

ANEXO 6-3
ESTUDIO HIDROLÓGICO E
HIDRÁULICO

REPÚBLICA DE PANAMÁ

PROVINCIA DE COLÓN



One Planet. One Chance. **One Solution.**

ESTUDIO
HIDROLÓGICO E
HIDRÁULICO

10 DE ABRIL

2023

SGPBE-PBC-MC-EH-01-01

PROMOTOR: SGP BIOREFINERÍA (PANAMÁ), SRL

PROYECTO: "NIVELACIÓN DE TERRENO PARA FUTURO DESARROLLO"

Esteban Gonzalo Sáenz Espino
INGENIERO CIVIL
Licencia N° 78-6-012

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "E. Sáenz", is written over a horizontal line.

FIRMA
LEY 15 DEL 26 DE ENERO DE 1959
JUNTA TÉCNICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**Ingenieros
Geotécnicos, S.A.**

TABLA DE CONTENIDO

1.	Estudio Hidrológico	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Información Básica	2
1.2.1.	Método de Kirpich	4
1.2.2.	Método de Carter	5
1.2.3.	Método de Bransby-Williams.....	5
1.3.	Caracterización de la fuente hídrica	10
1.3.1.	Descripción Geomorfológica	10
1.3.2.	Hidrometría.....	16
1.3.3.	Descripción Climática de la Cuenca.....	16
1.3.3.	Mapa de Antecedentes de Inundación	19
1.3.4.	Descripción de la obra a realizar	21
1.4.	Crecidas de Diseño.....	22
1.4.1.	Método Racional	22
1.4.2.	Método del Análisis Regional de Crecidas Máximas.....	24
2.	Estudio Hidráulico	26
2.1.	Condiciones Existentes	26
2.2.	Posibles mejoras al cauce	32
3.	Conclusiones y Recomendaciones	37

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Cuenca de los ríos Coco Solo, Caño Sucio y Afluente Norte	3
Ilustración 2 – Cuenca Hidrográfica	7
Ilustración 3 – Mapa de Isoyetas	8
Ilustración 4 – Mapa de Escorrentía	8
Ilustración 5 – Mapa de Clasificación Climática según Koppen	9
Ilustración 6 – Curva hipsométrica del Rio Coco Solo	12
Ilustración 7 – Curva hipsométrica del Rio Caño Sucio	13
Ilustración 8 – Curva hipsométrica del Rio Afluente Norte	13
Ilustración 9 – Escala ampliada de la ilustración 1 mostrando la orden de los ríos.....	15
Ilustración 10 – Promedio histórico de precipitación promedio y máxima en Estación Coco Solo	17
Ilustración 11 – Promedio histórico de precipitación promedio y máxima en Estación Cristóbal	17
Ilustración 12 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 50 años	19
Ilustración 13 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 100 años	20
Ilustración 14 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 1000 años	20
Ilustración 15 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para las crecidas de 50, 100 y 1000 años	21
Ilustración 16 – Perfil de agua para el Rio Coco Solo en su condición natural	27
Ilustración 17 – Perfil de velocidades del Rio Coco Solo en su condición natural	28
Ilustración 18 – Perfil de agua para el Rio Coco Solo durante la crecida de 50 años y W12.....	33
Ilustración 19 - Perfil de velocidades del Rio Coco Solo durante la crecida de 50 años y W12.....	34
Ilustración 20 – Mapa de inundación para la opción de mejora de cauce.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Características físicas de las cuencas hidrográficas.....	4
Tabla 2 – Comparación de métodos de Tc	6
Tabla 3 – Áreas de drenaje.....	10

Tabla 4 – Pendiente promedio de los ríos.....	11
Tabla 5 – Índice de compacidad de las cuencas	11
Tabla 6– Crecidas de Diseño por el Método Racional	23
Tabla 7 – Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 50 años.....	29
<i>Tabla 8 Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 100 años.....</i>	<i>30</i>
Tabla 9 – Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 1000 años...	31
Tabla 10 – Alternativas de mejora de cauce	32
Tabla 11 – Perfil de agua del Rio Coco Solo	35

Estudio Hidrológico del Río Coco Solo, Caño Sucio y Afluente Norte

1. Estudio Hidrológico

1.1. Introducción

El análisis presentado a continuación se concentra en los ríos Coco Solo, Caño Sucio y un afluente del río Caño Sucio que se encuentra al norte y que para este estudio le hemos llamado Afluente Norte. El río Coco Solo nace al norte del Lago Gatún y fluye al Mar Caribe en la Provincia de Colón. El río Caño Sucio, cuya cuenca es adyacente a la cuenca del río Coco Solo y se ubica al oeste de esta, nace en las inmediaciones del Aeropuerto Enrique Jiménez, al igual que el Afluente Norte que se ubica al norte del río Caño Sucio. El Río Caño Sucio ha sido intervenido anteriormente y en su cuenca y cercano a su cauce se observan zanjas y canales excavados que fueron hechos muchos años atrás para mejorar la escorrentía y reducir el empozamiento. También se observan canales perimetrales a la pista del aeropuerto.

El estudio consiste en el análisis hidrológico de estos ríos para estimar sus crecidas de diseño sobre la base de las características del terreno, forma de la cuenca y por la previsión de probables desarrollos futuros, de acuerdo con los reglamentos del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Esta información puede servir para estimar los niveles de inundaciones para adecuar las infraestructuras, para que sirvan de base en el desarrollo de las áreas aledañas reduciendo el riesgo de daños a la vida y a la propiedad causada por estas crecidas. En este estudio se utilizará la crecida de 1 en 50 años de acuerdo con las recomendaciones del MOP para los cauces de ríos o quebradas.

1.2. Información Básica

Las características físicas de las cuencas hidrográficas se obtuvieron de mosaicos topográficos 4243-IV-3A, 4243-IV-4D, 4244-III-13B, 4244-III-14C, 4244-III-18A, 4244-III-18B, 4244-III-19C, 4244-III-19D, 4244-III-SW, 4244-III-SE preparados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Esta información se complementó con observaciones y topografía en campo. En la Ilustración a continuación mostramos las cuencas de los tres ríos mencionados y las trayectorias de las aguas de acuerdo con los mosaicos topográficos mencionados anteriormente.

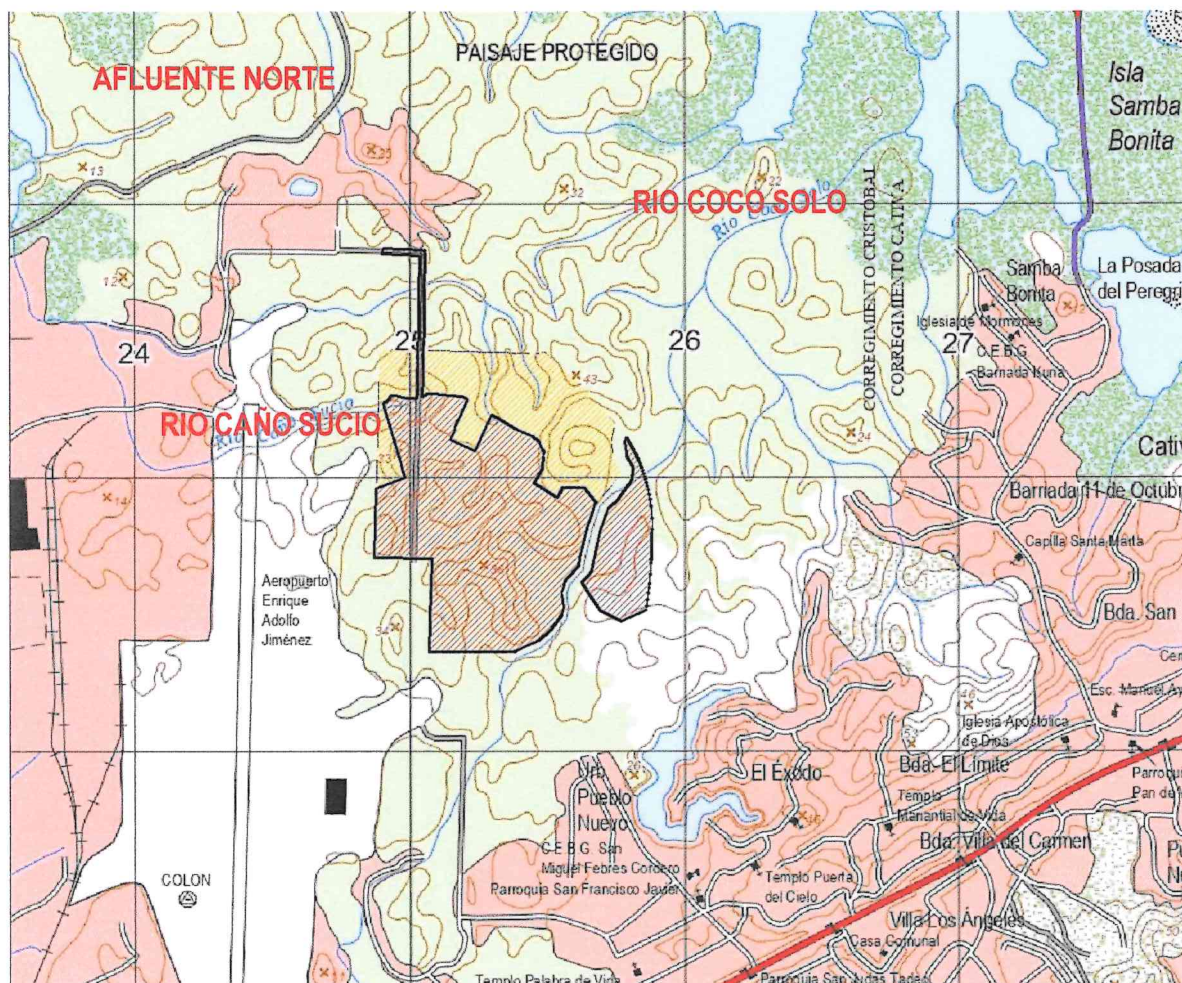


Ilustración 1 - Cuenca de los ríos Coco Solo, Caño Sucio y Afluente Norte

Algunas características físicas de las cuencas son utilizadas para obtener parámetros hidrológicos necesarios para el análisis y se listan a continuación.

Rio	Área	H _{max}	H _{min}	L _c	S
	(km ²)	(m)	(m)	(km)	m/m
Rio Coco Solo	11.685	110	2.7	8.06	1.33%
Rio Caño Sucio	3.966	35	2	2.31	1.43%
Afluente Norte	0.169	15	2	0.96	1.35%

Tabla 1 - Características físicas de las cuencas hidrográficas

La tabla anterior muestra el área de drenaje en kilómetros cuadrados (**Área**), la altura máxima (**H_{max}**) y mínima en la trayectoria del cauce principal (**H_{min}**) en metros, la longitud de la trayectoria del curso de agua principal (**L_c**) en kilómetros y la pendiente de la trayectoria del curso principal de agua (**S**).

Un parámetro hidrológico necesario para el análisis de las crecidas de diseño es el tiempo de concentración (T_c) que representa el tiempo que toma la precipitación que cae en la parte más lejana de la cuenca para que llegue al punto de observación. En este análisis vamos a evaluar tres métodos para la estimación del tiempo de concentración.

