

# Modelación hidrodinámica de un tramo del río Purires a la altura del nuevo hospital, ante un posible escenario de cambio climático

Hydrodynamic modeling of a section of the river Purires at the height of the new hospital, in a possible climate change scenario

David Borge-Leandro<sup>1</sup>, Pablo Fernández-Campos<sup>2</sup>

*Fecha de recepción: 18 de octubre, 2022*  
*Fecha de aprobación: 21 de febrero, 2023*

Borge-Leandro, D; Fernández-Campos, P. Modelación hidrodinámica de un tramo del río Purires a la altura del nuevo hospital, ante un posible escenario de cambio climático. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 4. Octubre-Diciembre, 2023. Pág. 137-147.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6423>

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Fidélitas de Costa Rica. Costa Rica. Correos electrónicos: [davidbx@estudiantec.cr](mailto:davidbx@estudiantec.cr), [dborge80034@ufide.ac.cr](mailto:dborge80034@ufide.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0000-0001-9157-8438>
- 2 Universidad Fidélitas. Costa Rica.  
Correo electrónico: [pfernandez30857@ufide.ac.cr](mailto:pfernandez30857@ufide.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0000-0003-1605-2940>

## Palabras clave

Morfometría; cuenca; hidrogramas; inundaciones; sistemas de información geográfica; Iber.

## Resumen

En el cantón de El Guarco se ubicará el nuevo hospital de la provincia de Cartago, con un área estimada de construcción de 9 hectáreas, en un lote próximo a la confluencia de los ríos Purires y Coris. Históricamente en la zona se han presentado problemáticas relacionadas a desbordamientos de ríos e inundaciones. Los parámetros morfométricos determinados para la cuenca del río Purires señalan que la cuenca es propensa a la generación de inundaciones en la cuenca baja y la acumulación de sedimentos, esto aunado a altas pendientes que disminuyen su grado de inclinación según se aproximan al punto de estudio. Para la realización del proyecto del cual se deriva este artículo, se implementó el uso de una aeronave no tripulada y una antena RTK, esto para precisar la altimetría del área de interés, esta actividad resulta en un modelo digital de elevaciones de 3,7 cm/píxel, principal insumo para el modelado hidrodinámico. Se evalúa el comportamiento hidrodinámico de un tramo de 1,5km del río Purires, en Iber 2.4.3, del cual se obtiene la máxima extensión espacial, su calado y velocidad del flujo, así como su tiempo de permanencia, esto para un posible escenario de Cambio Climático. Se obtienen resultados tanto en el área donde se edificará el hospital, las llanuras de inundación próximas al tramo levantado del río, así como dos puentes, el puente 6 de la ruta nacional 2, que comunica el área metropolitana con la zona sur del país, y también un puente cantonal que comunica con el pueblo de Barrancas.

## Keywords

Morphometry; watershed; hydrograms; floods; geographic information systems; Iber.

## Abstract

The new hospital for the province of Cartago will be in the canton of El Guarco, with an estimated construction area of 9 hectares, on an area near the confluence of the Purires and Coris rivers. Historically in the area there have been problems related to overflowing rivers and floods. The morphometric parameters determined for the Purires river basin indicate that the basin is prone to flooding in the lower basin and the accumulation of sediments, this coupled with high slopes that decrease their degree of inclination as they approach the study point. For the realization of the project from which this article is derived, the use of an unmanned aerial vehicle and an RTK antenna was implemented, this to specify the altimetry of the area of interest, this activity results in a digital model of elevations with a resolution of 3.7 cm /pixel, main input for hydrodynamic modeling. The hydrodynamic behavior of a 1.5km section of the Purires river is evaluated, in Iber 2.4.3, from which the maximum spatial extension, its height of water and flow speed, as well as its residence time, are obtained, this for a possible Climate Change scenario. Results are obtained both in the area where the hospital will be built, the flood plains near the raised section of the river, as well as two bridges, bridge 6 of National Route 2, which connects the metropolitan area with the southern part of the country, and a cantonal bridge that communicates with the town of Barrancas.

