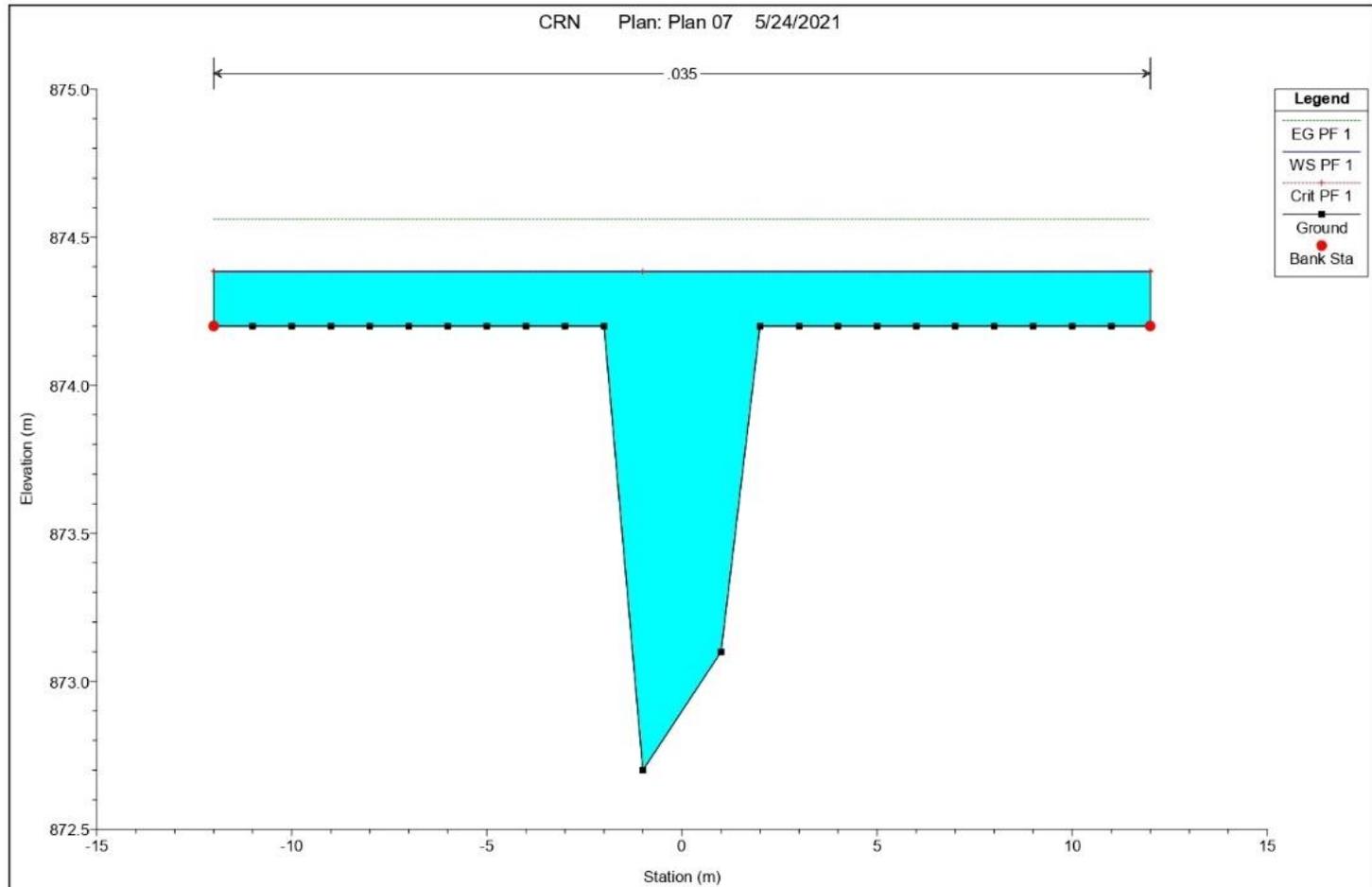
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 41. Resultados hidráulicos de la sección transversal 6



