



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados**  
**Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo**  
**UEN de Gestión Ambiental**

**Informe Técnico:**

**Modelación de eventos de creciente en la cuenca del río Santa Clara**  
**(ASADA de Horquetas de Sarapiquí)**

**Mayo, 2020**



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Centro de Documentación e Información  
UEN Investigación y Desarrollo



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,  
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL  
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

---

---

**N° Cédula:** 5-251-0327

---

**Dependencia:** Gerencia General

---

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC).

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

**E-mail:** [gerenciageneral@aya.go.cr](mailto:gerenciageneral@aya.go.cr) **N° Teléfono:** 2242-5090



**Firma:** \_\_\_\_\_

Firmado digitalmente  
por ERIC ALONSO  
BOGANTES CABEZAS  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.06.16  
17:21:24 -06'00'

## Contenido

Introducción .....	3
Cuenca del río Santa Clara .....	3
Caracterización geomorfológica.....	4
Estimación de eventos de creciente .....	6
Modelación hidráulica.....	14
Conclusiones y recomendaciones .....	18
Referencias.....	19

## **Introducción**

La Asociación administradora del Sistema de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADA) de Horquetas de Sarapiquí es uno de los proveedores delegados con mayor número de servicios (+5000). El crecimiento de su acueducto le ha llevado a plantear la necesidad de incrementar su capacidad productiva, para lo cual se ha planteado la construcción de una nueva captación en el río Santa Clara.

A través del departamento de Acueductos Rurales, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ha ejercido su función rectora dando impulso y apoyo a este proyecto. Parte del cual incluye el acompañamiento de los estudios de factibilidad del proyecto, entre los que se encuentra el estudio hidrológico. A solicitud de Acueductos Rurales se ha preparado este informe el cual se limita a lo solicitado para el diseño de la toma, esto es, el análisis de eventos de crecida en el cauce del río Santa Clara, en el punto definido para la construcción de la captación. El análisis incluye la definición del evento de crecida para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años. Adicionalmente, incluye una modelación hidráulica del cauce, basada en la topografía generada por la ASADA para tales efectos. Las secciones transversales se generaron bajo la supervisión del Área Funcional de Estudios Básicos de la UEN Gestión Ambiental.

## **Cuenca del río Santa Clara**

La cuenca del río Santa Clara es una cuenca pequeña ubicada en el límite del Parque Nacional Braulio Carrillo, en la reserva forestal de la Cordillera Volcánica Central. La captación se desea construir fuera del límite de la reserva forestal, lo cual garantiza a la cuenca condiciones de cobertura boscosa y una alta probabilidad de presentar agua de muy buena calidad para la potabilización y abastecimiento. La figura 1 muestra la cuenca del río Santa Clara y sus afluentes, delimitada hasta el punto de interés de captación. Se ha cambiado la orientación natural de la cuenca (hacia el norte) para efectos ilustrativos.

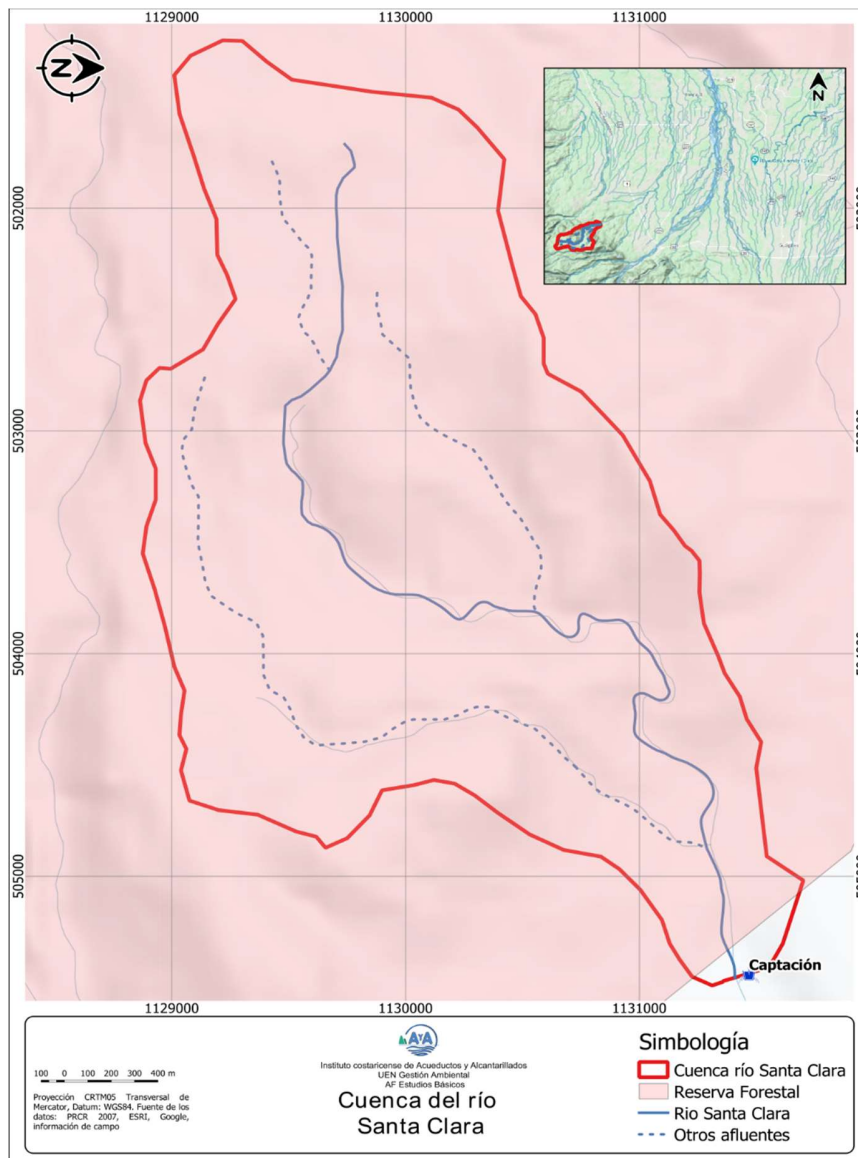


Figura 1. Cuenca del río Santa Clara hasta el sitio de toma propuesto

### Caracterización geomorfológica

A partir de la delimitación de la cuenca mostrada en la figura 1 y un modelo de elevación digital, se generó la caracterización geomorfológica mostrada en la tabla 1 y en la figura 2, la cual corresponde a la curva hipsométrica de la cuenca hasta el punto de captación propuesta por la ASADA.