## Introducción

En el sitio de estudio se edificará el nuevo hospital de la provincia de Cartago, misma zona que históricamente ha presentado problemas relacionados a desbordamiento de ríos [1] [2]. Debido a esto se busca modelar hidrodinámicamente un tramo del río Purires a la altura del futuro hospital de Cartago como precaución ante posibles inundaciones, esto para un posible escenario de Cambio Climático. Estrictamente se evalúa las posibles manchas de inundación, tanto dentro como fuera del lote del hospital, así también, su calado, velocidad de flujo y tiempo de permanencia, pero además, se incluyen 2 puentes.

Los parámetros morfológicos de la cuenca del río Purires se desarrollan en QGIS, utilizando a manera de insumo el conjunto de archivos *shapefile* y *ráster* disponibles en la carpeta del Atlas Digital de Costa Rica 2014 [3].

Un informe realizado por la escuela de Ingeniería de Biosistemas de la UCR [4], utiliza la siguiente sucesión de parámetros para describir la morfología de una cuenca.

- Delimitación del área de estudio
- Parámetros de forma
  - \* Factor de forma
  - \* Índice de compacidad
- Red hidrográfica
  - \* Longitud del cauce
  - \* Pendiente media del río
  - \* Densidad de drenajes
- Parámetros de relieve
  - \* Curva hipsométrica

Se genera un hidrograma denominado, *T50-D30-CCC*, bajo la metodología del hidrograma unitario (HU) sintético de forma triangular [5] y aplicándole una forma de típica de hidrograma según el Hidrograma adimensional del SCS [6]. Se toma la fórmula propuesta por Kirpich (ecuación 1), como estimado al tiempo de concentración de la cuenca [7], y la intensidad bajo la fórmula de Vahrson de 1992 (ecuación 2), para la provincia de Cartago [8].

Para este modelo se considera una lluvia con una duración de 30 minutos, ya que se busca generar un escenario con una alta intensidad, una baja duración y que cubra un área pequeña, como lo es la cuenca del río Purires.

Se considera un aumento del 18% en la intensidad, correspondiente al posible escenario de Cambio Climático (CCC), Se hace uso de un valor más conservador que el mencionado por Myhre y otros [9].

$$t_c = 0.000325 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1)$$

$$I_{max} = 156.892 - 28.4612 * \ln(D) + (42.2027 - 8.0731 * \ln(D)) * \ln(T) \quad (2)$$

Donde:

L = Longitud del cauce (m)

- S = Pendiente del cauce (m/m)
- D = Duración del evento (min)
- T = Periodo de retorno del evento (años)

## Materiales y métodos

Este artículo parte de una investigación de tipo aplicada, ya que se hace uso del conocimiento existente generado por otros investigadores, para evaluar el potencial riesgo por inundaciones en el sitio de estudio, ante un posible escenario de Cambio Climático.

El sitio de estudio se ubica en la provincia de Cartago, en el cantón de El Guarco. Específicamente en las coordenadas 503290.45, 1086943,00, en la proyección CRTM-05.

Se realiza un levantamiento fotogramétrico por medio de una aeronave no tripulada de ala rotatoria, modelo *phantom 4v2*, y se precisa la altimetría con una antena RTK.

Se cubre un área de 60 hectáreas, levantando 1,5 km del río Purires, partiendo de la confluencia de los ríos Purires y Coris, además se incluyen dos puentes, un puente cantonal que comunica a Barrancas, y el puente nacional 6 de la ruta 2.

Los programas informáticos utilizados son: QGIS 3.10.14, Pix4Dmapper e Iber 2.4.3.

## Resultados

### Morfología

La cuenca del río Purires (ver figura 1), es una cuenca pequeña (55.40 km<sup>2</sup>), ensanchada y oblonga, su elevación máxima es de 2169 msnm, y su elevación mínima es de 1379 msnm.

Cuenta con una red fluvial bien definida con un patrón de drenaje dendrítico y con dos ríos principales: Purires y Coris.