1.2.1. Método de Kirpich

El método de Kirpich (1940) se basa en estudios que relacionan el tiempo de concentración con las características de captación, comenzando con el enfoque de regresión para pequeñas cuencas dominadas por el flujo de canales. Este consiste en una relación matemática entre el tiempo

de concentración, la longitud del curso de agua y la pendiente promedio de la cuenca en la siguiente forma:

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

1.2.2. Método de Carter

El método de Carter (1961) fue desarrollado sobre estudios en cuencas urbanas de los EE. UU. generalmente con pendientes uniformes y similarmente dependientes de la longitud del cauce principal al igual que de la pendiente media. La estimación del tiempo de concentración se basa en la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.0977 \frac{L^{0.6}}{S^{0.2}}$$

1.2.3. Método de Bransby-Williams

El método de Bransby-Williams (1922) fue desarrollado especialmente para cuencas rurales y la estimación del tiempo de concentración se basa en la siguiente formula:

$$T_c = 0.605 \frac{L}{(50S)^{0.2} A^{0.1}}$$

de donde

T_c = Tiempo de concentración (minutos)
 L = Longitud del curso de agua (metros)
 S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)
 A = Área de la cuenca (km²)

Rio	$T_{c\ B-W}$	$T_{c\ Carter}$	$T_{c\ k}$
	(min)	(min)	(min)
Rio Coco Solo	218.27	74.84	104.63
Rio Caño Sucio	68.74	34.64	38.93
Afluente Norte	39.71	20.83	20.27

Tabla 2 – Comparación de métodos de T_c

En la tabla anterior se muestra los tiempos de concentración por cada uno de los métodos explicados, Bransby-Williams ($T_{c\ B-W}$), Carter ($T_{c\ Carter}$) y Kirpich ($T_{c\ k}$). En lo que concierne a este estudio utilizaremos el método de Kirpich ya que es de uso común en nuestro país y muestra resultados consistentes y razonables.

Estos ríos forman parte de la cuenca número 117, identificada por la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA). Para este estudio utilizaremos las ecuaciones de intensidad-duración-frecuencia de lluvia recomendadas por el MOP para la vertiente del Atlántico.

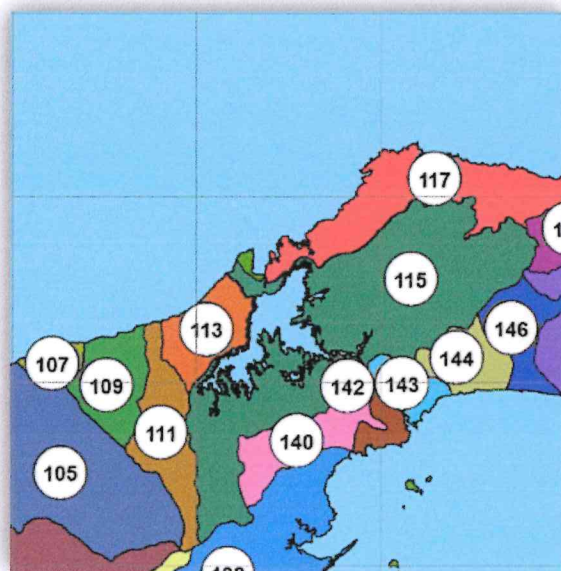


Ilustración 2 – Cuenca Hidrográfica¹

La precipitación media anual en esta área varía entre 3000 y 3500 mm. Los meses de mayor precipitación son octubre y noviembre y los de menor precipitación febrero y marzo. La escorrentía media anual está entre 1600 y 2000 mm.

¹ Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Gerencia de Hidrometeorología. www.hidromet.com.pa

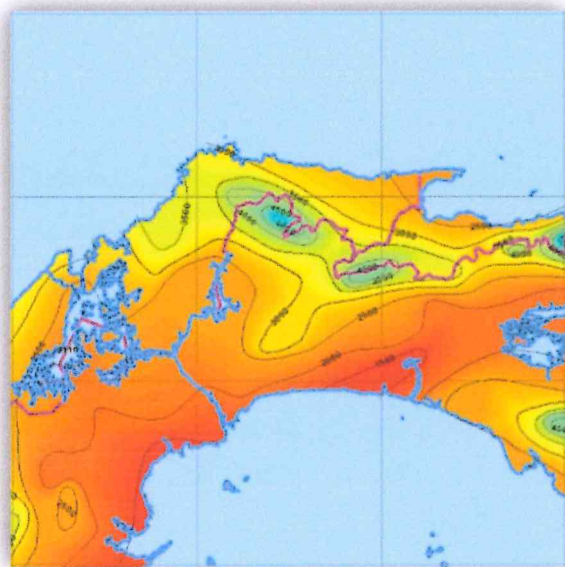


Ilustración 3 – Mapa de Isoyetas²

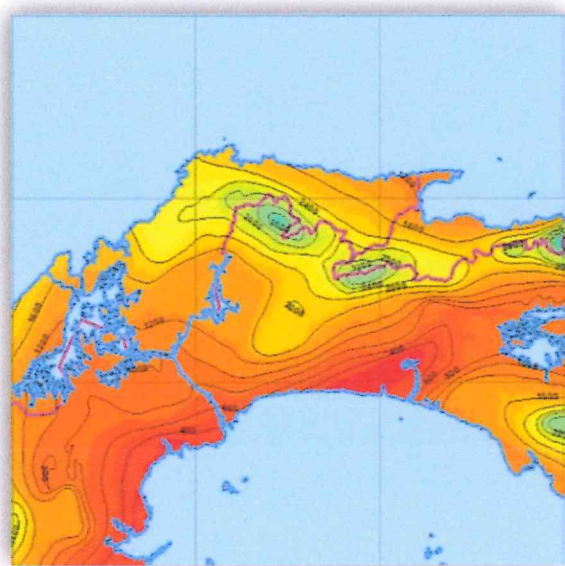


Ilustración 4 – Mapa de Escorrentía³

² Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Gerencia de Hidrometeorología. www.hidromet.com.pa

³ Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Gerencia de Hidrometeorología. www.hidromet.com.pa

La zona tiene un clima tropical húmedo con influencia del monzón. Las áreas no pobladas están siendo usadas como cultivos, pastizales y rastrojos.

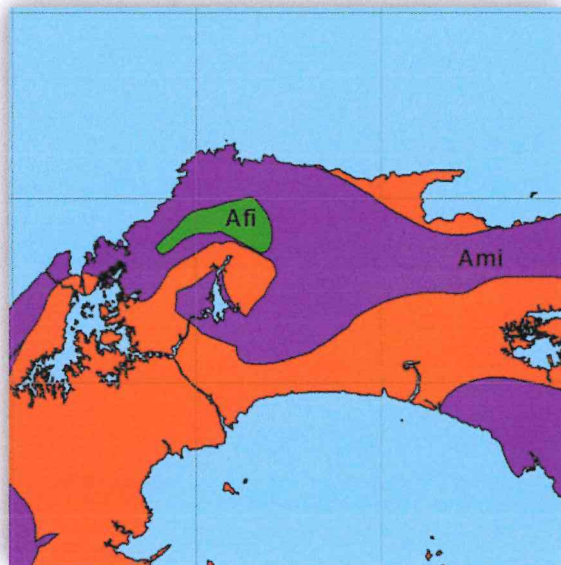


Ilustración 5 – Mapa de Clasificación Climática según Koppen⁴

La data de lluvias recomendada por el MOP para este tipo de estudios consiste en precipitaciones máximas en milímetros por hora para varias duraciones y frecuencias que fueron presentadas en el Estudio de Consultoría “Diseño del Sistema Pluvial de la Ciudad de Colón” elaborado para el Ministerio de Obras Públicas en 1981. Este se basa en datos estadísticos sobre precipitaciones pluviales en un periodo de 23 años, entre 1957 y 1979, que provienen de la Estación Meteorológica de Cristóbal adyacente a la ciudad de Colón. Esta información se encuentra en fórmulas como se muestra a continuación:

⁴ Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Gerencia de Hidrometeorología. www.hidromet.com.pa

$$i_{50} = \frac{15,508}{71.7 + T_c}$$

En la ecuación anterior, i_{50} es la intensidad de precipitación para un periodo de retorno de 50 años en mm/hr y T_c es el tiempo de concentración en minutos.

1.3. Caracterización de la fuente hídrica

1.3.1. Descripción Geomorfológica

- Área de la cuenca: Las áreas de drenaje de las cuencas de los tres ríos se muestra a continuación:

Rio	Área
	(km ²)
Rio Coco Solo	11.685
Rio Caño Sucio	3.966
Afluente Norte	0.169

Tabla 3 – Áreas de drenaje

- Pendiente promedio: La pendiente promedio de las cuencas de los tres ríos desde su nacimiento hasta sitio final identificado en la figura 1, calculadas mediante el método de Alvord, se muestra en la tabla a continuación, junto con la clasificación del tipo de relieve.

Esteban Gonzalo Sáenz Espino
INGENIERO CIVIL
Licencia N° 78-6-012

E. Sáenz

FIRMA
LEY 15 DEL 26 DE ENERO DE 1959
JUNTA TECNICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Río	Pendiente Promedio	Tipo de Relieve
Rio Coco Solo	21.9%	Fuertemente Accidentado
Rio Caño Sucio	5.01%	Suave
Afluente Norte	2.5%	Plano

Tabla 4 – Pendiente promedio de los ríos

El método de Alvord consiste en dividir la cuenca en franjas altitudinales y se obtiene la pendiente media de la cuenca al ponderar la pendiente hallada para cada franja en función de su área.

(“GRUPO 4 CUENCA HIDROGRAFICA | PDF | Cuenca de drenaje | Ambiente”)

- Índice de compacidad o de Gravelius: Este índice es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca.

(“Hidrología - Taller 3 | PDF | Cuenca de drenaje | Arc Gis”) (“Hidrología - Taller 3 | PDF |

Cuenca de drenaje | Arc Gis”) Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está

estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. El índice de compacidad de estas cuencas se muestra en la tabla a continuación:

Río	Índice de Compacidad	Tipo de Relieve
Rio Coco Solo	1.81	Forma oval-oblonga a rectangular-oblonga
Rio Caño Sucio	1.32	Forma oval-oblonga
Afluente Norte	1.52	Forma oval-oblonga a rectangular-oblonga

Tabla 5 – Índice de compacidad de las cuencas

- Curva hipsométrica: Esta curva constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región, lo que genera la base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas. Esta constituye una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre las elevaciones y su área. Este parámetro es especialmente útil para la comparación de cuencas y buscar similitudes. Algunos autores relacionan este parámetro a la edad de los ríos en la cuenca en particular. A continuación, mostramos las curvas hipsométricas de los ríos Coco Solo, Caño Sucio y Afluente Norte. De acuerdo con la edad de los tres ríos basados en la forma de las curvas hipsométricas podemos concluir que los tres se pueden considerar ríos viejos.