Tabla 2. Caracterización geomorfológica

Area(km <sup>2</sup> )	6.65
Perímetro (km)	12.36
Índice de compacidad	1.35
Densidad de drenaje(1/km)	1.83
Longitud del cauce principal (km)	5.61
Pendiente media del cauce principal	79.60
Número de orden	2

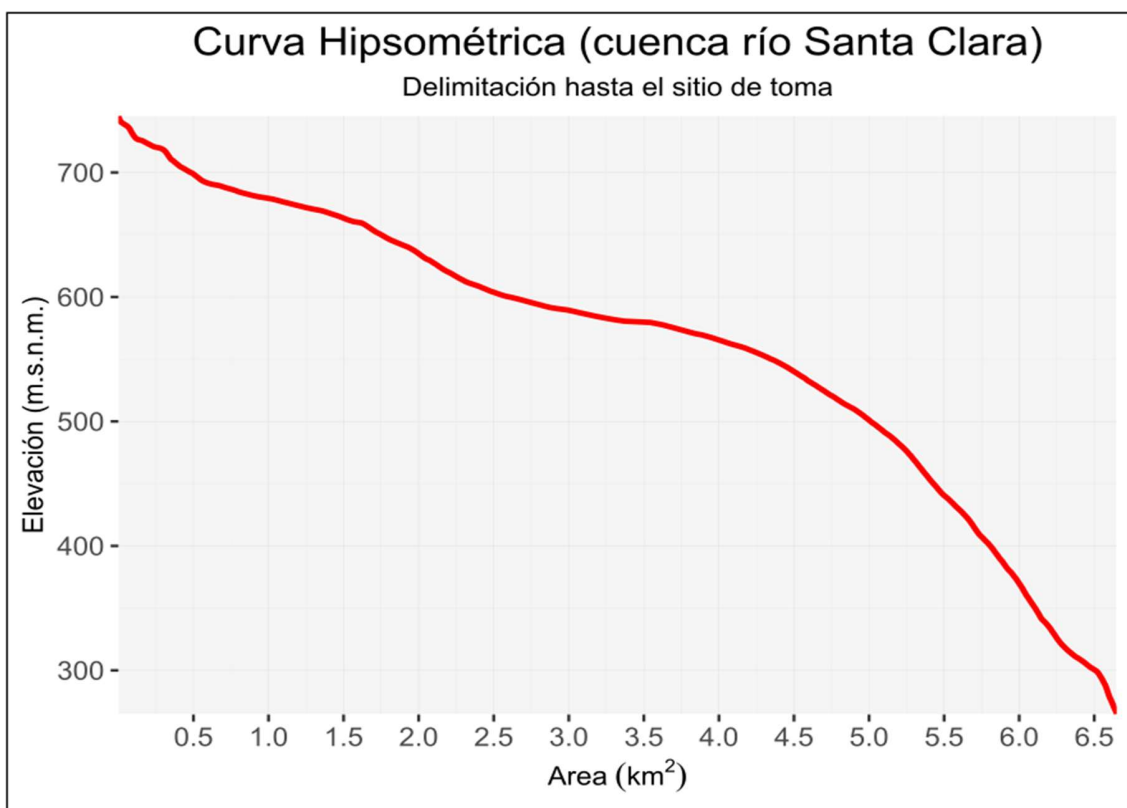


Figura 2. Curva hipsométrica de la cuenca el río Santa Clara.

La cuenca presenta una forma ligeramente alargada, lo cual se muestra en su índice de compacidad. Adicionalmente su número de orden es bajo, lo cual indica que no tiene una amplia red de drenaje. Ambas características hacen pensar que la cuenca no tendrá hidrogramas de creciente “suaves” en los cuales la creciente se de forma paulatina en un periodo largo, pero tampoco tendrá picos abruptos. La curva hipsométrica de la figura 2 presenta una forma convexa, lo cual normalmente se asocia a terrenos poco erosionados de amplia cobertura boscosa y por tanto

pocas vías de drenaje. La alta cobertura boscosa de la cuenca hace que no solo exista una importante intercepción, sino que además no se presenten picos de creciente abruptos producto del tránsito rápido de la esorrentía. La cuenca es en general pequeña, por lo de forma independiente de sus características geomorfológicas, el tiempo de llegada de una creciente resultante de precipitación intensa será menor a una hora.

### **Estimación de eventos de creciente**

En la cuenca del río Santa Clara no existe una estación hidrológica a partir de la cual se pueda extraer los eventos de creciente, ni tampoco una estación meteorológica para generar un hietograma de precipitación a partir del cual generar un hidrograma de creciente. Por tanto, en su lugar se tomaron dos registros diferentes, los cuales se trasladaron a la cuenca del río Santa clara. El primero de esto proviene de la estación hidrológica Cariblanco en el río Sarapiquí, la cual le pertenece al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y se muestra en la figura 3. El segundo corresponde a la precipitación de la estación Ciudad Quesada.