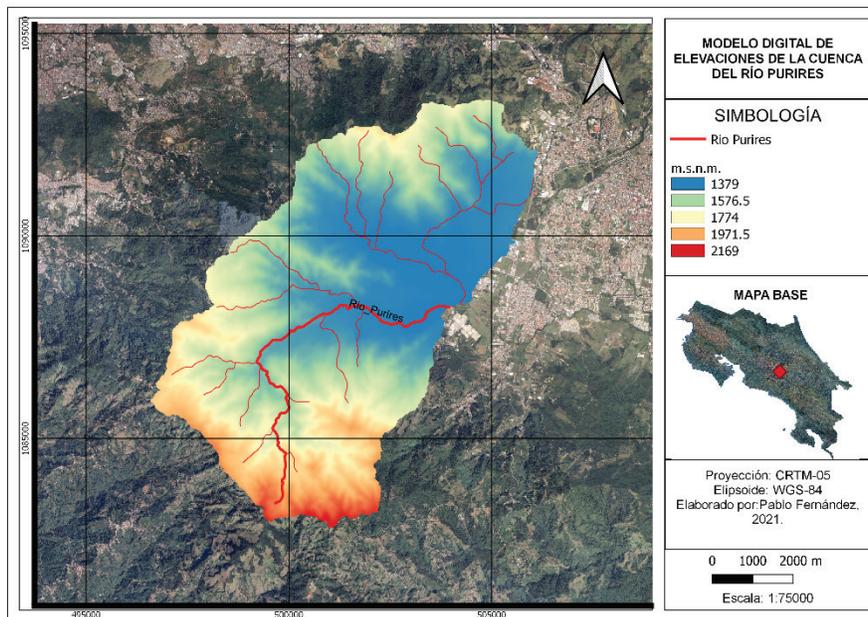
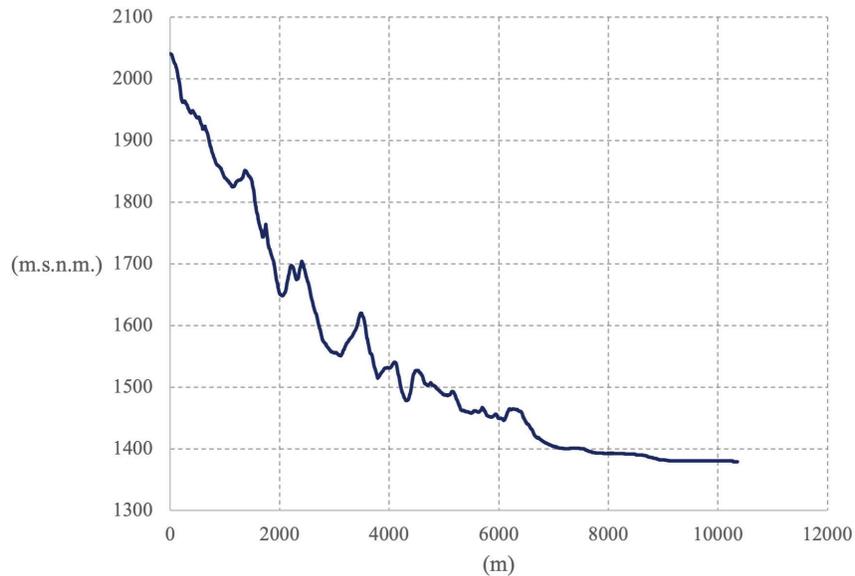