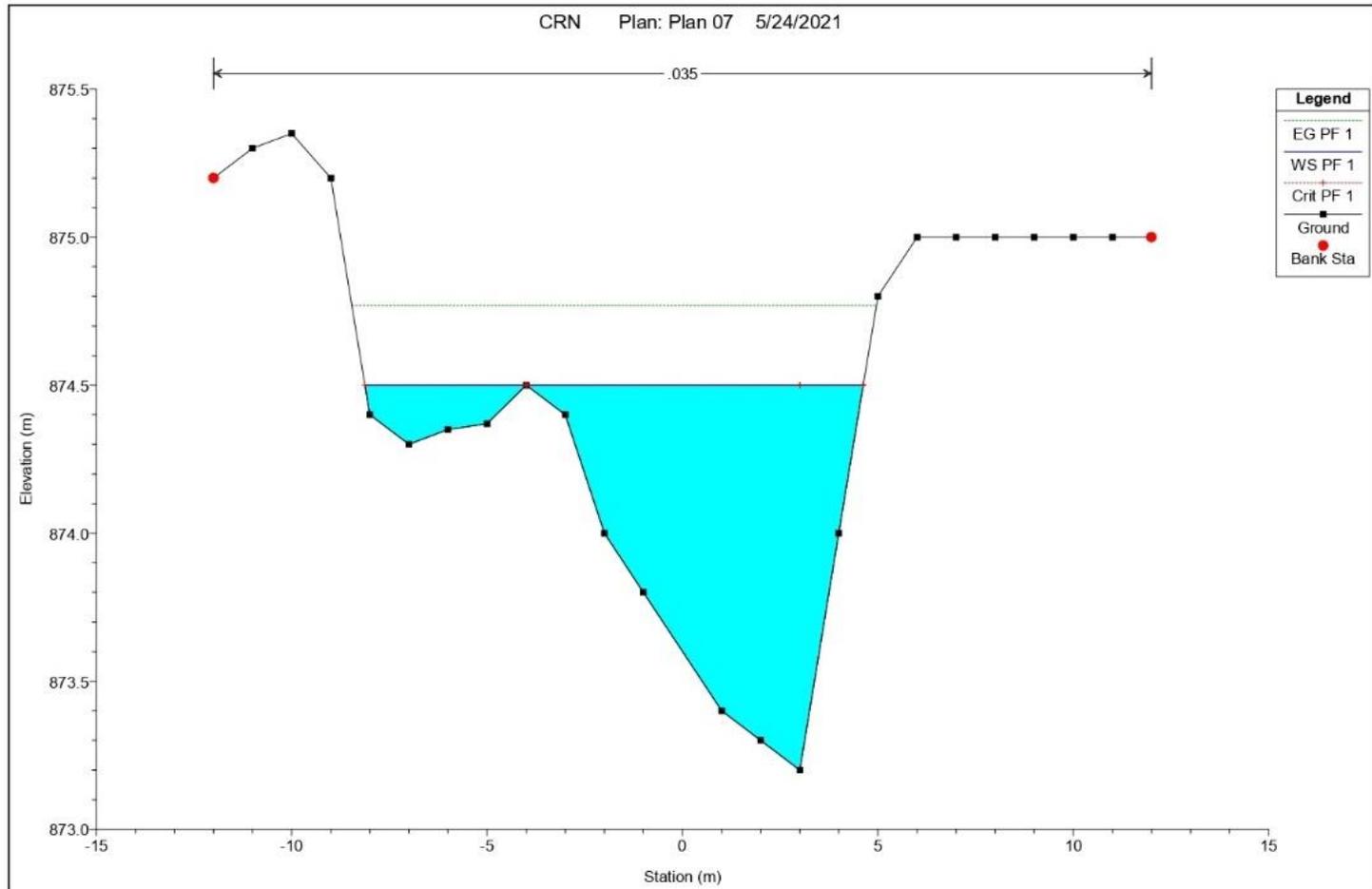
Fuente: *Software* HEC RAS

Anexo 42. Resultados hidráulicos de la sección transversal 7