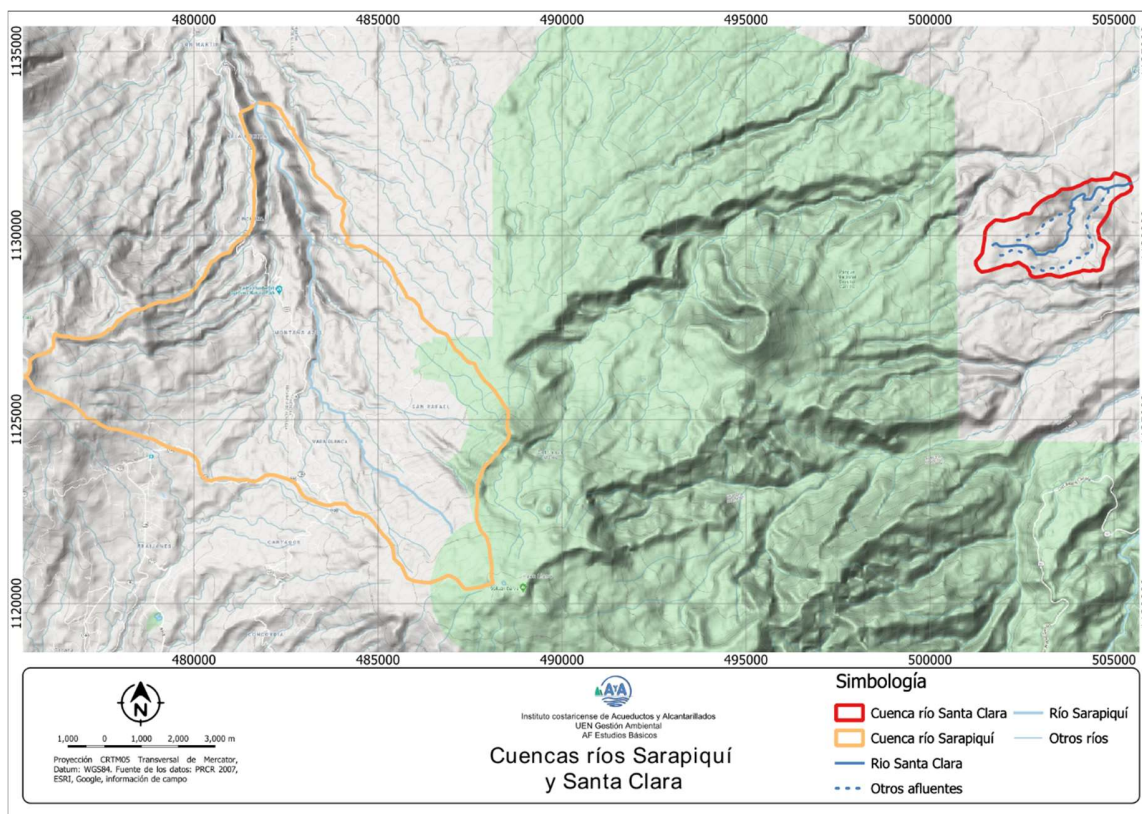


Figura 3. Cuenca del río Sarapiquí hasta la estación Cariblanco.

La cuenca del río Sarapiquí difiere de la cuenca del río Santa Clara principalmente en su cobertura boscosa, lo cual hace que la función de la transferencia de precipitación a flujo en el cauce sea diferente. Dada la mayor interceptación en la cuenca del río Santa Clara, el caudal en la cuenca del río Sarapiquí, trasladado a Santa Clara podría resultar en una sobrestimación de caudal. Las principales características geomorfológicas de la cuenca del río Sarapiquí se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización geomorfológica de la cuenca del río Sarapiquí

Característica	Cuenca río Santa Clara	Cuenca río Sarapiquí
Area(km <sup>2</sup> )	6.65	72.81
Perímetro (km)	12.36	44.34
Índice de compacidad	1.35	1.47
Densidad de drenaje(1/km)	1.83	1.54
Longitud del cauce principal (km)	5.61	14.74

<b>Característica</b>	<b>Cuenca río Santa Clara</b>	<b>Cuenca río Sarapiquí</b>
Pendiente media del cauce principal (%)	7.96	30.25
Número de orden	2	4

De la tabla 2 se extrae que la cuenca del río Sarapiquí es ligeramente más alargada que la cuenca del río Santa Clara (índice de compacidad), lo cual hace que su respuesta sea menos abrupta que la cuenca del río Santa Clara. No obstante, su número de orden (4) y especialmente su mayor pendiente se suman a las características antes mencionadas del uso del suelo, las cuales hacen que la respuesta del río Sarapiquí sea de mayor intensidad que la del río Cariblanco.

La estación hidrológica en el río Sarapiquí, la cual fue instalada en 1964, su registro se encuentra disponible en los boletines hidrológicos del ICE hasta el año 1994. A partir de este registro se obtuvo una serie de crecientes máximas mensuales, la cual fueron ajustadas a una distribución de probabilidad Pareto Generalizada de 3 parámetros. La figura 4 muestra la función empírica de densidad de probabilidad acumulada (ECDF) de la serie de caudales y de la distribución ajustada. Se observa que existe buena correspondencia entre ambas, lo cual fue validado mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Así, con la distribución ajustada se generaron eventos pico de creciente de para 10, 25 y 50 años de periodo retorno mostrados en la tabla 3.