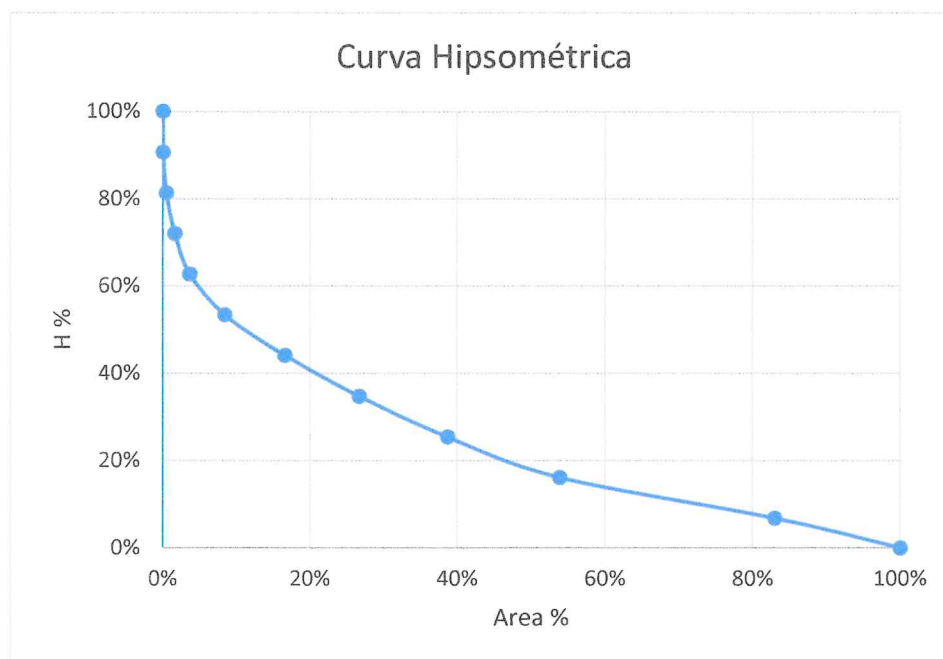
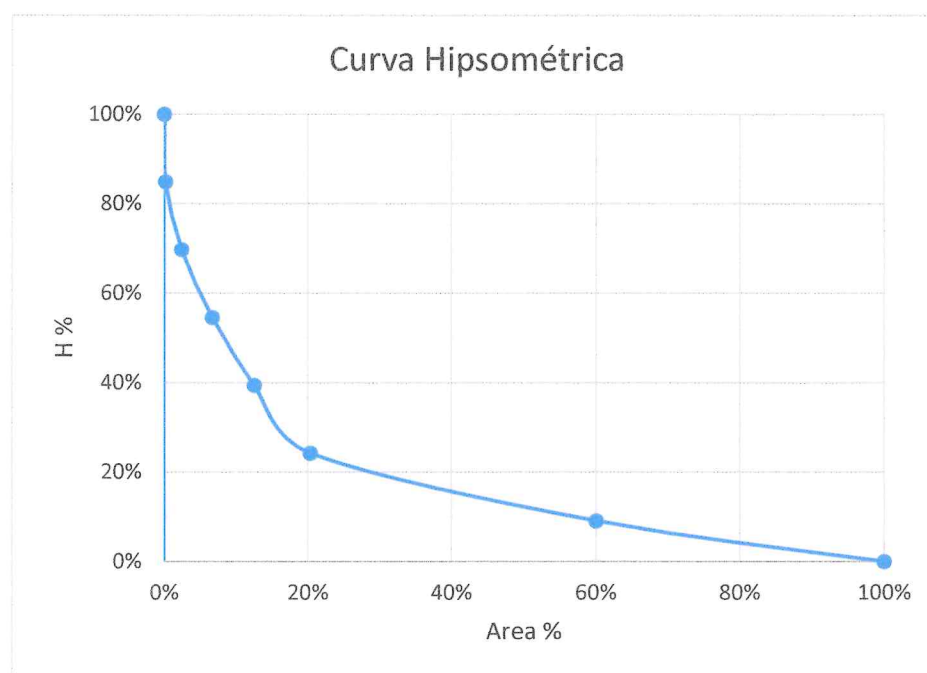
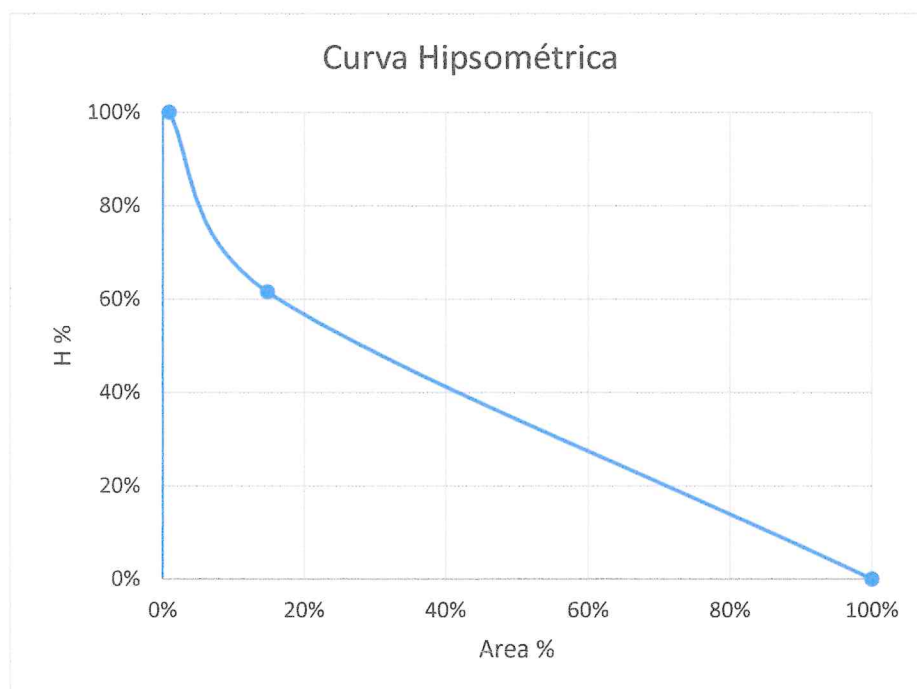


Ilustración 6 – Curva hipsométrica del Río Coco Solo

*Ilustración 7 – Curva hipsométrica del Rio Caño Sucio**Ilustración 8 – Curva hipsométrica del Rio Afluente Norte*

- Orden de la fuente a interferir:

En la Ilustración 1 se muestra la orden de los tres ríos. Se puede observar que el Río Coco Solo es de orden 4, el Río Caño Sucio es de orden 3 y el Río Afluente Norte es de orden 2. El análisis de la orden de las fuentes se basa en la topografía más reciente como se describe en la sección 1.2. En la Ilustración 1 se han marcado de azul los cursos de agua que componen cada río para poder identificar con mayor precisión la orden de cada uno. Las topografías utilizadas son las más recientes producidas por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia y se ha complementado con información recopilada del campo mediante levantamientos topográficos.

En la ilustración a continuación se puede observar en una escala ampliada lo que se muestra en la ilustración 1.

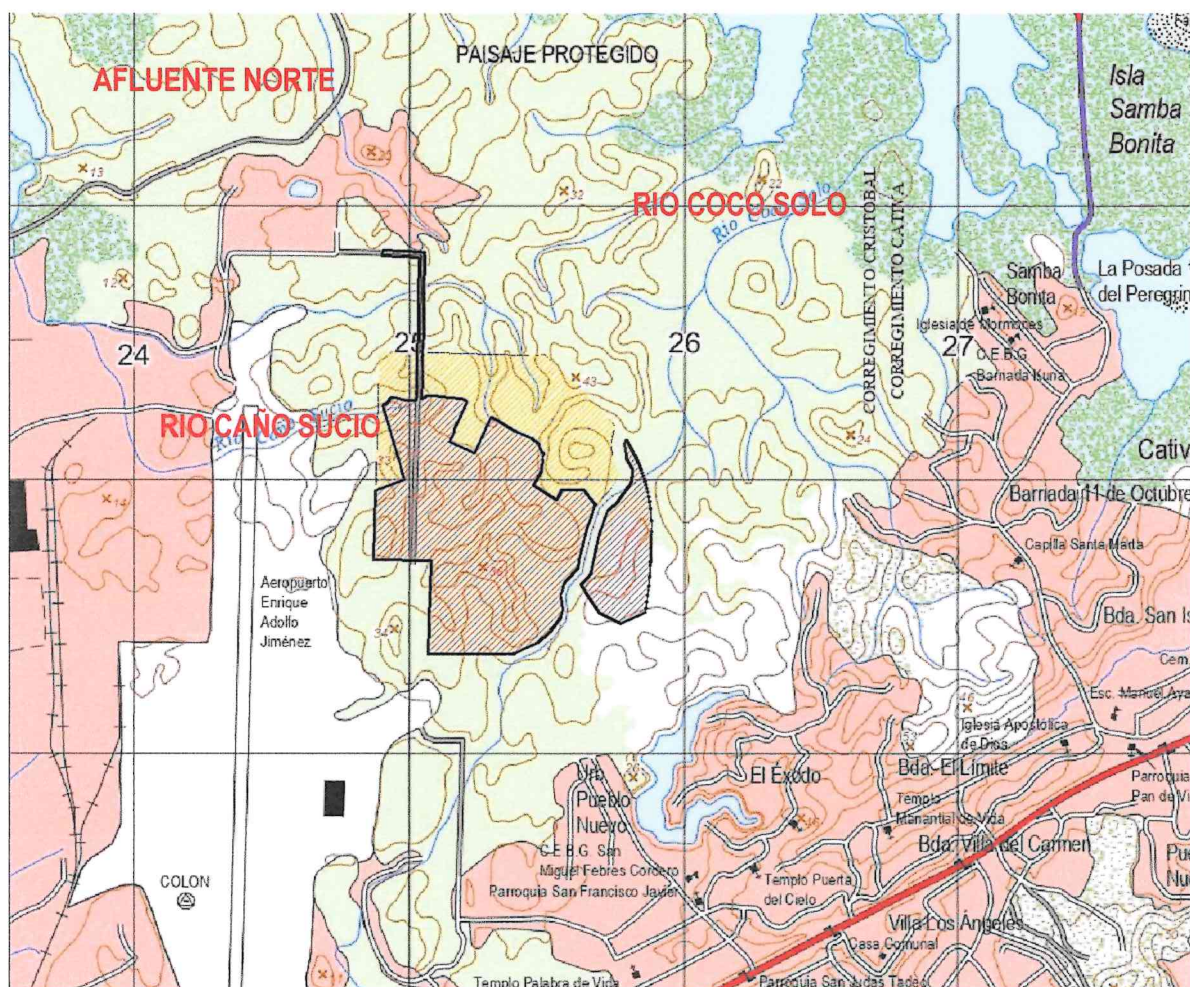


Ilustración 9 – Escala ampliada de la ilustración 1 mostrando la orden de los ríos

1.3.2. Hidrometría

En las cuencas de los ríos Coco Solo, Caño Sucio y Afluente Norte no existe ninguna estación hidrológica para el registro de caudales, sin embargo, podemos hacer unas estimaciones sobre la base de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana. Podemos inferir que el caudal mínimo en el Río Coco Solo es aproximadamente 95 litros por segundo y el caudal promedio es aproximadamente 1,150 litros por segundo. Para el Río Caño Sucio el caudal mínimo es aproximadamente 32 litros por segundo y el caudal medio 390 litros por segundo. El Río Afluente Norte tendría un caudal mínimo de aproximadamente 1.4 litros por segundo y un caudal medio de 17 litros por segundo, lo que implica que este afluente probablemente se seca completamente durante la época seca de enero a marzo.

1.3.3. Descripción Climática de la Cuenca

A continuación, mostramos algunos registros meteorológicos históricos obtenidos de IMHPA⁵ (Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá) para estaciones cercanas a los ríos estudiados.

⁵ <https://www.hidromet.com.pa/>

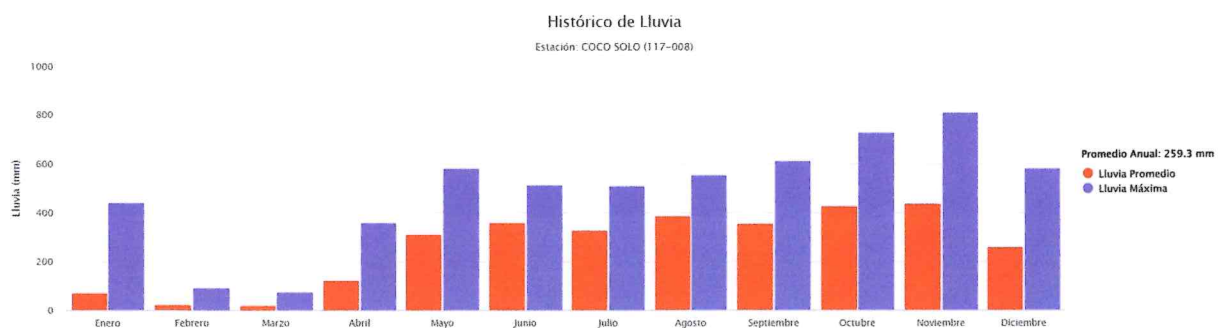


Ilustración 10 – Promedio histórico de precipitación promedio y máxima en Estación Coco Solo⁶

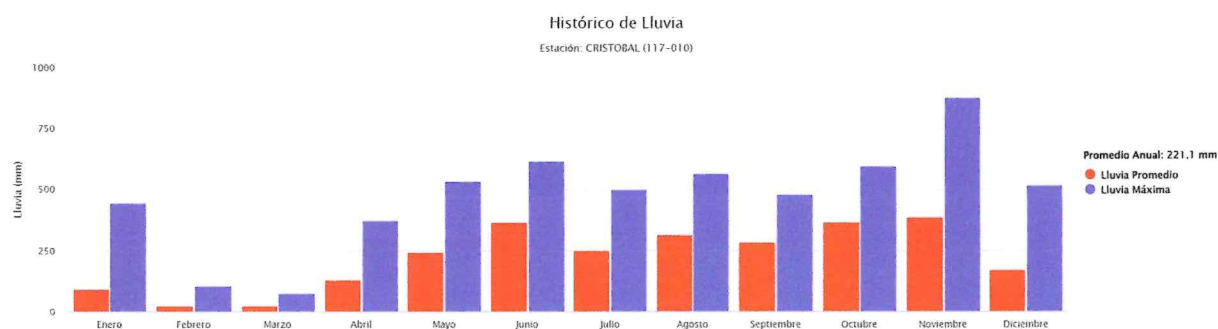


Ilustración 11 – Promedio histórico de precipitación promedio y máxima en Estación Cristóbal⁷

⁶ <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>

⁷ <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>



Ilustración 1 – Ubicación de las estaciones Coco Solo y Cristóbal

La estación meteorológica Coco Solo funcionó desde 1925 hasta 1996 y estaba ubicada muy cerca al sitio del proyecto. La precipitación mensual media anual registrada en ese periodo fue de 259.3 mm. El mes con mayor precipitación promedio mensual fue noviembre con 812.7 mm y el mes con menor precipitación mensual promedio fue marzo con 21.2 mm.