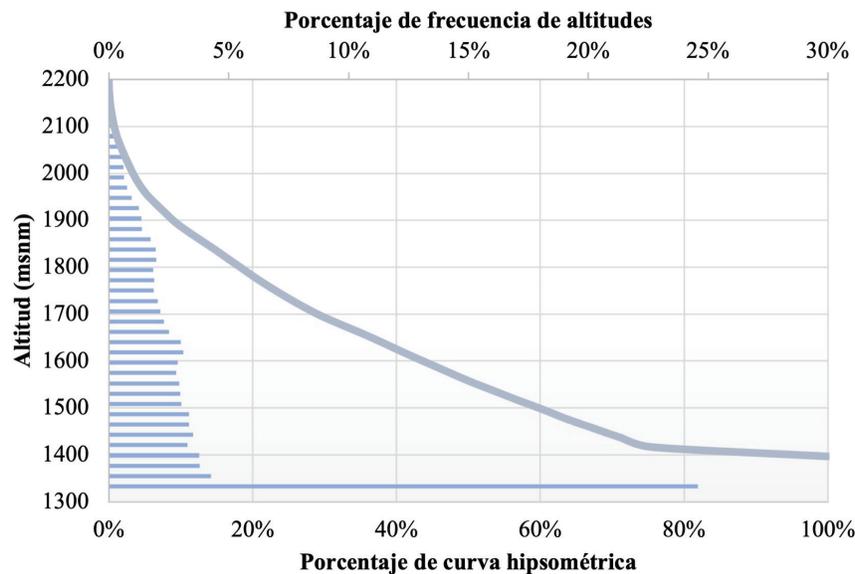
Figura 1. Modelo digital de elevaciones de la cuenca del río Purires.

Las pendientes de la cuenca varían entre 0% y 50%, mientras que la pendiente media del río es de 6.38%. Sin embargo, al descomponer el perfil longitudinal (ver figura 2), en dos segmentos, se tiene una pendiente superior al 9.2% en los primeros 6000 metros, y una menor al 1.7 % en los metros restantes. Lo que favorece el incremento en las velocidades del flujo hacia la cuenca baja, y que a su vez puede resultar en un arrastre de sedimentos, reduciendo la capacidad hidráulica del río.



**Figura 2.** Perfil longitudinal del río Purires.

La curva hipsométrica (ver figura 3), refleja una cuenca sedimentaria en fase de vejez, ya que el 64% del área se encuentra en la cota 1477 (10% de altura relativa), el 19% del área se encuentra en 1797 (50% de altura relativa) y el 1% en la cota 2097 (90% de altura relativa). Respecto a la frecuencia de altitudes, la altitud media es 1557 m.s.n.m. y la altura más frecuente es 1417 m.s.n.m.



**Figura 3.** Curva hipsométrica del cuenca del río Purires.

En el cuadro 1 se muestra un resumen de los aspectos hidrológicos más relevantes sobre la cuenca del río Purires:

**Cuadro 1.** Cuadro resumen de las características morfológicas.

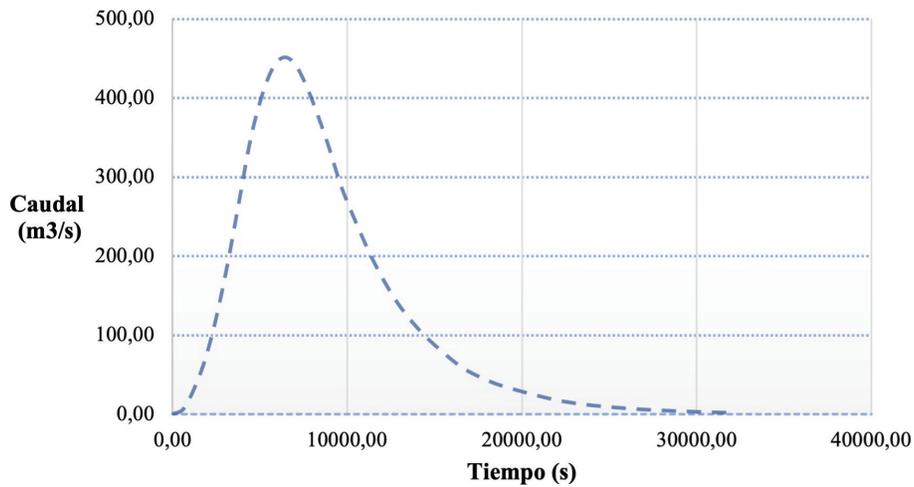
Parámetro	Simbología	Valor	Ud.
Perímetro de la cuenca	P	34,84	km
Área de la cuenca	A	55,40	km <sup>2</sup>
Longitud del cauce principal	Lr	10387	m
Elevación máxima del río	HM	2041	msnm
Elevación mínima del río	Hm	1378	msnm
Longitud de todos los cauces	Ls	53,41	km
Parámetros de forma			
Factor de forma	F	0,63	km/km <sup>2</sup>
Índice de compacidad	Ic	1,32	-
Red hidrográfica			
Pendiente media del río	lr	0,06	-
Densidad de drenajes	Dd	0,96	km/km <sup>2</sup>