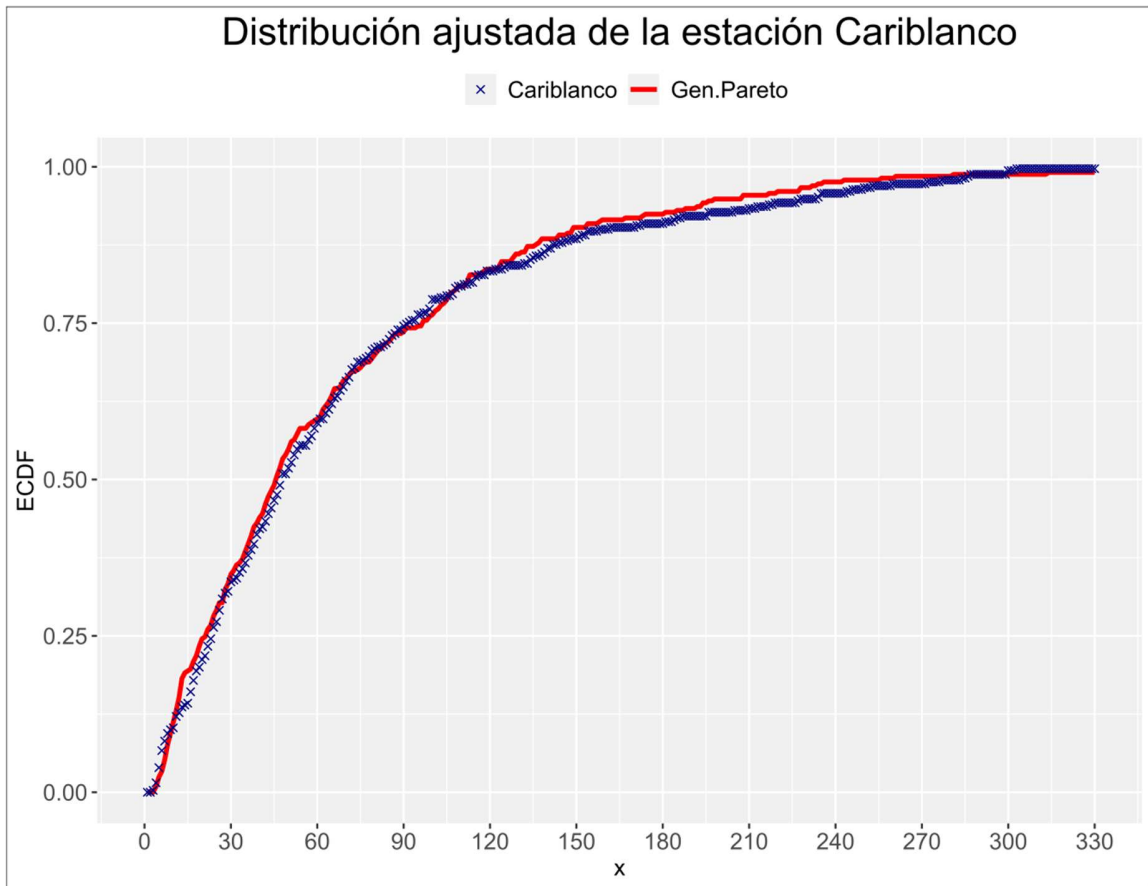


Figura 4 Función empírica de densidad de probabilidad acumulada de la estación Cariblanco

Tabla 3. Caudales de creciente estimados en la estación Cariblanco

T (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
10	158.4
25	225.7
50	278.8

Los caudales de creciente de la estación Cariblanco, fueron trasladados a la cuenca del río Santa Clara, mediante en el método de Creager, el cual viene dado por la ecuación:

$$Q = 1.303 \times C_C \times \left( \frac{A}{2.588} \right)^{\frac{(0.936)}{0.048}} \quad (1)$$

El valor de  $C_c$  se obtiene para la cuenca cuyos eventos de creciente son conocidos y posteriormente es aplicada a la cuenca de interés. La tabla 4 los valores de las crecientes de la cuenca del río Sarapiquí hasta la estación Linda Vista, los valores de  $C_c$  calculados y el correspondiente valor de creciente en el punto de interés de la cuenca del río Santa Clara.

Tabla 4. Crecientes trasladadas del río Sarapiquí al río Santa Clara.

<b>T (años)</b>	<b>Caudal Sarapiquí (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Creager</b>	<b>Caudal Santa Clara (m<sup>3</sup>/s)</b>
10	158.4	9.57	27.93
25	225.7	13.64	39.79
50	278.8	16.85	49.16

Los valores mostrados en la tabla 4 parecen un poco altos para la cuenca del río Santa Clara, lo cual es una limitante conocida del método de Creager, el cual tiende a subestimar o sobrestimar el valor de la creciente con base en la cuenca de donde fueron extraídos los caudales y el valor de  $C_c$ . Adicional a esto, se tiene la anteriormente mencionada posibilidad de sobreestimación de caudales como resultado de las diferencias geomorfológicas de las cuencas. Por tanto, se generó un modelo de esorrentía por el método del hidrograma unitario del SCS, considerando que este método puede ponderar mejor el efecto de la cobertura boscosa que el traslado de caudales por Creager. El hietograma utilizado se obtuvo por el método del bloque alterno, generado con la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la estación Ciudad Quesada del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Si bien esta estación no es la más cercana a la cuenca del río Santa Clara, es entre las que cuenta con curva IDF, la que tiene el régimen de precipitación más parecido al de Horquetas de Sarapiquí y por lo tanto se seleccionó para la estimación de la precipitación extrema.

Tabla 5. Hietograma de precipitación de estación Ciudad Quesada

Tiempo (min)	Precipitación (mm)		Tiempo (min)	Precipitación (mm)	
	T = 25 años	T = 50 años		T = 25 años	T = 50 años
5	0.6	44.5	65	0.7	49.8
10	0.7	3.8	70	0.7	4.3
15	0.7	2.4	75	0.8	2.6
20	0.8	1.7	80	0.9	1.9
25	0.9	1.4	85	1.0	1.6
30	1.0	1.2	90	1.1	1.3
35	1.1	1.0	95	1.2	1.1
40	1.3	0.9	100	1.4	1.0
45	1.5	0.8	105	1.7	0.9
50	2.0	0.7	110	2.2	0.8
55	2.9	0.7	115	3.2	0.8
60	6.0	0.6	120	6.7	0.7

La tabla 5 muestra los hietogramas de precipitación de 25 y 50 años de periodo de retorno para los cuales se generaron eventos de creciente. Se supuso para esto, que la precipitación con un periodo de 25 (o 50) años de periodo de retorno, produce un evento de creciente de igual periodo de retorno, lo cual en la práctica no es cierto, no obstante, se asumió como una limitante de la modelación realizada.