La estación meteorológica Cristóbal funciona desde 1890 y está ubicada en Cristóbal cerca del puerto del mismo nombre. La precipitación mensual media anual registrada es de 221.1 mm. El mes con mayor precipitación promedio mensual es noviembre con 876.1 mm y el mes con menor precipitación promedio mensual es marzo con 22.8 mm.

1.3.3. Mapa de Antecedentes de Inundación

En la ilustración a continuación se muestra el espejo de la inundación de 50 años de retorno bajo las condiciones existentes en el Rio Coco Solo. Adicionalmente, se muestran seguidamente los espejos de inundación de 100 y 1,000 años de retorno.

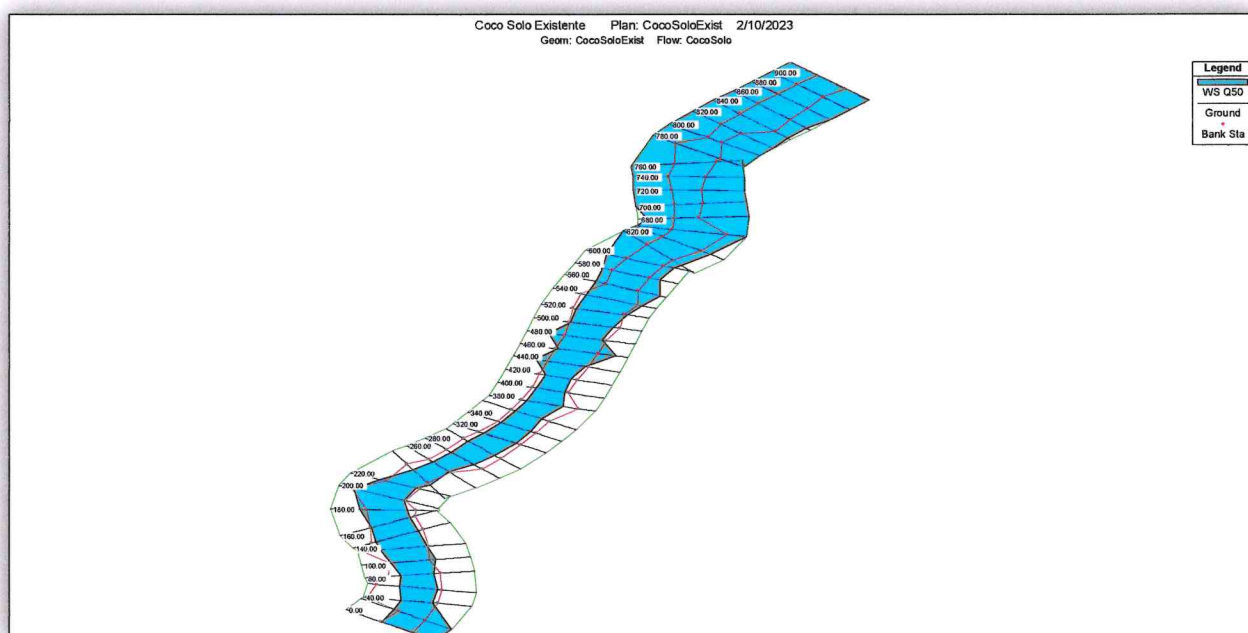


Ilustración 12 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 50 años

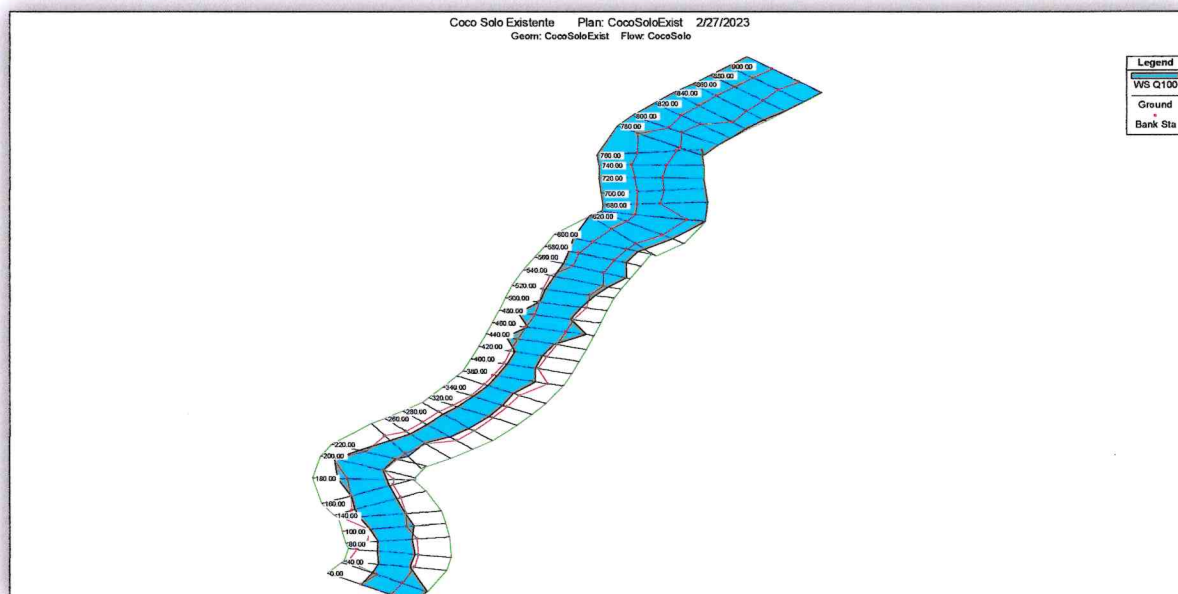


Ilustración 13 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 100 años

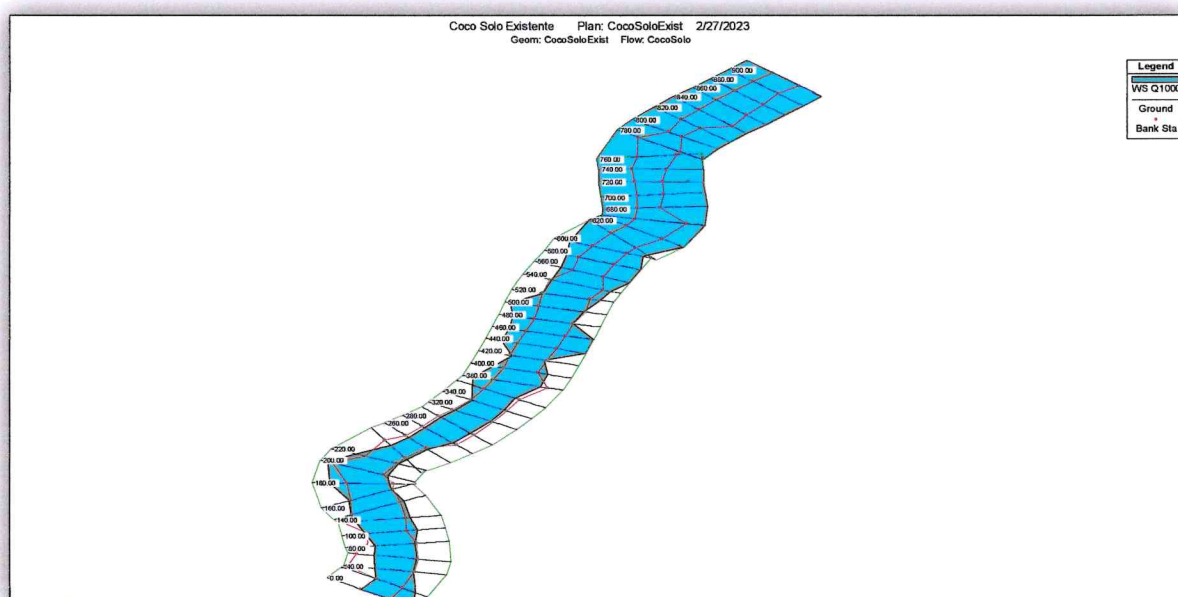


Ilustración 14 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para la crecida de 1000 años

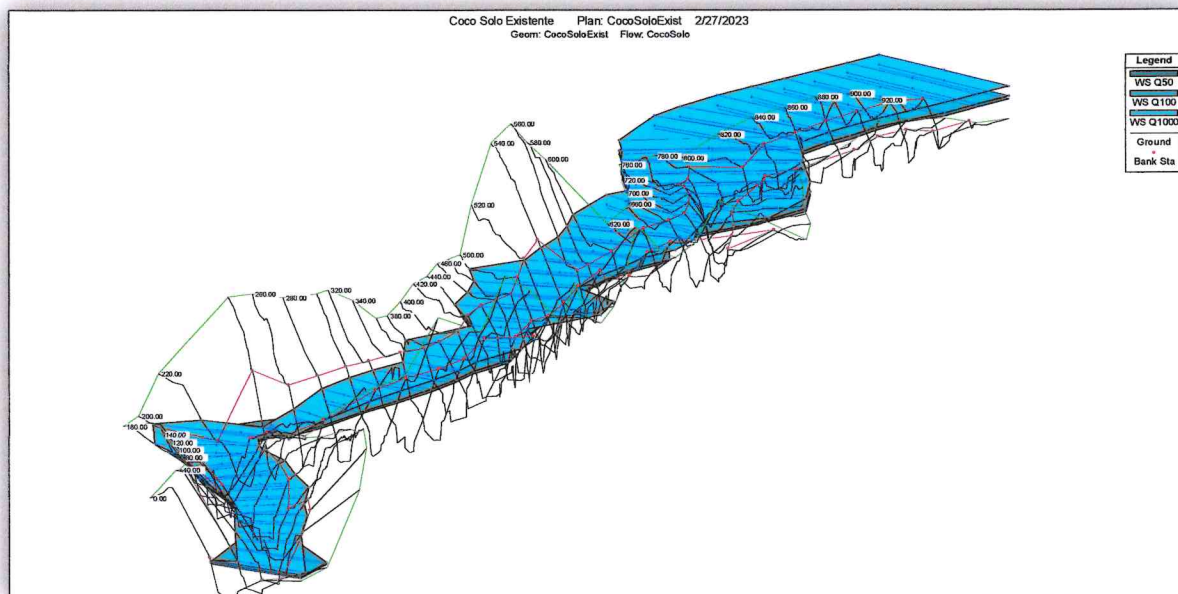


Ilustración 15 – Mapa de antecedentes de inundación bajo las condiciones existentes para las crecidas de 50, 100 y 1000 años

1.3.4. Descripción de la obra a realizar

La obra por realizar consiste en evaluar las características hidrológicas de cada río para apoyar tanto el estudio de impacto ambiental como el estudio hidráulico del Río Coco Solo. También se busca evaluar la capacidad del cauce del Río Coco Solo en el área de interés. Se evaluarán propuestas de mejora de acuerdo con los hallazgos y solo en caso de ser necesario. De realizar obras en el cauce, preferiblemente deben llevarse a cabo durante la estación seca para reducir la probabilidad de daños causados por crecidas durante la construcción.