### Hidrograma unitario sintético

**Cuadro 2.** Cálculos del HU T50-D30-CCC.

Cálculos		
<i>Pendiente</i>	0,0638	m/m
<i>Precipitación</i>	69,50	mm
<i>Tiempo de concentración (t<sub>c</sub>)</i>	1,161	h
<i>Tiempo de retraso (T<sub>r</sub>)</i>	0,696	h
<i>Tiempo pico (t<sub>p</sub>)</i>	1,77	h
<i>Tiempo base (t<sub>b</sub>)</i>	4,74	h
<i>Caudal punta (Q<sub>p</sub>)</i>	451,55	m <sup>3</sup> /s
<i>Intensidad</i>	139,01	mm/h

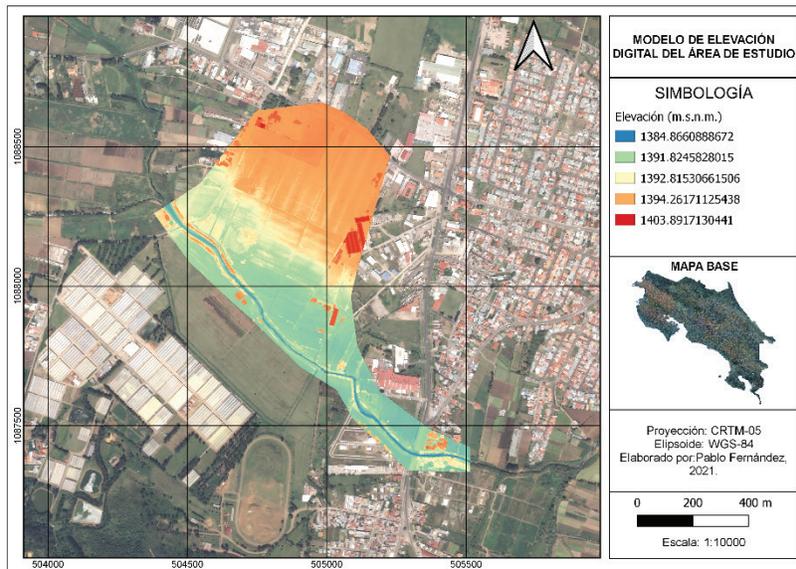
En el cuadro 2 se muestran los resultados del hidrograma triangular unitario para el escenario T50-D30-CCC, y el cual hace de insumo para obtener el hidrograma adimensional del SCS (ver figura 4). En el cual se tiene evento de duración 4.74 h, con un caudal punta de 451.55 m<sup>3</sup>/s, en un tiempo pico de 1.77 h y una intensidad asociada de 139.01 mm/h.



**Figura 4.** Hidrograma adimensional del SCS.

### Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio

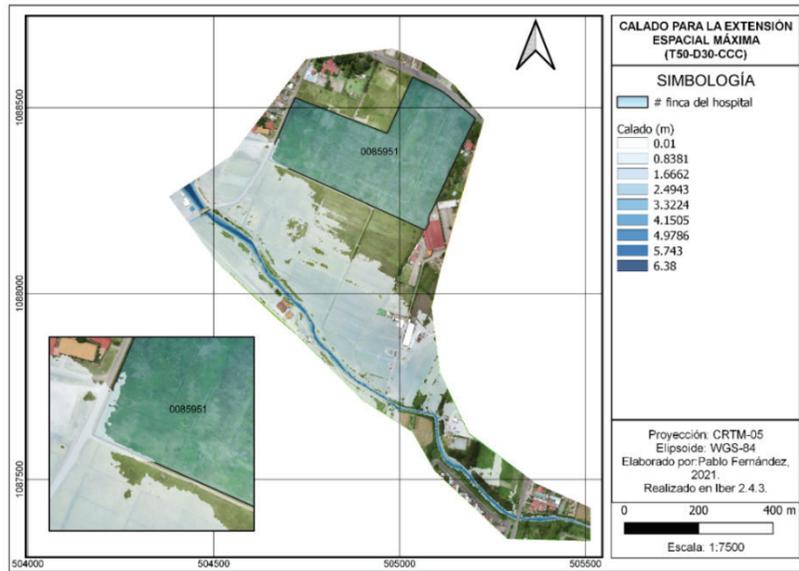
Por medio de 7 vuelos, más de 1500 fotografías, y un geoprocesamiento en Pix4Dmapper, se obtiene un modelo digital de elevaciones con una precisión de 3.7 cm/píxel (ver figura 5), y una ortofoto de la condición de cobertura actual.