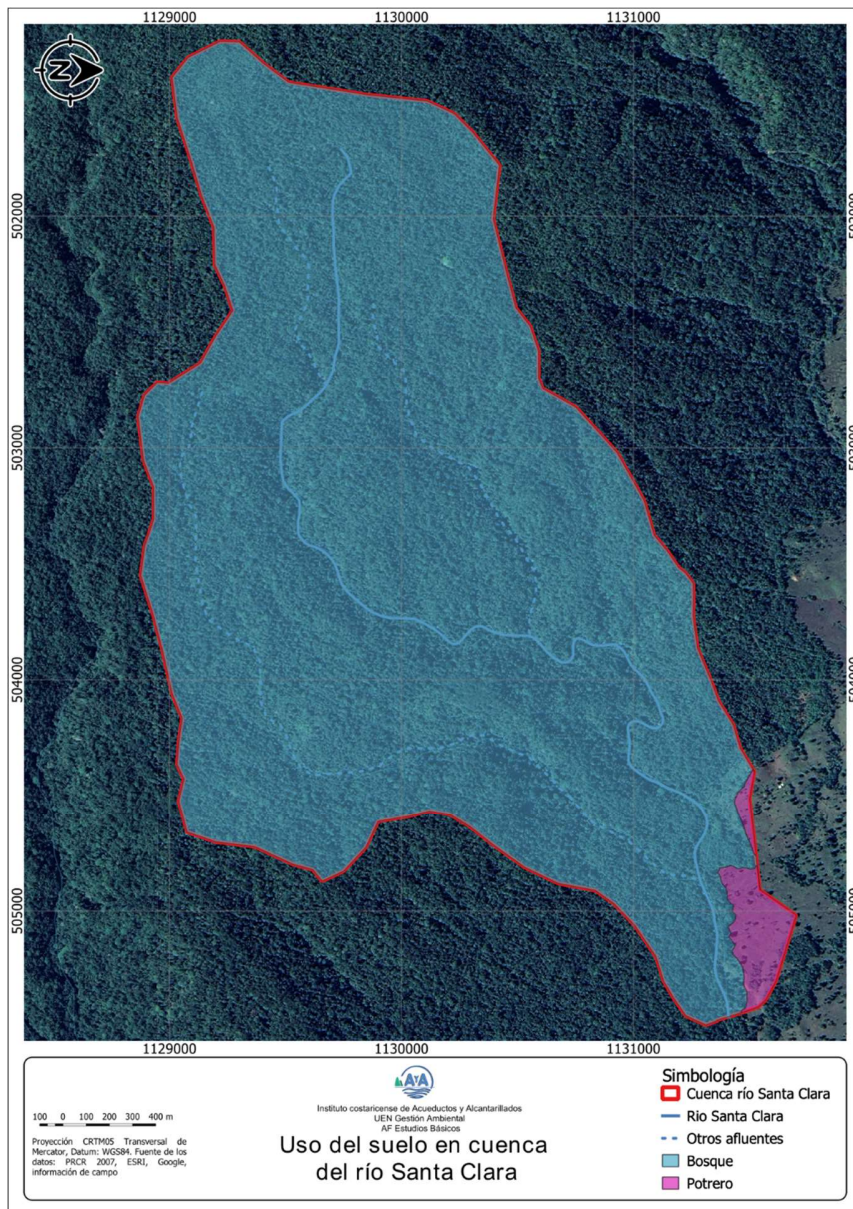


Figura 5. Uso del suelo en la cuenca del río Santa Clara.

La figura 5 muestra el uso del suelo en la cuenca del río Santa Clara, a partir del cual se generó la tabla 6, la cual muestra el porcentaje del área en cada uso del suelo, su equivalencia en la clasificación SCS y el número de curva seleccionado

Tabla 6. Uso del suelo en la cuenca del río Santa Clara.

Uso	% de area	Equivalencia SCS	Número de curva
Bosque	98.12	Bosque, grupo B	55
Potrero	1.88	Pastizal, condiciones óptimas, grupo B	61

Así, el número de curva utilizado para la conversión de la precipitación en caudal es de 55.1. Complementariamente, el tiempo de concentración en la cuenca del río Sarapiquí se calculó por medio de la ecuación de Kirpich en 26 minutos, el tiempo al pico en 17 minutos y la infiltración potencial en 207 mm, con lo que por el método SCS del hidrograma unitario se generaron los eventos de creciente mostrados en la figura 7 y cuyo pico se muestra en la tabla 7.