1.4. Crecidas de Diseño

Utilizando la información de precipitación mostrada anteriormente y las características físicas de las cuencas, se procedió a estimar las crecidas de diseño para un periodo de retorno de 50 años. Estas crecidas de diseño fueron calculadas utilizando métodos y herramientas matemáticas ampliamente conocidas y validadas, las cuales se describen a continuación.

1.4.1. Método Racional

Este método, desarrollado por Kuichling (1889), se utiliza cuando se deben determinar las descargas máximas en un curso de agua. Este método no proporciona una serie temporal de flujo o volumen de flujo. Es un método simple y preciso, especialmente cuando la cuenca es principalmente impermeable. El Método Racional es apropiado para el diseño de alcantarillas, el diseño de drenaje de pavimentos y el diseño de alcantarillado pluvial⁸. El MOP aprueba y recomienda el uso de este método para cuencas de hasta 2.5 km² de área. Otros métodos, como el del hidrograma unitario paramétrico del Soil Conservation Service⁹ (SCS), del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU, considera coeficientes de escorrentías ponderados, llamados CN o Curve Number, sobre la base del uso de los suelos en toda la cuenca, sin embargo esto no es necesario para el uso del Método Racional para el cual el manual del MOP recomienda los coeficientes de escorrentía a utilizar basados en el uso actual y futuro de los suelos de la cuenca hidrográfica.

⁸ Washington State Department of Transportation, Hydraulics Manual,
<https://wsdot.wa.gov/engineering-standards/all-manuals-and-standards/manuals>

⁹ United States Army Corps of Engineers.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/surface-runoff/scs-unit-hydrograph-model>

La aplicación del método se basa en una simple fórmula que relaciona, en forma proporcional, la esorrentía de la cuenca con el área de drenaje y la intensidad de la lluvia para una duración particular equivalente al tiempo de concentración. La fórmula es:

$$Q = \frac{CiA}{3.6}$$

de donde

Q = Descarga de diseño (m^3/s)

C = Coeficiente de esorrentía adimensional

i = Intensidad de lluvia de diseño (mm/hr)

A = Área de drenaje en (km^2)

El MOP recomienda un coeficiente de esorrentía de 0.85 para áreas suburbanas y entre 0.90 y 1.00 para áreas urbanas deforestadas. Con los conceptos anteriores y la data mostrada en las tablas 1 y 2, se obtuvieron los siguientes resultados:

Estación	Tr	I	C	Q ₅₀
	(años)	(mm/hr)		(m ³ /s)
Rio Coco Solo	50	87.95	0.85	242.64
Rio Caño Sucio	50	140.18	0.85	131.27
Afluente Norte	50	168.63	0.85	6.72

Tabla 6– Crecidas de Diseño por el Método Racional

En la tabla anterior se muestra el periodo de retorno en años (Tr), la intensidad de la lluvia de diseño (I) en mm/hr para una duración igual al tiempo de concentración usando el método Kirpich, el coeficiente de escorrentía (C) y el caudal máximo instantáneo correspondiente (Q_{50}) en metros cúbicos por segundo. El método racional es el método adecuado para estimar la crecida del Afluente Norte, no así para los otros dos ríos.

1.4.2. Método del Análisis Regional de Crecidas Máximas

Este método se basa en el informe hecho por el Departamento de Hidrometeorología de ETESA en septiembre de 2008 denominado "Resumen Técnico - Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá – Período 1971-2006". Este se basa en la estadística de caudales máximos instantáneos en una región del país, agrupados por zonas similares hidrológicamente. Debido a que este método está basado en estadística real de crecidas en todo el país, su uso y aplicación son muy valiosos y confiables. Sobre la base de la aplicación de este método, la cuenca 117 no fue analizada. No obstante, cuencas colindantes pertenecen a la Zona 3 por lo cual para los fines de este estudio vamos a hacer el análisis considerando que esta cuenca se comporta hidrológicamente similar a la Zona 3 y por tanto se puede utilizar esta ecuación:

$$Q_{50} = 2.37 * 25 * A^{0.59}$$

de donde A es el área de drenaje en kilómetros cuadrados y Q es el caudal de 50 años en metros cúbicos por segundo.

Con el fin de evaluar otros escenarios más severos de crecidas, aunque no sean obligatorios para este tipo de estudio, a continuación, evaluaremos también las crecidas de 100 y 1,000 años de retorno. Las ecuaciones correspondientes a estos periodos de retorno son las siguientes:

$$Q_{100} = 2.68 * 25 * A^{0.59}$$

$$Q_{1000} = 3.81 * 25 * A^{0.59}$$

Con las consideraciones anteriores se obtienen los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Estación	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
Rio Coco Solo	252.68	285.74	406.21
Rio Caño Sucio	133.58	151.05	214.74
Afluente Norte	20.74	23.45	33.34

Tabla 4 – Crecida de Diseño de 50, 100 y 1000 años por el Método Regional

La tabla anterior muestra las crecidas de diseño de 50, 100 y 1,000 años mediante el Método del Análisis Regional de Crecidas (*Q*). Este método es recomendado por el MOP para cuencas hidrográficas que excedan los 2.5 km² en su área de drenaje. Este método, para el periodo de retorno de 50 años, es el apropiado para los ríos Coco Solo y Caño Sucio.

2. Estudio Hidráulico

El análisis de la hidráulica del Rio Coco Solo se llevó a cabo mediante el uso del modelo matemático por computadoras HEC-RAS¹⁰, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (Hydrologic Engineering Center's (CEIWR-HEC)). La aplicación del modelo se basó en la data hidrológica de los caudales descritos anteriormente, en topografía levantada en el campo y en características físicas observables en el campo y en los planos topográficos disponibles.

El modelo topográfico levantado en campo y descrito anteriormente junto con el modelo hidrológico ya explicado fue utilizado de insumo para la simulación matemática con el modelo HEC-RAS. Los resultados de esta simulación se muestran a continuación en forma de esquemáticos y perfiles de agua que demuestran el comportamiento esperado del rio para la condición existente y para la solución propuesta.

2.1. Condiciones Existentes

A continuación, mostramos los resultados de la simulación del rio en su condición existente. Puede observarse en el análisis mostrado a continuación el canal natural del rio durante una crecida de 50 años de recurrencia. También se pueden observar los niveles de inundación para los periodos de retorno de 100 y 1,000 años solo como comparación. Podrá notarse que la condición existente del cauce es satisfactoria y no requiere mejoras para acomodar los niveles de las crecidas, al igual que

¹⁰ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

no se afecta adversamente a otras propiedades aguas arriba y aguas abajo del proyecto si el rio es dejado en su estado natural.