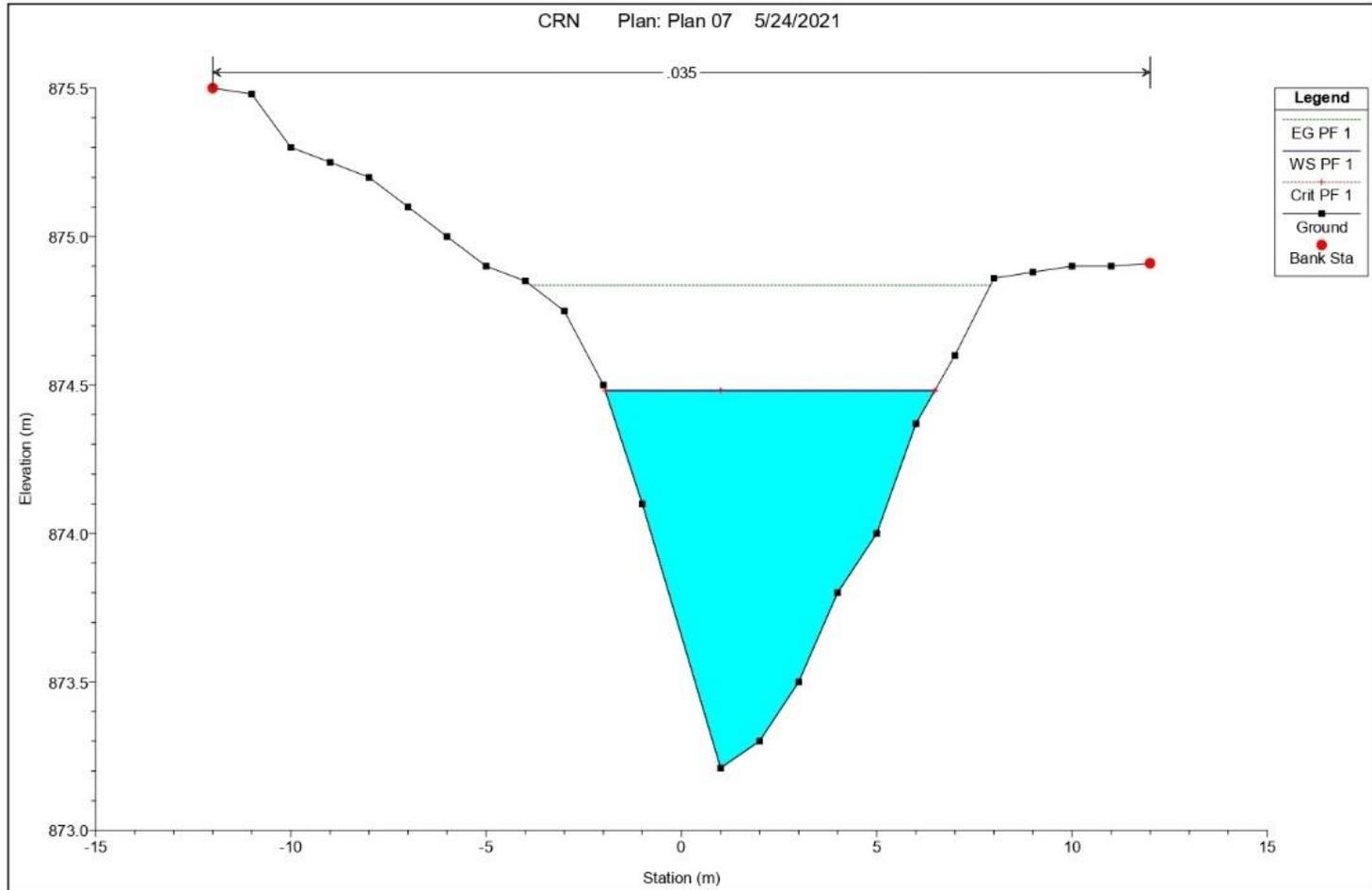
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 43. Resultados hidráulicos de la sección transversal 8