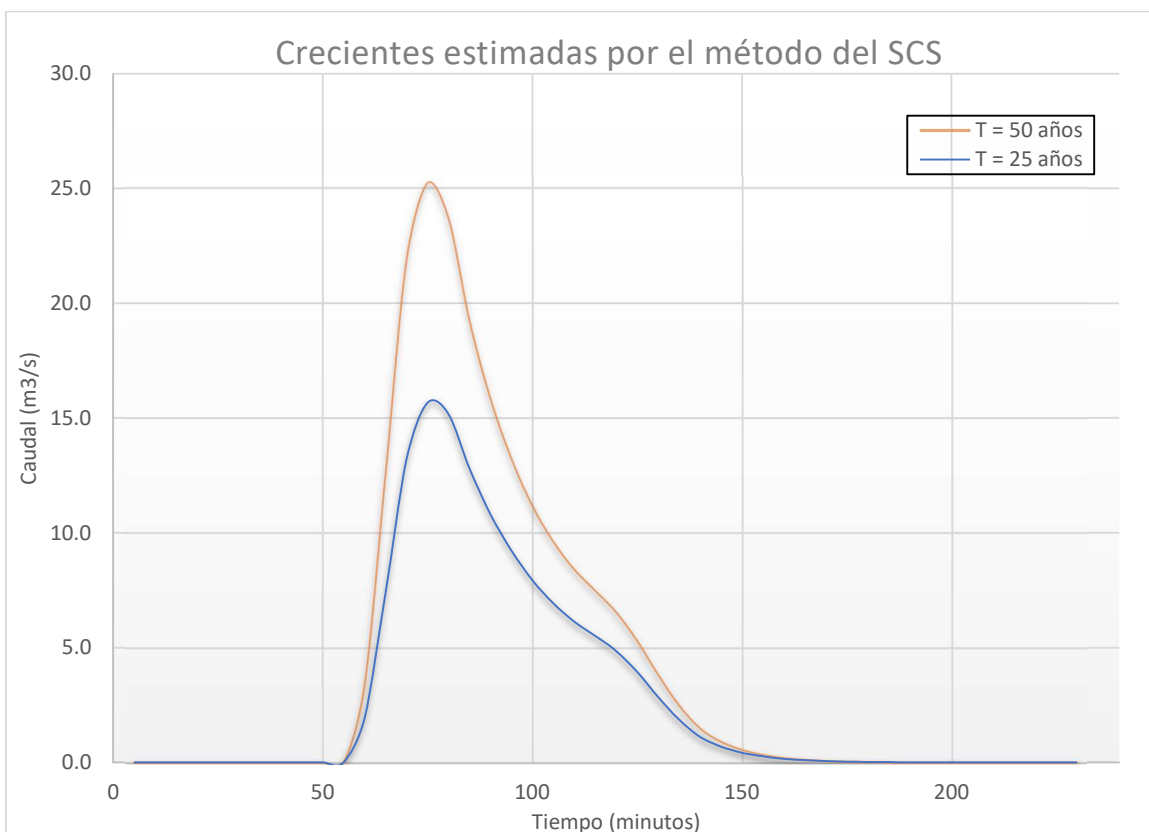


Figura 6. Crecientes estimados por el método del SCS

Tabla 7. Picos de crecientes estimados para la cuenca del río Santa Clara

T (años)	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)
25	15.7
50	25.2

### Modelación hidráulica

A partir de la topografía generada por la ASADA de Horquetas de Sarapiquí, se generó un modelo hidráulico del cauce, para el cual se supuso una rugosidad de Manning de 0.025. La topografía del cauce fue modificada agregando una presa a largo del todo el ancho del cauce, en el sitio designado para la captación. La presa colocada tiene 1.5 m de alto desde el nivel de piso, hasta la cresta donde se supuso la captación. Adicionalmente se supuso un largo total de presa de 15 m. La rugosidad en la presa se supuso de 0.02. La figura 7 muestra la topografía del terreno con la presa. A partir de esta, se generó el modelo digital de elevación con el cual se realizó la modelación.

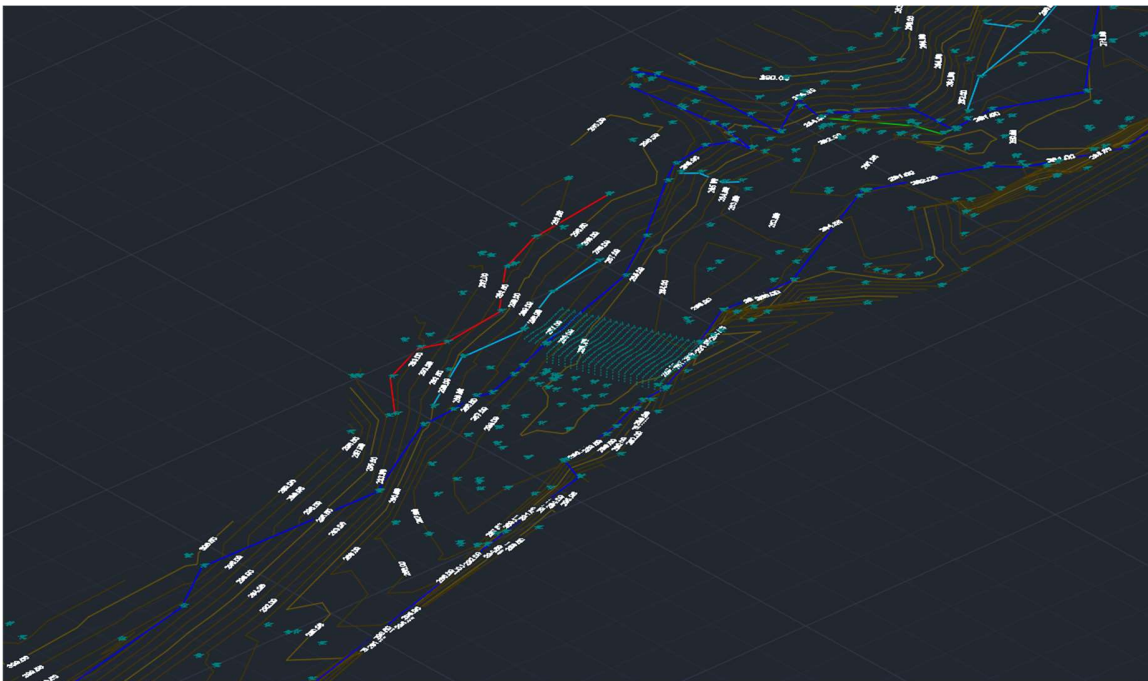


Figura 7. Modelo de presa en topografía generada por la ASADA de Horquetas de Sarapiquí