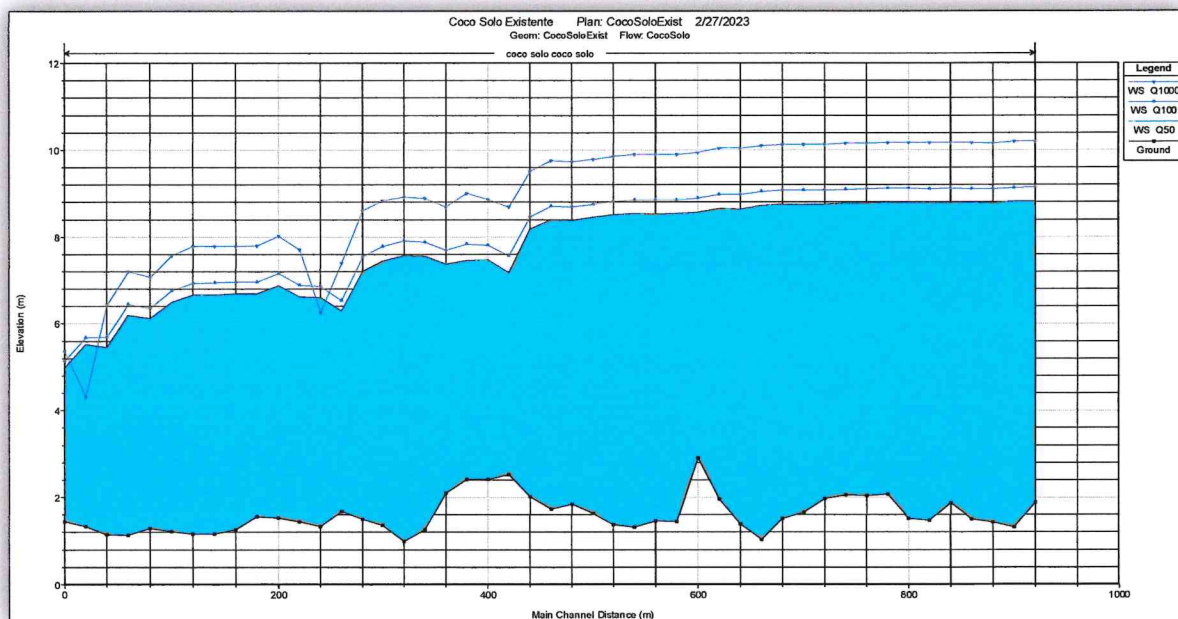


Ilustración 16 – Perfil de agua para el Rio Coco Solo en su condición natural

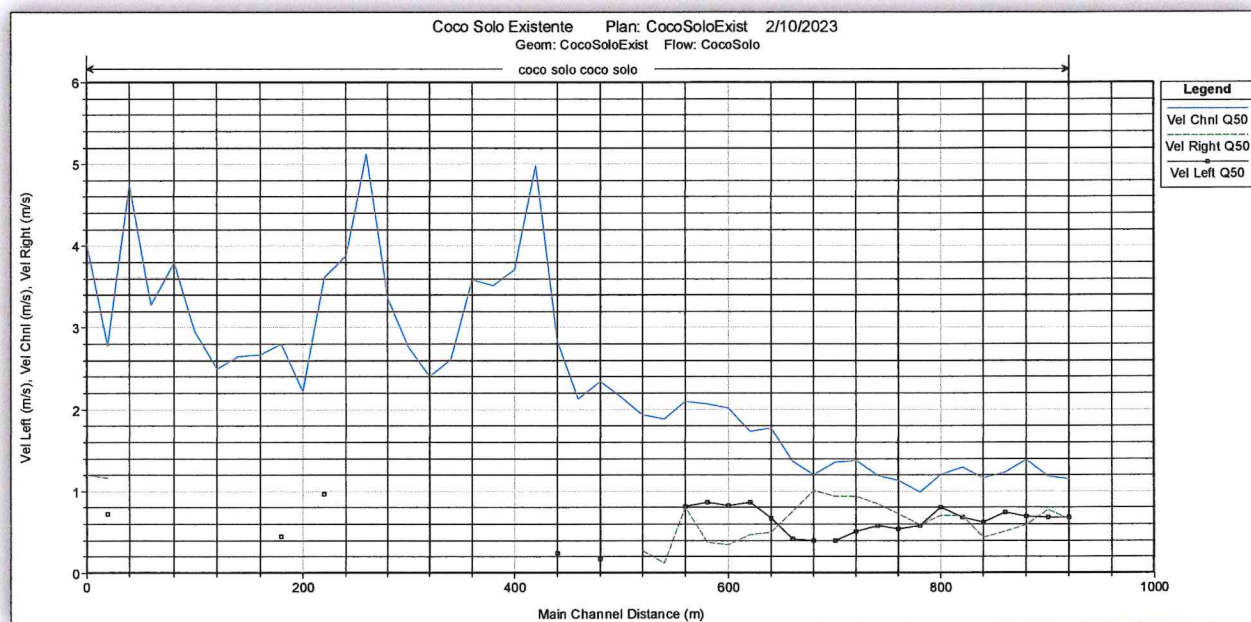


Ilustración 17 – Perfil de velocidades del Rio Coco Solo en su condición natural

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: CSExistente River: coco solo Reach: coco solo Profile: Q50												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
coco solo	920.00	Q50	252.08	1.89	8.81	6.28	8.86	0.000145	1.15	284.54	80.00	0.17
coco solo	900.00	Q50	252.08	1.32	8.81		8.86	0.000175	1.18	272.88	80.00	0.18
coco solo	880.00	Q50	252.08	1.44	8.77		8.85	0.000223	1.39	233.83	80.00	0.21
coco solo	860.00	Q50	252.08	1.51	8.78		8.84	0.000181	1.24	249.81	75.92	0.19
coco solo	840.00	Q50	252.08	1.87	8.78		8.84	0.000140	1.16	263.60	77.66	0.17
coco solo	820.00	Q50	252.08	1.48	8.78		8.84	0.000168	1.29	271.20	80.00	0.18
coco solo	800.00	Q50	252.08	1.52	8.78		8.83	0.000167	1.21	288.03	80.00	0.16
coco solo	780.00	Q50	252.08	2.07	8.78		8.82	0.000105	0.99	306.84	80.00	0.15
coco solo	760.00	Q50	252.08	2.04	8.77		8.82	0.000135	1.13	283.32	80.00	0.17
coco solo	740.00	Q50	252.08	2.06	8.76		8.82	0.000174	1.19	268.04	80.00	0.18
coco solo	720.00	Q50	252.08	1.97	8.74		8.81	0.000221	1.37	243.24	80.00	0.21
coco solo	700.00	Q50	252.08	1.66	8.74		8.81	0.000206	1.35	242.93	80.00	0.20
coco solo	680.00	Q50	252.08	1.52	8.74		8.80	0.000199	1.20	247.69	73.33	0.19
coco solo	660.00	Q50	252.08	1.04	8.71		8.79	0.000248	1.36	216.16	77.76	0.22
coco solo	640.00	Q50	252.08	1.40	8.63		8.78	0.000451	1.77	164.58	67.40	0.29
coco solo	620.00	Q50	252.08	1.95	8.64		8.77	0.000404	1.73	177.59	65.56	0.28
coco solo	600.00	Q50	252.08	2.91	8.56		8.75	0.000521	2.02	140.74	51.91	0.32
coco solo	580.00	Q50	252.08	1.45	8.53		8.74	0.000560	2.07	131.80	44.73	0.33
coco solo	560.00	Q50	252.08	1.46	8.52		8.73	0.000591	2.09	140.49	50.78	0.32
coco solo	540.00	Q50	252.08	1.32	8.53		8.71	0.000623	1.89	133.78	43.03	0.33
coco solo	520.00	Q50	252.08	1.38	8.50		8.69	0.000630	1.94	130.39	37.61	0.32
coco solo	500.00	Q50	252.08	1.63	8.44		8.67	0.000817	2.15	117.13	31.81	0.36
coco solo	480.00	Q50	252.08	1.84	8.37		8.65	0.000983	2.34	108.31	33.66	0.38
coco solo	460.00	Q50	252.08	1.73	8.39		8.62	0.000764	2.13	118.57	34.04	0.33
coco solo	440.00	Q50	252.08	2.02	8.17		8.58	0.001873	2.83	89.07	26.32	0.48
coco solo	420.00	Q50	252.08	2.52	7.16	7.12	8.43	0.008468	4.98	50.61	19.49	0.99
coco solo	400.00	Q50	252.08	2.41	7.46		8.16	0.003062	3.71	68.01	21.27	0.66
coco solo	380.00	Q50	252.08	2.42	7.45		8.08	0.002876	3.51	71.72	27.82	0.70
coco solo	360.00	Q50	252.08	2.10	7.37		8.02	0.002677	3.58	70.34	22.09	0.64
coco solo	340.00	Q50	252.08	1.27	7.55		7.90	0.001060	2.60	96.77	25.41	0.43
coco solo	320.00	Q50	252.08	0.99	7.57		7.86	0.000900	2.40	104.96	27.36	0.39
coco solo	300.00	Q50	252.08	1.36	7.44		7.83	0.001380	2.76	91.33	28.53	0.49
coco solo	280.00	Q50	252.08	1.51	7.20		7.78	0.002282	3.36	74.93	24.49	0.61
coco solo	260.00	Q50	252.08	1.68	6.29	6.24	7.63	0.006369	5.12	49.24	17.69	0.98
coco solo	240.00	Q50	252.08	1.34	6.60		7.37	0.003218	3.88	65.74	26.60	0.74
coco solo	220.00	Q50	252.08	1.45	6.62		7.28	0.002770	3.62	71.31	28.38	0.68
coco solo	200.00	Q50	252.08	1.53	6.87		7.12	0.001020	2.22	113.39	40.20	0.42
coco solo	180.00	Q50	252.08	1.56	6.68		7.08	0.001560	2.81	90.84	34.64	0.52
coco solo	160.00	Q50	252.08	1.26	6.68		7.04	0.001422	2.67	94.58	31.78	0.49
coco solo	140.00	Q50	252.08	1.17	6.66		7.01	0.001534	2.64	95.31	35.03	0.51
coco solo	120.00	Q50	252.08	1.16	6.66		6.97	0.001296	2.49	101.19	34.52	0.46
coco solo	100.00	Q50	252.08	1.22	6.49		6.93	0.001755	2.96	87.60	32.96	0.54
coco solo	80.00	Q50	252.08	1.29	6.12		6.85	0.003327	3.80	66.28	24.66	0.74
coco solo	60.00	Q50	252.08	1.14	6.19		6.74	0.002455	3.28	76.93	28.42	0.64
coco solo	40.00	Q50	252.08	1.15	5.45	5.45	6.60	0.006512	4.75	53.06	23.20	1.00
coco solo	20.00	Q50	252.08	1.33	5.52	4.55	5.86	0.001232	2.78	109.83	50.88	0.49
coco solo	0.00	Q50	252.08	1.44	4.98	4.98	5.78	0.004499	4.04	69.71	47.85	0.87

Total flow in cross section.

Tabla 7 – Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 50 años

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: CSExistente River: coco solo Reach: coco solo Profile: Q100												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
coco solo	920.00	Q100	285.74	1.89	9.14	6.42	9.19	0.000142	1.19	310.87	80.00	0.17
coco solo	900.00	Q100	285.74	1.32	9.14		9.19	0.000169	1.21	299.24	80.00	0.18
coco solo	880.00	Q100	285.74	1.44	9.10		9.19	0.000211	1.42	260.32	80.00	0.21
coco solo	860.00	Q100	285.74	1.51	9.11		9.18	0.000177	1.28	275.22	78.25	0.19
coco solo	840.00	Q100	285.74	1.87	9.11		9.17	0.000138	1.21	289.29	78.12	0.17
coco solo	820.00	Q100	285.74	1.48	9.11		9.17	0.000163	1.33	297.65	80.00	0.18
coco solo	800.00	Q100	285.74	1.52	9.11		9.16	0.000164	1.24	314.48	80.00	0.16
coco solo	780.00	Q100	285.74	2.07	9.11		9.16	0.000105	1.03	333.25	80.00	0.15
coco solo	760.00	Q100	285.74	2.04	9.10		9.15	0.000133	1.18	309.74	80.00	0.17
coco solo	740.00	Q100	285.74	2.06	9.10		9.15	0.000168	1.23	294.49	80.00	0.18
coco solo	720.00	Q100	285.74	1.97	9.08		9.15	0.000211	1.41	269.75	80.00	0.21
coco solo	700.00	Q100	285.74	1.66	9.07		9.14	0.000199	1.40	269.41	80.00	0.20
coco solo	680.00	Q100	285.74	1.52	9.07		9.14	0.000197	1.26	272.24	76.57	0.19
coco solo	660.00	Q100	285.74	1.04	9.04		9.13	0.000234	1.39	242.58	80.00	0.22
coco solo	640.00	Q100	285.74	1.40	8.97		9.12	0.000410	1.79	187.49	69.04	0.28
coco solo	620.00	Q100	285.74	1.95	8.97		9.10	0.000375	1.75	199.74	66.64	0.27
coco solo	600.00	Q100	285.74	2.91	8.89		9.09	0.000496	2.08	158.15	53.81	0.32
coco solo	580.00	Q100	285.74	1.45	8.85		9.08	0.000545	2.14	146.59	46.80	0.32
coco solo	560.00	Q100	285.74	1.46	8.85		9.06	0.000564	2.15	157.51	53.10	0.32
coco solo	540.00	Q100	285.74	1.32	8.85		9.04	0.000598	1.95	148.11	44.65	0.33
coco solo	520.00	Q100	285.74	1.38	8.82		9.03	0.000621	2.02	142.81	39.66	0.32
coco solo	500.00	Q100	285.74	1.63	8.75		9.01	0.000826	2.24	127.33	32.82	0.36
coco solo	480.00	Q100	285.74	1.84	8.68		8.99	0.001010	2.44	119.75	41.53	0.39
coco solo	460.00	Q100	285.74	1.73	8.70		8.96	0.000800	2.23	130.89	43.41	0.34
coco solo	440.00	Q100	285.74	2.02	8.47		8.91	0.001928	2.95	97.44	30.00	0.49
coco solo	420.00	Q100	285.74	2.52	7.56	7.38	8.77	0.007139	4.86	58.74	20.94	0.93
coco solo	400.00	Q100	285.74	2.41	7.81		8.54	0.002927	3.78	75.62	22.28	0.65
coco solo	380.00	Q100	285.74	2.42	7.84		8.45	0.002513	3.44	83.15	30.25	0.66
coco solo	360.00	Q100	285.74	2.10	7.70		8.39	0.002598	3.67	77.85	23.10	0.64
coco solo	340.00	Q100	285.74	1.27	7.89		8.26	0.001075	2.71	105.44	26.32	0.43
coco solo	320.00	Q100	285.74	0.99	7.91		8.22	0.000913	2.50	114.37	28.42	0.40
coco solo	300.00	Q100	285.74	1.36	7.79		8.19	0.001327	2.82	101.46	29.88	0.49
coco solo	280.00	Q100	285.74	1.51	7.55		8.14	0.002207	3.41	83.77	26.32	0.61
coco solo	260.00	Q100	285.74	1.68	6.53	6.53	7.98	0.006574	5.35	53.45	18.47	1.00
coco solo	240.00	Q100	285.74	1.34	6.87	6.16	7.68	0.003130	4.01	72.89	28.07	0.73
coco solo	220.00	Q100	285.74	1.45	6.89		7.59	0.002726	3.71	79.37	30.48	0.69
coco solo	200.00	Q100	285.74	1.53	7.16		7.43	0.000981	2.28	125.10	41.29	0.42
coco solo	180.00	Q100	285.74	1.56	6.96		7.39	0.001525	2.90	100.86	37.96	0.52
coco solo	160.00	Q100	285.74	1.26	6.96		7.35	0.001421	2.76	103.50	33.00	0.50
coco solo	140.00	Q100	285.74	1.17	6.94		7.31	0.001500	2.71	105.43	36.81	0.51
coco solo	120.00	Q100	285.74	1.16	6.94		7.27	0.001285	2.57	111.04	35.92	0.47
coco solo	100.00	Q100	285.74	1.22	6.76		7.23	0.001698	3.06	96.76	34.14	0.54
coco solo	80.00	Q100	285.74	1.29	6.36		7.15	0.003412	3.94	72.44	26.09	0.76
coco solo	60.00	Q100	285.74	1.14	6.45		7.03	0.002443	3.39	84.30	29.51	0.64
coco solo	40.00	Q100	285.74	1.15	5.70	5.70	6.90	0.006383	4.85	58.96	24.78	1.00
coco solo	20.00	Q100	285.74	1.33	5.68	4.74	6.07	0.001292	2.94	118.33	51.36	0.51
coco solo	0.00	Q100	285.74	1.44	5.15	5.15	5.98	0.004407	4.17	77.57	48.07	0.87

Critical water surface elevation. Water surface corresponding to the minimum energy on the energy versus depth curve.