**Figura 5.** Modelo digital de elevaciones del área de estudio.

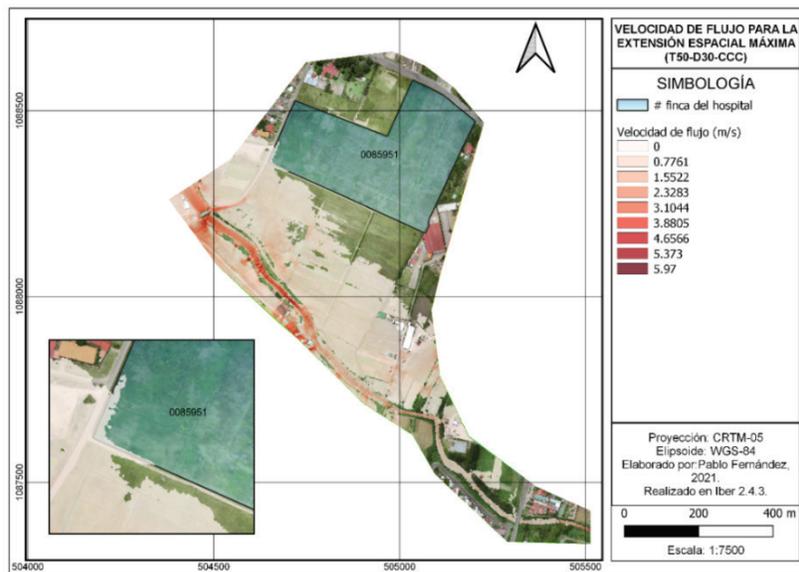
### Manchas de inundación

Con el modelo digital de elevaciones, una clasificación de la rugosidad del suelo según su cobertura, el hidrograma T50-D30-CCC, y 2 mallas no estructuradas de 1 metro para el cauce del río y 2 metros para el área restante, se obtiene la máxima extensión espacial, su calado (ver Figura 6) y velocidad de flujo (ver figura 7), además del tiempo de permanencia.



**Figura 6.** Calado para la extensión espacial máxima.

Fuera de los linderos del área del hospital (finca #0085951), se genera una extensión espacial máxima que cubre aproximadamente 19 ha del margen izquierdo del río, esto puede no representar la extensión espacial máxima total, sino la extensión máxima posible delimitada por el área levantada. Se genera un calado entre 0.01 y 2.46 m, velocidades de flujo que rondan los 0 y 3.13 m/s, con un tiempo de permanencia indefinido.