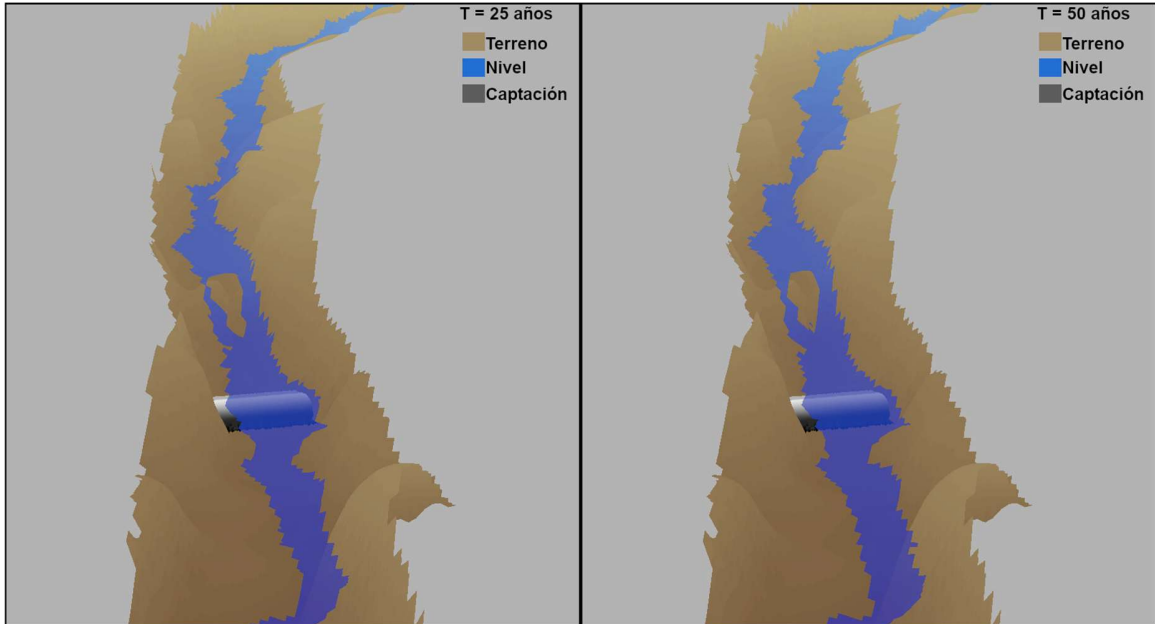


Figura 8. Nivel de crecientes de 25 y 50 años de periodo de retorno.

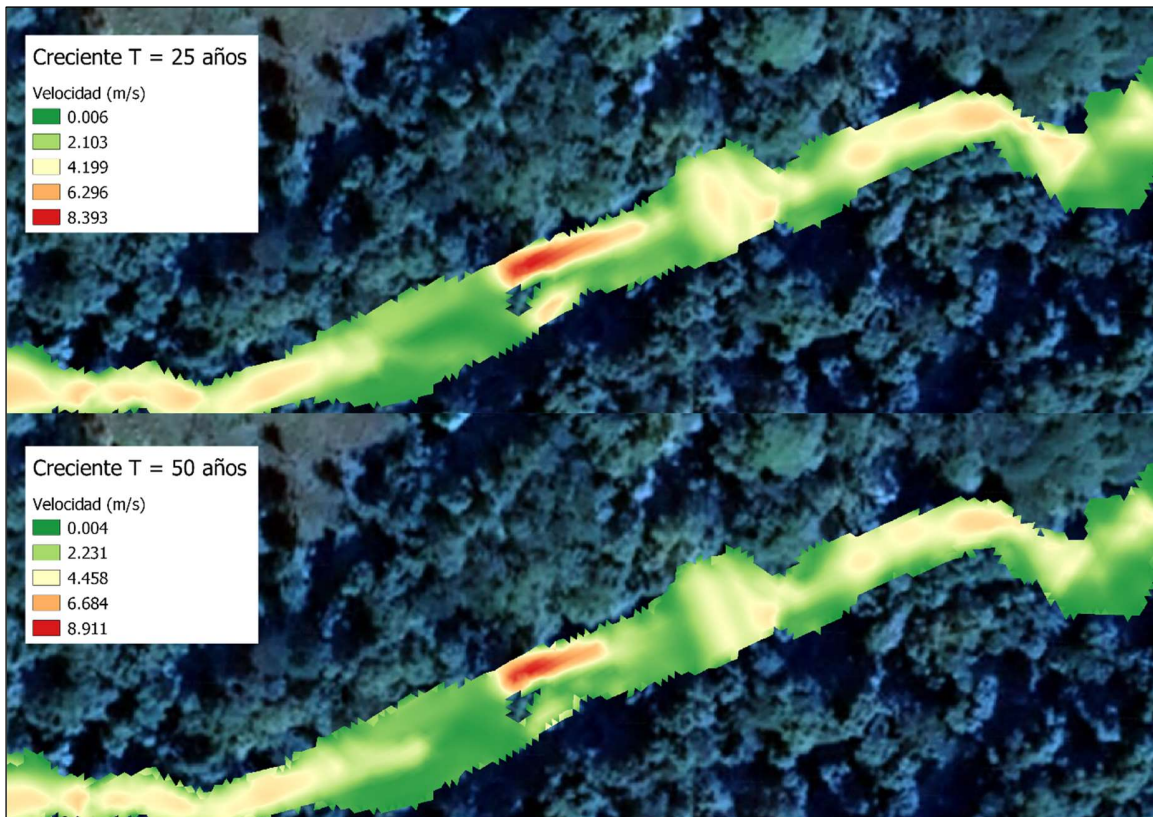


Figura 9. Velocidades máximas de crecientes de 25 y 50 años de periodo de retorno

Los eventos de crecientes de 25 y 50 años de periodo de retorno se modelaron en IBER. A partir de donde se extrajeron las imágenes mostradas en las figuras 8 y 9, las cuales corresponden respectivamente al nivel del cauce y velocidades de los eventos de 25 y 50 años de periodo de retorno. De la figura 8 se observa que la sección presenta condiciones estables y no se presentan condiciones de desbordamiento en la captación modelada (la cual no ha sido diseñada y se colocó únicamente para efectos de la modelación). Las condiciones hidráulicas generales del sitio seleccionado para la toma son favorables, el flujo es en sentido paralelo a la dirección del cauce, con velocidades bajas. Adicionalmente, aguas arriba la topografía ejerce un control hidráulico. Así, de la figura 9 se observa que aguas arriba la velocidad en el sitio de toma es alta, pero baja hasta el sitio de toma hasta velocidades menores a 2.5 m/s. Con la configuración de toma propuesta, se tienen velocidades máximas de 4.8 y 5.4 m/s para los eventos de 25 y 50 años de periodo de retorno respectivamente.

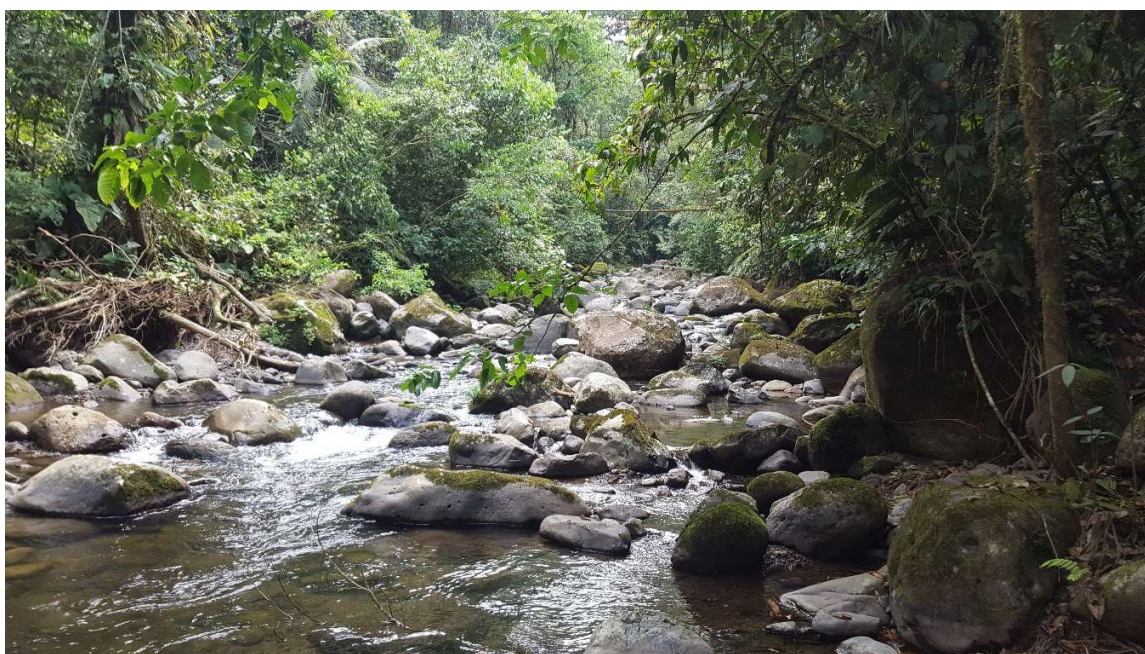


Figura 10. Sitio propuesto para la captación.

La figura 10 muestra el sitio de toma durante la visita del 26 de setiembre de 2019. Aquí se observa lo mismo que muestra la modelación, velocidades bajas en

el sitio definidos para la captación. La tabla 8 muestra el resumen de velocidades y niveles máximos alcanzados por los eventos de 25 y 50 años de periodo de retorno modelados.

Tabla 8. Velocidades niveles máximos de creciente

<b>Creciente</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Nivel (m)</b>
T = 25 años	4.8	1.8
T = 50 años	5.4	2.0

Finalmente, de la modelación se tiene que para la geometría supuesta, la colocación de la captación, no genera condiciones de remanso hacia aguas arriba, o desbordamiento del cauce.

## **Conclusiones y recomendaciones**

A partir del análisis hidrológico-hidráulico realizado, se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El sitio seleccionado para la colocación de la captación del acueducto de la ASADA de Horquetas de Sarapiquí presenta condiciones hidráulicas favorables para su colocación, lo cual favorece tanto el proceso de diseño como el constructivo.
- Las condiciones prístinas hacia aguas arriba en la cuenca hacen que el arrastre de material sea bajo. No obstante, esta es una valoración cualitativa, por cuanto no se realizó un análisis de producción o transporte de sedimentos, el cual se recomienda realizar.
- Las velocidades y niveles resultantes de la modelación se encuentran de los parámetros normales para diseño de una estructura de esta naturaleza, por lo que se recomienda colocar la captación en el sitio definido para tales efectos. No obstante, no se recomienda moverla hacia aguas arriba donde las velocidades son mucho más altas, como resultado de la fuerte pendiente del cauce.
- Se recomienda la colocación de una estación meteorológica en la cuenca del río Santa Clara, dado que todas las utilizadas para esta modelación se encuentran lejos del sitio de toma.

## Referencias

- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Garrett Grolemund, Hadley Wickham (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3), 1-25. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i03/>.
- H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- Hadley Wickham (2007). Reshaping Data with the reshape Package. *Journal of Statistical Software*, 21(12), 1-20. URL <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/>.
- Hadley Wickham, Romain François, Lionel Henry and Kirill Müller (2019). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 0.8.3. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Robert J. Hijmans (2019). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 2.9-23. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Roger Bivand and Nicholas Lewin-Koh (2019). *maptools: Tools for Handling Spatial Objects*. R package version 0.9-5. <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>
- Roger Bivand, Tim Keitt and Barry Rowlingson (2019). *rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library*. R package version 1.4-4. <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.