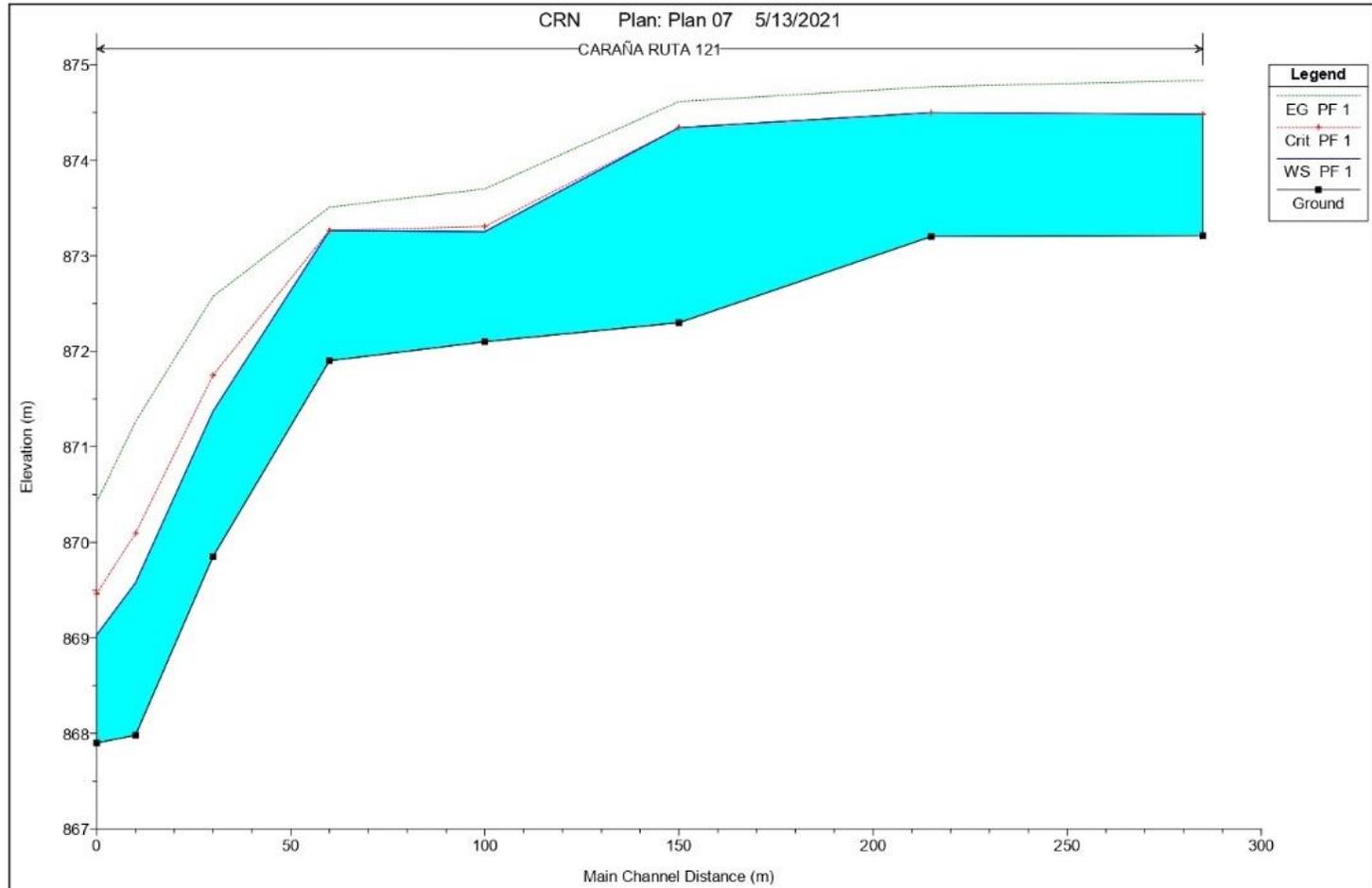
Fuente: Software HEC RAS

Anexo 44. Resultados hidráulicos de la sección transversal 9



Fuente: Software HEC RAS

Anexo 45. Resultados hidráulicos del perfil del tramo de la quebrada Caraña



Fuente: Software HEC RAS

Referencias

- municipal del riesgo de desastre con énfasis en prevención, control y regulación territorial.* San José, C.R.: La Comisión, Sistemas Geoespaciales.
- Aquino D. y Hernández R. (2004) *MANUAL DE CONSTRUCCION DE PUENTES DE CONCRETO.* Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil. Recuperado de: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2076/1/Manual_de_construccion_de_puentes_de_concreto.pdf
- Baas S. et al (2009) *Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i0304s/i0304s.pdf>
- Carbón Ingeniería (2019) *Estudio hidrológico e hidráulico quebrada Azul, Santa Ana.* Consultores en Ingeniería. Oficentro Alquimia, La Uruca, San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2010). *Código sísmico de Costa Rica.* Recuperado de: <https://www.codigosismico.or.cr/descargas/CSCR2010.pdf>
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (2015) *Índice de Gestión del Riesgo Municipal.* Dirección de Gestión del Riesgo. Recuperado de: https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/gestion%20municipal/Indice_Gestion_Municipal.pdf
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (2014) *Normas y elementos básicos de gestión*
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (2015) *Política Nacional de Gestión del Riesgo 2016-2030.* San José, C.R.:CNE.
- Fleenor W. y Jensen M. (2003) *Evaluation of numerical models Hec-Ras and DHI-MIKE 11.* Draft submitted to Journal of Hydraulic Engineering. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/320861494_Numerical_Limitations_of_1D_Hydraulic_Models_Using_MIKE11_or_HEC-RAS_software_-_Case_study_of_Baraolt_River_Romania
- Geotecnia & Construcción (2015) *Estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la quebrada Azul en la ruta nacional 121, en Río Oro de Santa Ana, San José.* Ingenieros consultores.
- Geotecnia & Construcción (2015) *Estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de la alcantarilla sobre la quebrada Caraña en la ruta nacional 121, en Piedades de Santa Ana, San José.* Ingenieros consultores.
- Geotectica (2019) *Estudio hidrológico y de amenazas naturales de la microcuenca de la quebrada Azul, Santa Ana, San José.* San Rafael de Heredia, Costa Rica.
- Guzmán I. (2017) *Modelación Hidrodinámica y Morfología del Río La Estrella, Limón.* Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Proyecto de Investigación y extensión. Recuperado de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9154/Modelacion_hidrodinamica_morfologica_rio_la_estrella.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (n.f) *Región Central: dos valles*. Clima en Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costarica>
- Jiménez E. (2017) *Propuesta metodológica para la incorporación de la gestión del riesgo y los preparativos para emergencias, en los proyectos de desarrollo para el turismo rural comunitario en el distrito de Salitral*. Universidad de Costa Rica. Sistema de Estudios de Posgrado. Programa centroamericano en geología.
- Kasper K. et all (2005) *ACCURACY OF HEC-RAS TO CALCULATE FLOW DEPTHS AND TOTAL ENERGY LOSS WITH AND WITHOUT BENDWAY WEIRS EN A MEANDER BEND*. Colorado State University. U.S Department of the Interior. Recuperado de: <https://www.usbr.gov/uc/albug/envdocs/techreports/flowDepthReport/flowDepthMeander.pdf>
- Kiesel C. (2001) *Guía para la Gestión del Riesgo en proyectos de desarrollo de desarrollo rural*. Unidad Regional de Asistencia Técnica. Recuperado de: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/ASH/pdf/spa/doc13774/doc13774.htm>
- Lara A. (2012) *PERCEPCION SOCIAL EN LA GESTION DEL RIESGO DE INUNDACION EN UN AREA MEDITERRANEA (COSTA BRAVA, ESPANA)*. Universitat de Girona. Programa Doctorado en Ciencias experimentales y sostenibilidad. Recuperado: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/98249/talsm.pdf>
- Lluén W. (2015) *APLICACIÓN DE LA NUEVA HERRAMIENTA HEC-RAS 5.0 PARA CALCULOS BIDIMENSIONALES DEL FLUJO DE AGUA EN RIOS*. Escola Técnica Superior d'Enginyeria de Camins. UPC BARCELONATECH. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80221/TFM_Willy%20Eduardo%20Lluen%20Chero_IC.pdf
- MOPT (2007) *Manual de Inspección de Puentes*. Dirección de Puentes. Obras Públicas y Transportes. Recuperado de: https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES
- Mundo Santa Ana (2021) *Quebrada se desbordó en Rio Oro de Santa Ana*. Recuperado de: <http://www.mundosantaana.com/index.php/noticias-santa-ana-mi-canton/1714-quebrada-se-desbordo-en-rio-oro-de-santa-ana>
- Nanía L. y Molero E. (2007) *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1*. Universidad de Granada. Área de Ingeniería Hidráulica. Recuperado de: https://cemexico.groups.et.byu.net/vocabulary/ManualBasico_HEC-RAS313_HEC-GeoRAS311_Espanol.pdf
- Ministerio de Planificación Nacional y Política (MIDEPLAN). (2014). *Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil*. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H50-5991.pdf>
- Municipalidad de Santa Ana (2019) *Manual para la Gestión del Riesgo de Desastre a nivel local*. Alcandía Municipal. Proceso de Gestión de Riesgo. Comisión Municipalidad de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2010) *Reducción del Riesgo de Desastres y Recuperación*. Buró de Prevención de Crisis y Recuperación. One United Nations Plaza New York NY 10017 USA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2012) *Conceptos*

Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País. Experiencias y Herramientas de aplicación a nivel regional y local. Chile. Recuperado de: https://www.preventionweb.net/files/38050_38050conceptosbsicos.pdf

Salazar D. (2018) *Inspección, evaluación y priorización de 15 puentes en el cantón de Buenos Aires*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Construcción. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10490>

Segura L. y Casasola R. (2011) *MODELACION HIDRAULICA PARA EL ANALISIS Y PROPUESTA DE OBRAS DE MITIGACION DE INUNDACIONES EN FINCA VALLE LA ESTRELLA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Área académica agroforestal. Programa de maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de producción. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5706>

Twigg J. (2007) *Características de una Comunidad Resiliente ante los Desastres*. Disaster Risk Reduction Interagency Coordination Group del Departamento para el Desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido. Recuperado de: https://www.eird.org/newsroom/Spanish_Characteristics_disaster_high_res.pdf

US Army Corps of Engineers (2016) *HEC-RAS River Analysis System*. Institute for Water Resources. Hydrologic Engineering Center. Recuperado de: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

Vergara M. (1993) *Técnicas de Modelación Hidráulica*. Primera Edición. México D.F, Ediciones Alfaomega. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/rafaelsotelorivera1/tecnicas-de-modelacin-en-hidraulica>