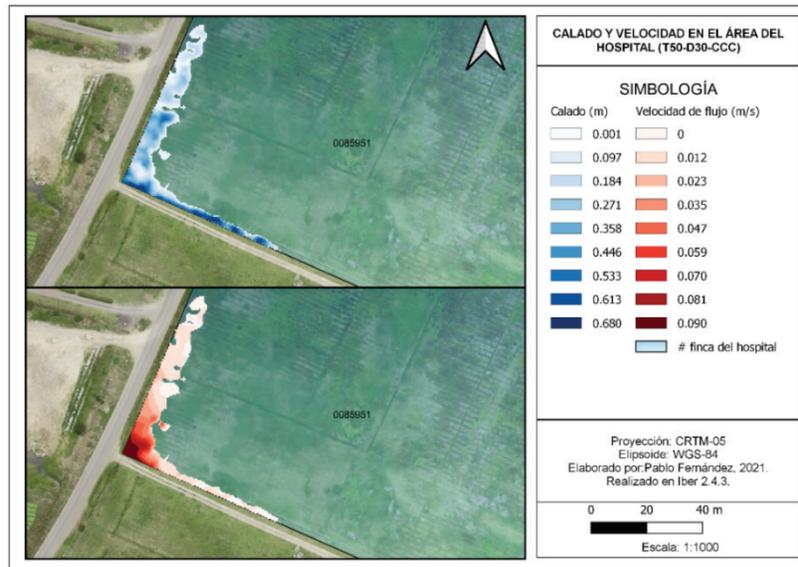


**Figura 7.** Velocidad del flujo para la extensión espacial máxima.

El flujo del agua alcanza a invadir la finca #0085951 entre los linderos sur y oeste (ver figura 8), cubriendo 791.0 m<sup>2</sup> correspondiente al 0.67% del área total del lote del hospital.

La altura del agua que invade este área ronda entre 0.1 y 68 centímetros, con velocidades de flujo asociadas entre los 0 y 9 cm/s.

El tiempo de permanencia del agua en el lote de interés es indefinido, ya que hay zonas que retienen el agua debido a la variación de altura, incluso al finalizar la simulación.

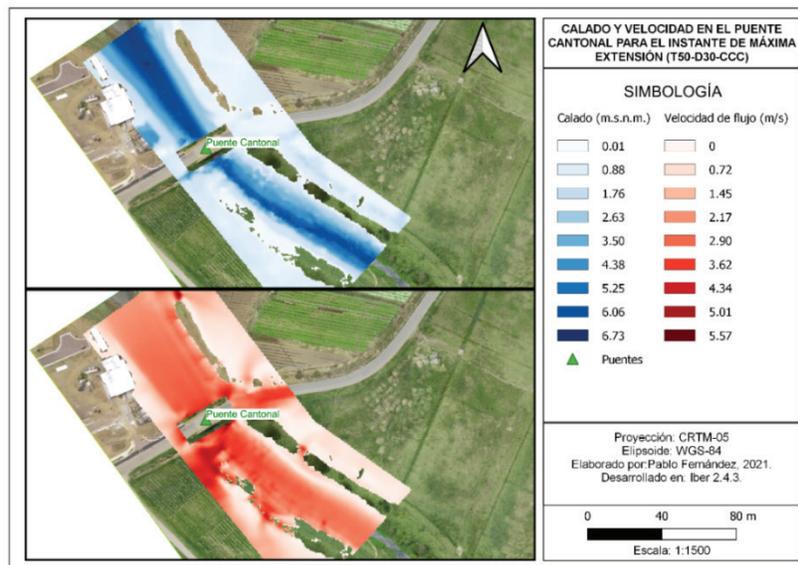


**Figura 8.** Calado y velocidad de flujo en el área del futuro hospital.

### Puentes

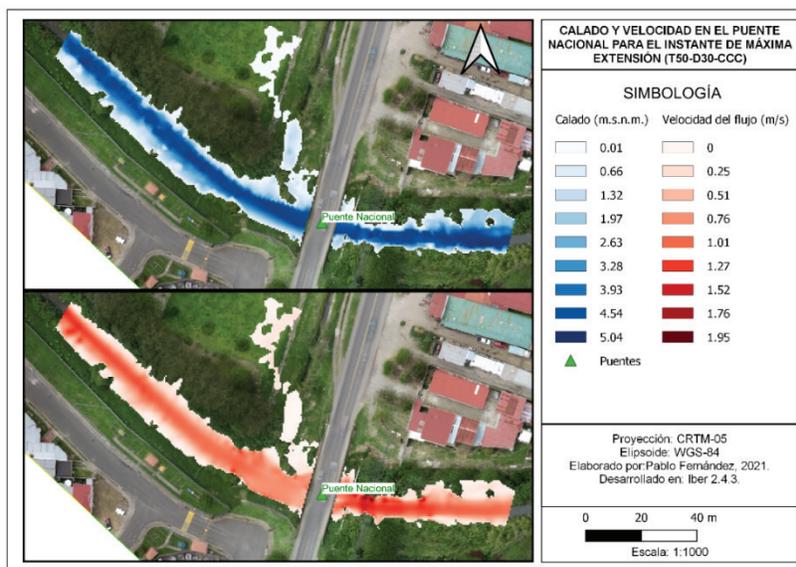
Aguas arriba del puente cantonal (ver figura 9), se observa una acumulación de flujo que pudiera ser generada debido a la contracción por los bastiones del puente, alcanzando una altura de hasta 6.75 metros, donde la cota del agua alcanza incluso a superar la cota superior del tablero, por lo que ante este escenario la superestructura del puente pudiera resultar dañada.