Tabla 8 Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 100 años

Profile Output Table - Standard Table 1												Reload Data
HEC-RAS Plan: CSExistente River: coco solo Reach: coco solo Profile: Q1000												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
coco solo	920.00	Q1000	406.21	1.89	10.19	6.80	10.26	0.000136	1.33	395.00	80.00	0.18
coco solo	900.00	Q1000	406.21	1.32	10.19		10.26	0.000157	1.34	383.45	80.00	0.18
coco solo	880.00	Q1000	406.21	1.44	10.16		10.25	0.000187	1.52	344.76	80.00	0.20
coco solo	860.00	Q1000	406.21	1.51	10.16		10.24	0.000164	1.41	359.44	80.00	0.18
coco solo	840.00	Q1000	406.21	1.87	10.16		10.24	0.000132	1.34	372.58	80.00	0.17
coco solo	820.00	Q1000	406.21	1.48	10.16		10.23	0.000156	1.45	382.08	80.00	0.18
coco solo	800.00	Q1000	406.21	1.52	10.17		10.23	0.000159	1.35	398.93	80.00	0.16
coco solo	780.00	Q1000	406.21	2.07	10.17		10.22	0.000104	1.17	417.58	80.00	0.15
coco solo	760.00	Q1000	406.21	2.04	10.16		10.22	0.000130	1.32	394.10	80.00	0.17
coco solo	740.00	Q1000	406.21	2.06	10.15		10.22	0.000156	1.36	378.91	80.00	0.18
coco solo	720.00	Q1000	406.21	1.97	10.13		10.21	0.000190	1.53	354.30	80.00	0.20
coco solo	700.00	Q1000	406.21	1.66	10.13		10.21	0.000184	1.53	353.93	80.00	0.20
coco solo	680.00	Q1000	406.21	1.52	10.13		10.20	0.000187	1.41	356.54	80.00	0.19
coco solo	660.00	Q1000	406.21	1.04	10.10		10.20	0.000200	1.50	327.34	80.00	0.21
coco solo	640.00	Q1000	406.21	1.40	10.03		10.19	0.000325	1.87	264.35	76.09	0.26
coco solo	620.00	Q1000	406.21	1.95	10.04		10.18	0.000314	1.86	272.42	70.09	0.26
coco solo	600.00	Q1000	406.21	2.91	9.94		10.16	0.000432	2.24	218.06	60.04	0.31
coco solo	580.00	Q1000	406.21	1.45	9.89		10.15	0.000495	2.35	202.33	60.07	0.32
coco solo	560.00	Q1000	406.21	1.46	9.90		10.13	0.000488	2.30	216.48	57.25	0.31
coco solo	540.00	Q1000	406.21	1.32	9.89		10.12	0.000535	2.12	196.73	48.58	0.32
coco solo	520.00	Q1000	406.21	1.38	9.85		10.11	0.000590	2.24	187.06	45.86	0.33
coco solo	500.00	Q1000	406.21	1.63	9.78		10.09	0.000801	2.47	172.62	57.91	0.37
coco solo	480.00	Q1000	406.21	1.84	9.72		10.07	0.000932	2.64	165.85	47.11	0.38
coco solo	460.00	Q1000	406.21	1.73	9.75		10.03	0.000736	2.40	190.18	66.33	0.34
coco solo	440.00	Q1000	406.21	2.02	9.52		9.99	0.001697	3.09	144.53	66.22	0.49
coco solo	420.00	Q1000	406.21	2.52	8.70		9.87	0.005149	4.79	84.78	25.07	0.83
coco solo	400.00	Q1000	406.21	2.41	8.86		9.69	0.002694	4.02	101.10	29.60	0.65
coco solo	380.00	Q1000	406.21	2.42	9.01		9.57	0.001833	3.31	124.15	47.78	0.58
coco solo	360.00	Q1000	406.21	2.10	8.69		9.50	0.002487	3.97	102.33	26.34	0.64
coco solo	340.00	Q1000	406.21	1.27	8.89		9.37	0.001147	3.04	133.48	29.39	0.46
coco solo	320.00	Q1000	406.21	0.99	8.92		9.32	0.000976	2.80	145.15	32.20	0.42
coco solo	300.00	Q1000	406.21	1.36	8.83		9.29	0.001237	3.02	134.65	33.92	0.48
coco solo	280.00	Q1000	406.21	1.51	8.60		9.24	0.001998	3.55	114.44	31.83	0.60
coco solo	260.00	Q1000	406.21	1.68	7.40	7.40	9.08	0.006095	5.73	71.09	23.12	0.99
coco solo	240.00	Q1000	406.21	1.34	6.26	7.04	8.83	0.011274	7.09	57.35	22.01	1.37
coco solo	220.00	Q1000	406.21	1.45	7.71	6.91	8.51	0.002479	4.02	106.75	35.79	0.68
coco solo	200.00	Q1000	406.21	1.53	8.02		8.34	0.000902	2.51	163.14	50.80	0.42
coco solo	180.00	Q1000	406.21	1.56	7.80		8.30	0.001431	3.17	136.24	45.72	0.52
coco solo	160.00	Q1000	406.21	1.26	7.78		8.26	0.001436	3.07	132.33	37.21	0.51
coco solo	140.00	Q1000	406.21	1.17	7.79		8.22	0.001427	2.91	140.04	46.11	0.51
coco solo	120.00	Q1000	406.21	1.16	7.78		8.19	0.001256	2.84	143.66	42.44	0.48
coco solo	100.00	Q1000	406.21	1.22	7.56		8.14	0.001620	3.42	126.09	40.73	0.55
coco solo	80.00	Q1000	406.21	1.29	7.08		8.06	0.003658	4.38	92.75	30.35	0.80
coco solo	60.00	Q1000	406.21	1.14	7.19		7.92	0.002509	3.78	107.55	32.73	0.67
coco solo	40.00	Q1000	406.21	1.15	6.44	6.44	7.78	0.006038	5.14	79.06	29.57	1.00
coco solo	20.00	Q1000	406.21	1.33	4.31	5.37	7.41	0.018461	7.94	55.63	36.43	1.76
coco solo	0.00	Q1000	406.21	1.44	5.36	5.60	6.67	0.006370	5.28	88.06	48.36	1.06
Total flow in cross section.												

Tabla 9 – Perfil de agua del Rio Coco Solo en su condición natural para la crecida de 1000 años

2.2. Posibles mejoras al cauce

Los niveles de inundación para la crecida de diseño del Rio Coco Solo se encuentran razonablemente bajos para el desarrollo planeado y no están en capacidad de dañar propiedades aledañas. De todas formas, si en algún momento se propusiera mejorar el cauce mediante una limpieza y conformación para remover sedimentos, se puede considerar la solución que se plantea a continuación

La mejora al cauce se puede lograr mediante la canalización por medio de una sección trapezoidal con taludes 1 a 1 en conjunto con un enderezamiento del fondo del canal, partiendo de la estación final 0K+920.00 a una elevación de 1.33 msnm y continuando aguas abajo hasta la estación 0K+000 a una elevación de 1.15 msnm, lo que representa una pendiente de 0.02% aproximadamente. Se simularon varias alternativas para la canalización, desde 8 hasta 12 metros de ancho de fondo. En la tabla a continuación se observan los niveles máximos y mínimos en msnm alcanzados por la crecida bajo los tres escenarios de canalización, W8, W10 y W12 que representan respectivamente los anchos de fondo de 8, 10 y 12 metros.

Propuesta	Elevación Max	Elevación Min
	Estación 0K+920	Estación 0k+000
W8	8.39	7.58
W10	8.18	7.49
W12	7.97	7.37

Tabla 10 – Alternativas de mejora de cauce

La mejor alternativa sería la de un canal trapezoidal de ancho de fondo $W=12$ metros ya que produce una reducción en los niveles de inundación durante la crecida de 50 años. A continuación, mostramos los resultados de la simulación del río bajo estas condiciones de esta opción. Puede observarse también que bajo la solución propuesta se reducen las velocidades del flujo en el cauce. Esta alternativa, aunque opcional, reduciría igualmente los niveles que las crecidas alcanzarían tanto aguas abajo como aguas arriba del proyecto.

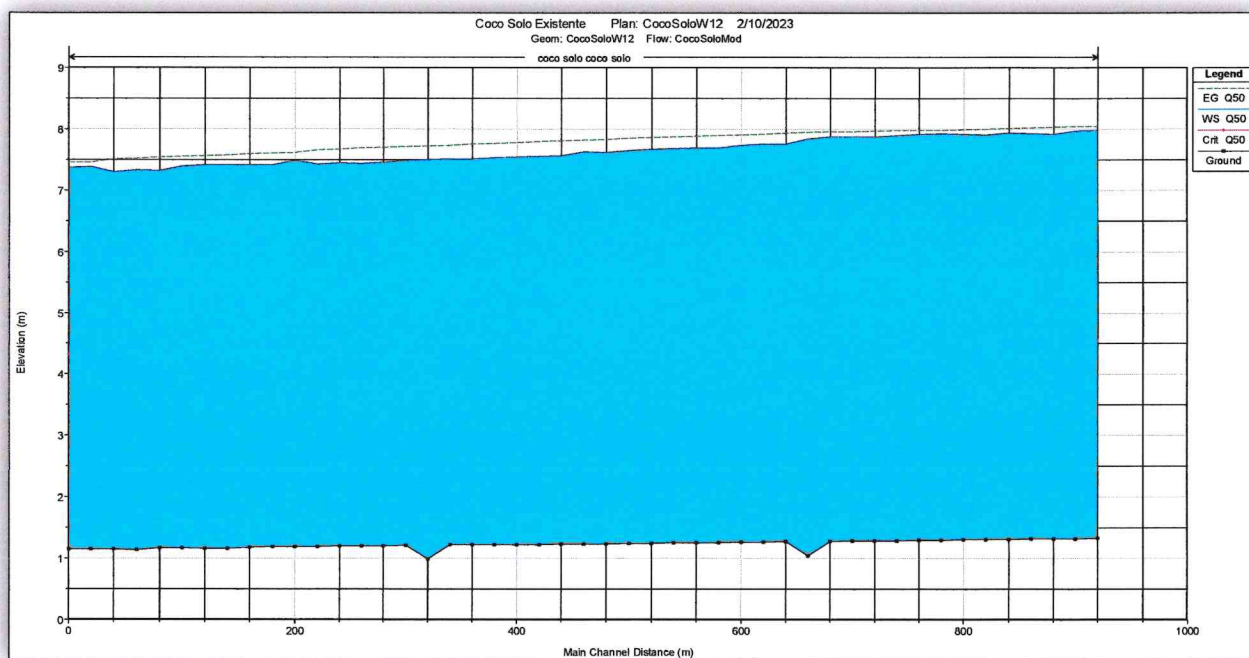


Ilustración 18 – Perfil de agua para el Rio Coco Solo durante la crecida de 50 años y W12