Por su parte, la velocidad de flujo, aguas arriba es de 3 m/s y aguas abajo supera los 5 m/s, esto podría representar un potencial riesgo erosivo a los diques e incluso podría socavar las bases del puente.



**Figura 9.** Calado y velocidad de flujo en el puente cantonal.

Respecto al puente nacional (ver figura 10), aguas arriba se alcanza un calado de hasta 5 metros, lo cual no alcanza la cota inferior del tablero, además se asocia con una velocidad de flujo en torno a los 0.75 m/s por lo que no se considera un potencial riesgo erosivo.



**Figura 10.** Calado y velocidad de flujo en el puente nacional.

## Conclusiones

Las características morfológicas indican que la cuenca favorece la generación de inundaciones en la cuenca baja.

El modelado hidrodinámico evidencia un anegamiento en la finca #0085951, sin embargo por los resultados obtenidos, no supondrían un riesgo a alguna infraestructura, esto no significa que no debe tenerse en cuenta en el diseño de la infraestructura.

El levantamiento fotogramétrico resultó correcto y satisfactorio, ya que se logró levantar 60 hectáreas en un corto periodo de tiempo, además de precisar la altimetría del MDE.

El puente cantonal se encuentra en una posición de riesgo ante un evento como el evaluado, por su parte el puente nacional no presentaría riesgos.

Los programas informáticos utilizados son prácticos, ya que reducen el tiempo de ejecución de procesos, además de precisar los resultados.

Se recomienda aumentar el área levantada, incluyendo la confluencia de los ríos, además de 500 metros aguas arriba de estos, también se recomienda levantar el margen derecho del río, ya que se observan desbordamientos en este margen.

Se recomienda realizar un estudio de erosión y socavación en el tramo de río estudiado.

Se aconseja la implementación de SUDS en la futura infraestructura.

## Referencias

- [1] CNE, «Amenazas de origen natural cantón de El Guarco,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenazas/mapas\\_de\\_ameanza/cartago/El%20Guarco%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_ameanza/cartago/El%20Guarco%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf).

- [2] M. Cartin, «micostaricadeantano,» 6 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://micostaricadeantano.com/2021/02/06/ciudad-del-lodo-el-tejar-el-guarco-cartago-1801-1850/>.
- [3] E. Ortiz-Malavasi, «RepositorioTEC,» 06 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>.
- [4] Escuela de biosistemas de la Universidad de Costa Rica, «Informe estudio de zonas amenazadas por inundaciones usando sensores remotos, Análisis hidrológico e hidráulico para mejorar la cuantificación y gestión del riesgo en la cuenca de Aguas Claras,» Universidad de Costa Rica.
- [5] SIECA, «Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica,» 2016, pp. 85-91.
- [6] M. Villón, «Hidrología,» Cartago, Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológica de Costa Rica, 2002, pp. 229-231.
- [7] SIECA, «Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica,» 2016, pp. 82-83.
- [8] M. Villón, «Hidrología,» Cartago, Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002, p. 114.
- [9] Myhre, G; Alterskjær, K; Stjern, C.W.; Hodnebrog, Ø; Marelle, L; Samset, B.H.; Sillmann, J; Schaller, N; Fischer, E; Schulz, M; Stohl, A, «Scientific reports,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-52277-4#citeas>.