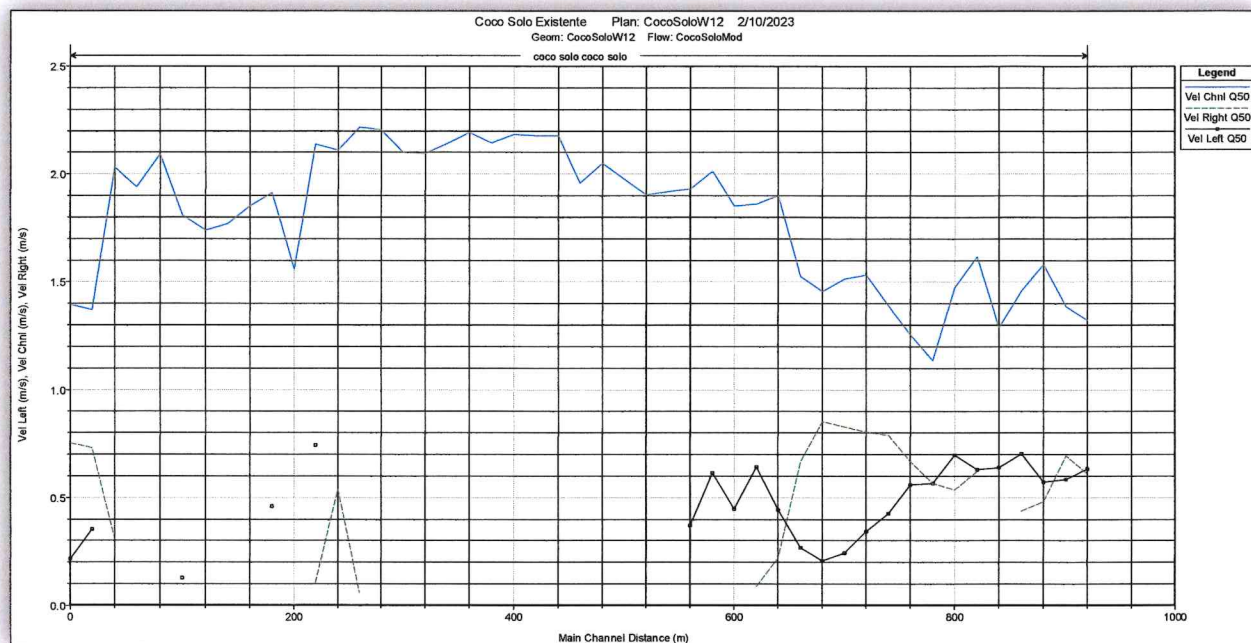


Ilustración 19 - Perfil de velocidades del Río Coco Solo durante la crecida de 50 años y W12

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: CCSW12 River: coco solo Reach: coco solo Profile: Q50												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
coco solo	920.00	Q50	252.08	1.33	7.97	4.56	8.04	0.000183	1.32	251.10	80.00	0.19
coco solo	900.00	Q50	252.08	1.32	7.96		8.04	0.000202	1.38	241.78	80.00	0.20
coco solo	880.00	Q50	252.08	1.32	7.92		8.03	0.000277	1.58	197.05	75.97	0.23
coco solo	860.00	Q50	252.08	1.32	7.93		8.02	0.000247	1.46	210.04	72.40	0.22
coco solo	840.00	Q50	252.08	1.31	7.93		8.01	0.000238	1.29	220.95	74.45	0.22
coco solo	820.00	Q50	252.08	1.31	7.90		8.00	0.000214	1.62	224.21	78.42	0.21
coco solo	800.00	Q50	252.08	1.31	7.91		7.99	0.000178	1.47	247.78	80.00	0.19
coco solo	780.00	Q50	252.08	1.30	7.93		7.98	0.000143	1.13	268.38	80.00	0.17
coco solo	760.00	Q50	252.08	1.30	7.91		7.98	0.000157	1.25	247.95	75.75	0.18
coco solo	740.00	Q50	252.08	1.29	7.90		7.97	0.000194	1.39	238.88	79.83	0.20
coco solo	720.00	Q50	252.08	1.29	7.87		7.97	0.000227	1.53	215.60	74.36	0.21
coco solo	700.00	Q50	252.08	1.29	7.87		7.96	0.000223	1.51	213.04	68.42	0.21
coco solo	680.00	Q50	252.08	1.28	7.87		7.95	0.000203	1.46	220.08	64.79	0.20
coco solo	660.00	Q50	252.08	1.04	7.83		7.95	0.000318	1.52	183.15	66.50	0.25
coco solo	640.00	Q50	252.08	1.28	7.75		7.93	0.000522	1.90	140.87	55.82	0.31
coco solo	620.00	Q50	252.08	1.27	7.75		7.92	0.000443	1.86	155.05	58.49	0.29
coco solo	600.00	Q50	252.08	1.27	7.74		7.91	0.000415	1.85	141.41	40.70	0.28
coco solo	580.00	Q50	252.08	1.26	7.69		7.90	0.000490	2.01	129.24	33.51	0.30
coco solo	560.00	Q50	252.08	1.26	7.69		7.88	0.000455	1.93	138.90	44.93	0.29
coco solo	540.00	Q50	252.08	1.26	7.68		7.87	0.000563	1.92	131.42	34.86	0.32
coco solo	520.00	Q50	252.08	1.25	7.67		7.86	0.000555	1.90	132.52	33.37	0.30
coco solo	500.00	Q50	252.08	1.25	7.65		7.85	0.000543	1.98	127.62	29.92	0.31
coco solo	480.00	Q50	252.08	1.24	7.62		7.83	0.000540	2.05	122.98	26.96	0.31
coco solo	460.00	Q50	252.08	1.24	7.62		7.82	0.000466	1.96	128.72	27.81	0.29
coco solo	440.00	Q50	252.08	1.24	7.56		7.80	0.000572	2.18	115.84	24.64	0.32
coco solo	420.00	Q50	252.08	1.23	7.55		7.79	0.000568	2.18	115.78	24.64	0.32
coco solo	400.00	Q50	252.08	1.23	7.54		7.78	0.000572	2.18	115.47	24.61	0.32
coco solo	380.00	Q50	252.08	1.22	7.53		7.77	0.000624	2.15	117.51	28.32	0.34
coco solo	360.00	Q50	252.08	1.22	7.51		7.75	0.000579	2.19	114.98	24.57	0.32
coco solo	340.00	Q50	252.08	1.22	7.50		7.74	0.000557	2.14	117.80	25.69	0.32
coco solo	320.00	Q50	252.08	0.99	7.50		7.72	0.000546	2.09	120.36	27.19	0.32
coco solo	300.00	Q50	252.08	1.21	7.49		7.71	0.000583	2.10	119.92	28.70	0.33
coco solo	280.00	Q50	252.08	1.20	7.45		7.70	0.000616	2.20	114.40	25.81	0.33
coco solo	260.00	Q50	252.08	1.20	7.44		7.69	0.000595	2.22	113.71	24.94	0.33
coco solo	240.00	Q50	252.08	1.20	7.44		7.67	0.000548	2.11	123.78	34.47	0.32
coco solo	220.00	Q50	252.08	1.19	7.43		7.66	0.000563	2.14	123.24	34.41	0.33
coco solo	200.00	Q50	252.08	1.19	7.49		7.62	0.000339	1.56	161.68	42.55	0.26
coco solo	180.00	Q50	252.08	1.19	7.42		7.60	0.000467	1.91	137.20	42.62	0.30
coco solo	160.00	Q50	252.08	1.18	7.41		7.59	0.000471	1.85	136.10	35.01	0.30
coco solo	140.00	Q50	252.08	1.17	7.42		7.58	0.000478	1.77	142.59	40.55	0.30
coco solo	120.00	Q50	252.08	1.16	7.41		7.56	0.000428	1.74	144.97	39.19	0.29
coco solo	100.00	Q50	252.08	1.17	7.39		7.55	0.000465	1.81	139.45	38.31	0.30
coco solo	80.00	Q50	252.08	1.17	7.31		7.54	0.000635	2.09	120.42	31.75	0.34
coco solo	60.00	Q50	252.08	1.14	7.33		7.52	0.000517	1.94	130.01	33.30	0.31
coco solo	40.00	Q50	252.08	1.15	7.29		7.50	0.000601	2.03	124.97	36.63	0.34
coco solo	20.00	Q50	252.08	1.15	7.38		7.46	0.000161	1.37	223.50	56.90	0.19
coco solo	0.00	Q50	252.08	1.15	7.37	4.33	7.46	0.000197	1.40	208.88	53.78	0.20
Total flow in cross section.												

Tabla 11 – Perfil de agua del Rio Coco Solo

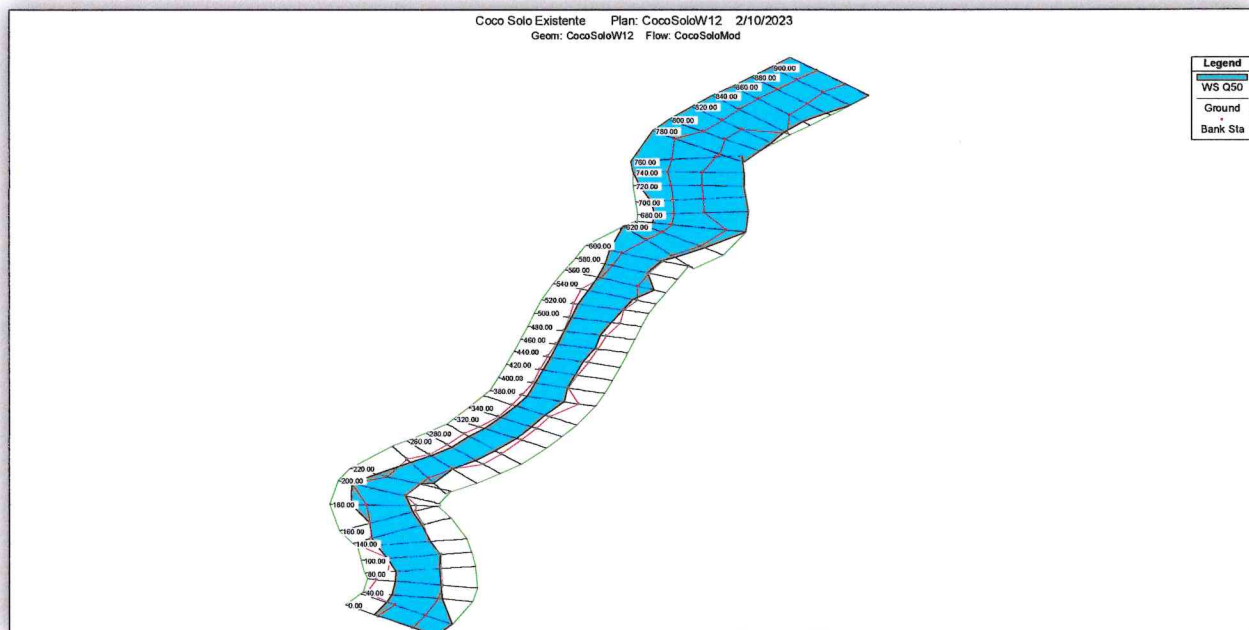


Ilustración 20 – Mapa de inundación para la opción de mejora de cauce

3. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis anterior incluye los aspectos hidrológicos de la cuenca. Este fue un primer paso que luego fue complementado con un análisis hidráulico sobre la base de topografías especiales. Con la información hidrológica disponible es posible hacer evaluaciones ambientales y planear las siguientes fases de cualquier desarrollo que se quiera llevar a cabo en el sitio.

El análisis hidráulico muestra los niveles de aguas máximas esperadas en cada sección del río Coco Solo para la condición existente. Puede observarse que los niveles de la crecida de diseño se pueden manejar adecuadamente con el cauce existente para el desarrollo propuesto.

Una solución opcional y no obligatoria, consiste en una mejora de cauce y enderezamiento del alineamiento vertical del fondo del río mediante una sección trapezoidal de 12 metros de ancho de fondo y taludes 1 a 1. Esta opción más bien consiste en una limpieza y conformación del cauce existente para remover sedimentos acumulados. Es sumamente importante mantener un programa de limpieza de cauce y estructuras hidráulicas a lo largo de la porción del río que pasa por el proyecto y hasta su desembocadura, la remoción de escombros, basura y sedimentos es crucial para cumplir con el propósito del diseño propuesto.

Esteban Gonzalo Sáenz Espino
INGENIERO CIVIL
Licencia N° 78-6-012

FIRMA
LEY 15 DEL 26 DE ENERO DE 1959
JUNTA TECNICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA