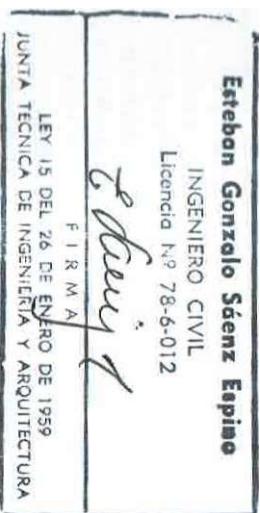


Estudio Hidrológico e Hidráulico del Río Caño Sucio



Presentado por

Esteban G. Sáenz

Revisión: marzo 2021

Contenido

1.	Estudio Hidrológico	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Información Básica	1
1.3.	Crecidas de Diseño	10
1.3.1.	Método Racional	10
1.3.2.	Método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)	12
2.	Estudio Hidráulico	15
2.1	Condiciones Existentes	16
2.2	Canal del Río Caño Sucio mejorado $b=2$	18
2.3	Canal del Río Caño Sucio mejorado $b=3$	19
3.	Conclusiones y Recomendaciones	21

Índice de Tablas

Tabla 1 - Características Físicas de las Cuencas Hidrográficas	4
Tabla 2 - Métodos para la estimación del tiempo de concentración	4
Tabla 3 – Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias, MOP Atlántico	8
Tabla 4 – Crecidas de Diseño – Método Racional	11
Tabla 5 – Grupo hidrológico del suelo y descripción del uso de la tierra	12
Tabla 6 – Descripción de los grupos hidrológicos del suelo	12
Tabla 7 – Crecidas de 50 años para el Río Caño Sucio	13
Tabla 8 – Crecidas de 100 años para el Río Caño Sucio	14
Tabla 9 – Enderezamiento del perfil	18
Tabla 10 – Secciones de canalización	18

Índice de Figuras

Figura 1 – Cuencas hidrográficas de los cursos de agua	2
Figura 2 – Mapa Google Earth mostrando el uso actual del suelo	3
Figura 3 – Cuenca Hidrográfica	6
Figura 4 – Mapa de Isoyetas	7
Figura 5 – Mapa de Escorrentía	7
Figura 6 – Mapa de Clasificación Climática según Koppen	8
Figura 7 – Histograma MOP-ATL para periodo de retorno de 50 años	9
Figura 8 – Histograma MOP-ATL para periodo de retorno de 100 años	9
Figura 9 – Perfil de Velocidades Río Caño Sucio	16
Figura 10 – Perfil de Velocidades Río Caño Sucio	17
Figura 11 – Perfil de Agua Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=2$	18
Figura 12 – Perfil de velocidades Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=2$	19
Figura 13 – Perfil de Agua Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=3$	20
Figura 14 – Perfil de velocidades Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=3$	20

Estudio Hidrológico e Hidráulico del Río Caño Sucio

1. Estudio Hidrológico

1.1. Introducción

El análisis presentado a continuación se concentra en el Río Caño Sucio y sus afluentes que descarga en el Mar Caribe al norte del país en la Provincia de Colón. El proyecto consiste en el análisis hidrológico de estos cursos de agua en el sitio 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). Con esta información se estimarán 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.

1.2. Información Básica

Las características físicas de las cuencas hidrográficas se obtuvieron del mosaico topográfico 4244 III, Colón, 4244-III-SE y 4244-III-SW preparados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG). Esta información se complementó con observaciones y topografía en campo. En la siguiente figura se muestran las cuencas de estos cursos de agua.

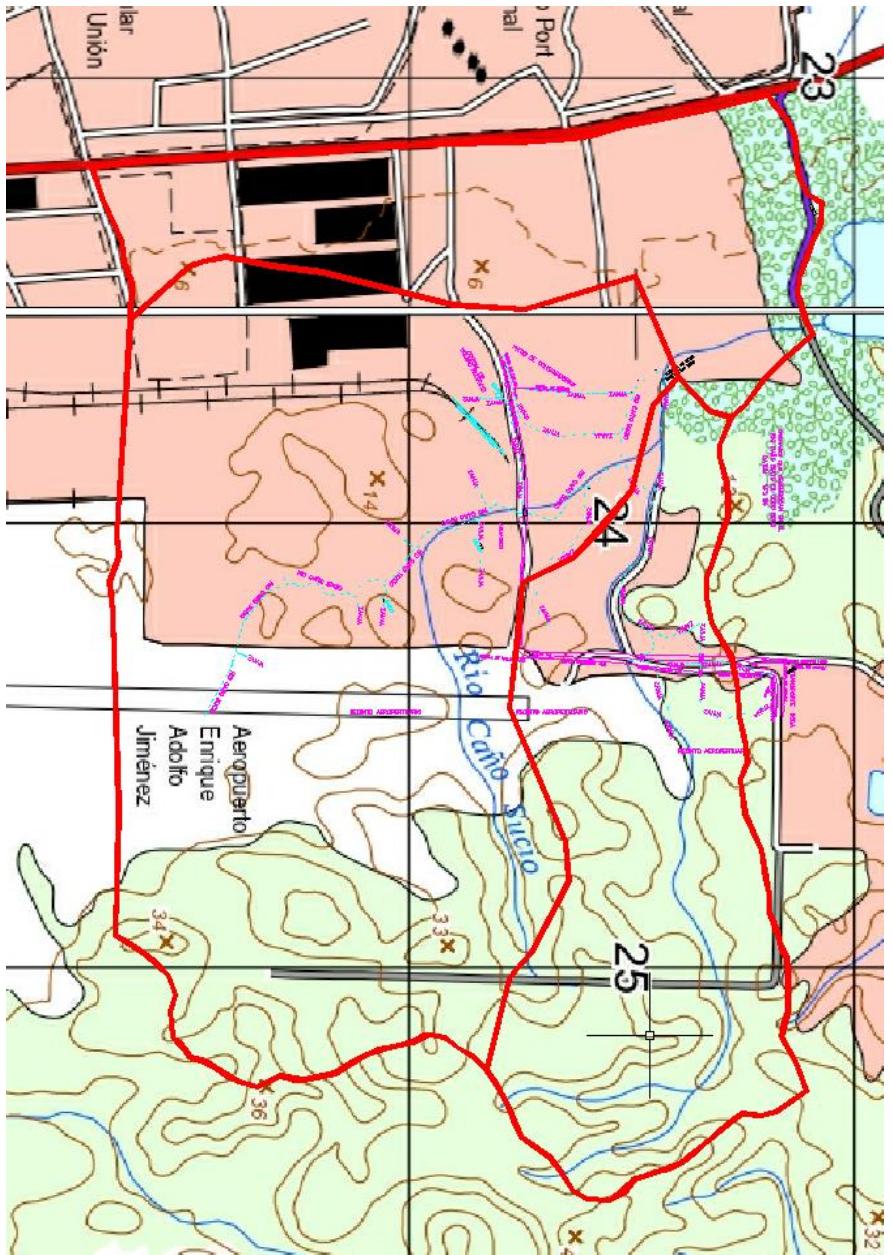


Figura 1 – Cuencas hidrográficas de los cursos de agua

También se hicieron observaciones y mediciones aproximadas del uso del suelo en la cuenca basado en imágenes de Google Earth (fotos 2020), lo cual nos servirá para establecer parámetros hidrológicos necesarios para los cálculos de las crecidas de diseño.



Figura 2 – Mapa Google Earth mostrando el uso actual del suelo

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

Estación	Área (km ²)	H _{max} (m)	H _{min} (m)	L _c (km)
Qda Norte	0.783	43	0	1.83
Rio Caño Sucio	1.735	43	0	2.40
Rio Caño Sucio + Qda Norte	2.518	43	0	2.40
Rio Caño Sucio Puente	3.107	43	0	2.93

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 canal principal (*H_{min}*) en metros, la longitud del curso de agua principal (*L_c*) en kilómetros.

Estación	T _{c-B-W} (min)	T _{c-K-W} (min)	T _{c-Carter} (min)	T _{c-wl} (min)	T _{c-c-c} (min)	T _{c-FAA} (min)	T _{c-k} (min)
Qda Norte	57.82	9.19	25.89	109.57	26.80	121.35	26.79
Rio Caño Sucio	74.04	12.12	33.08	156.11	36.71	152.25	36.69
Rio Caño Sucio + Qda Norte	71.33	12.12	33.08	156.11	36.71	152.25	36.69
Rio Caño Sucio Puente	88.76	14.95	39.59	202.39	46.23	179.80	46.22

Tabla 2 – Métodos para la estimación del tiempo de concentración

La tabla anterior muestra el cálculo del tiempo de concentración por diversos métodos conocidos y ampliamente publicados en literatura científica. De izquierda a derecha se muestran los resultados de los métodos de Bransby-Williams, Kinematic-Wave, Carter, Watershed Lag, California Culvert, Federal Aviation Administration y Kirpich. Para los fines de este estudio vamos a utilizar el método de Kirpich.

El método de Kirpich 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. Kirpich no deriva el tiempo de concentración de las velocidades de flujo, sino de la traducción de los hidrogramas observados. 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:

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

de donde

T_C = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud del curso de agua (metros)

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Otro parámetro hidrológico utilizado en este estudio es el tiempo de retraso (T_{LAG}) que se calcula por la formula sencilla $T_{LAG} = 0.60 * T_C$.

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

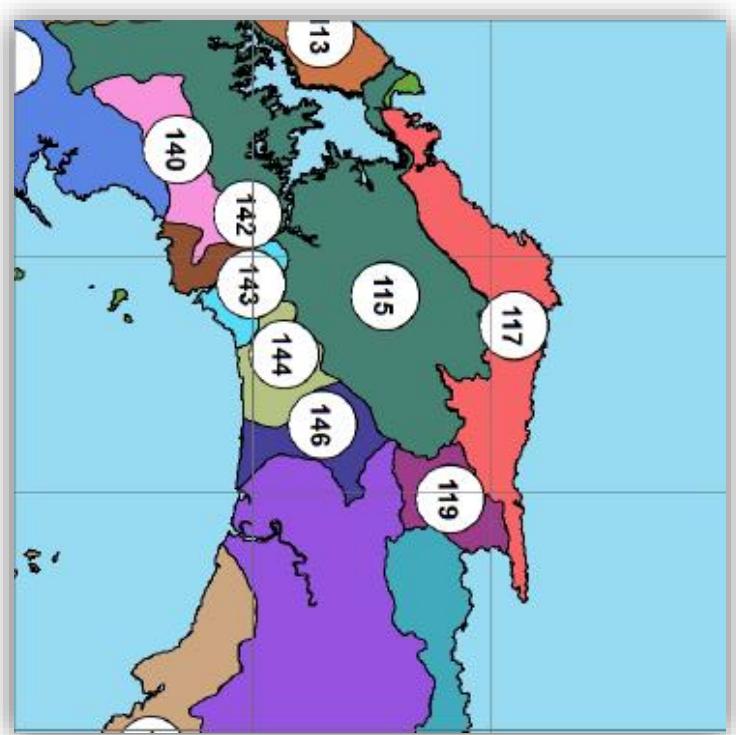


Figura 3 – Cuenca Hidrográfica¹

La precipitación media anual en esta área varía entre 2500 y 3000 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

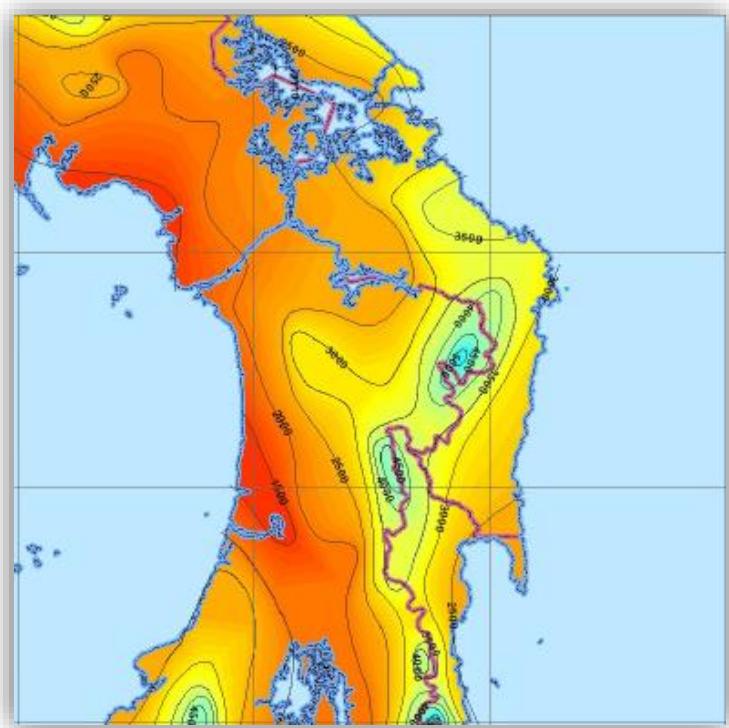


Figura 4 – Mapa de Isoyetas²

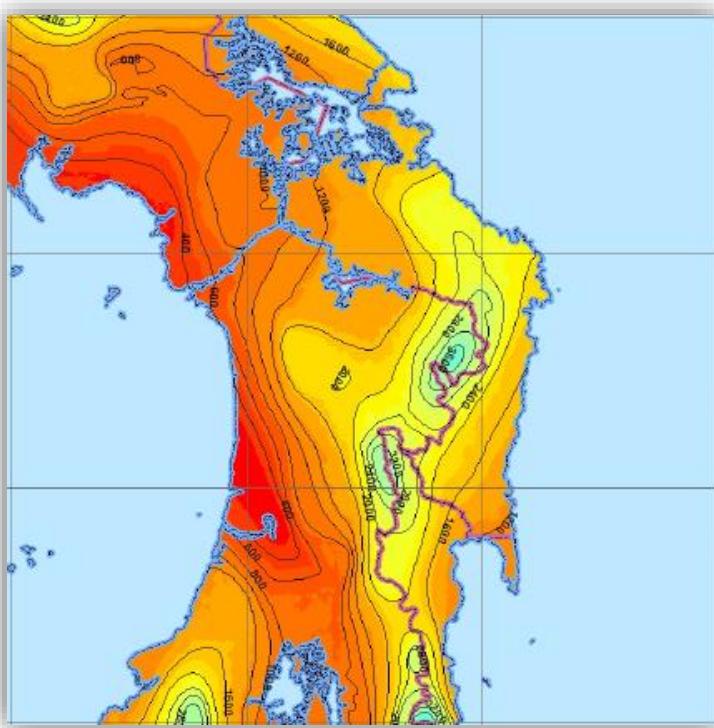


Figura 5 – Mapa de Escorrentía³

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 de sabana. Las áreas no pobladas están siendo usadas como bosques, manglares y rastrojos.

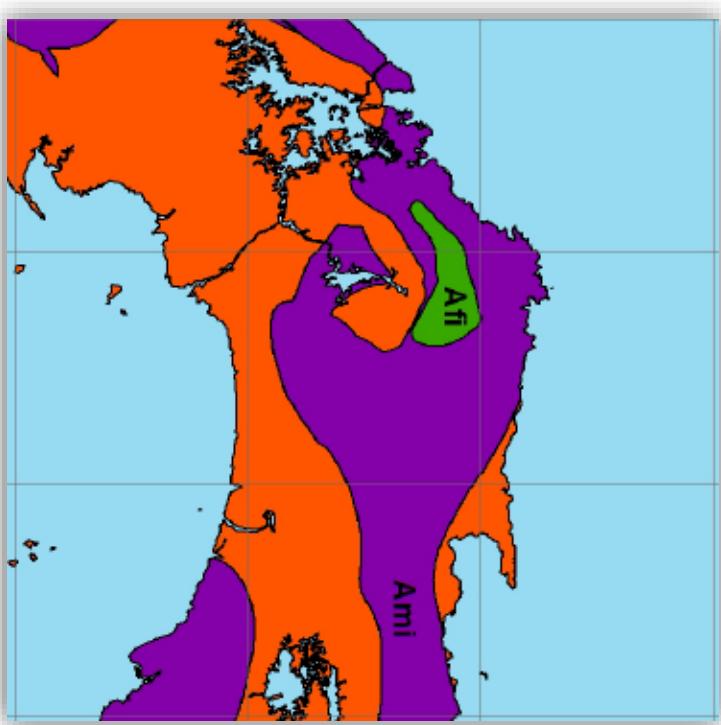


Figura 6 – Mapa de Clasificación Climática según Kóppen⁴

La data de lluvias recomendada por el MOP consiste en ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que se muestran en forma de tabla. Esta data consiste en información útil de precipitaciones máximas estimadas en milímetros para varias duraciones y frecuencias y se presenta a continuación:

MOP-ATL	Periodos de Retorno						
	2	5	10	20	25	30	50
Duración							
5	167.56	179.26	187.27	192.58	194.53	197.06	202.19
10	149.96	164.15	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82
20	123.92	140.46	150.16	158.32	160.83	163.24	169.12
30	105.59	122.75	132.64	141.53	141.18	146.48	152.49
60	73.14	89.06	98.25	107.37	110.02	111.99	117.75
120	45.29	57.50	64.70	72.41	74.64	76.13	80.90
240	25.71	33.65	38.44	43.86	45.43	46.41	49.75
							55.52

Tabla 3 – Intensidad-Duración-Frecuencia de Lluvias, MOP Atlántico

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

Con los datos de precipitación de acuerdo con las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) recomendadas por el MOP, se construyeron los hietogramas de precipitación para los períodos de retorno de 50 y 100 años de frecuencia y en intervalos de 5 minutos como se muestran en las siguientes figuras.

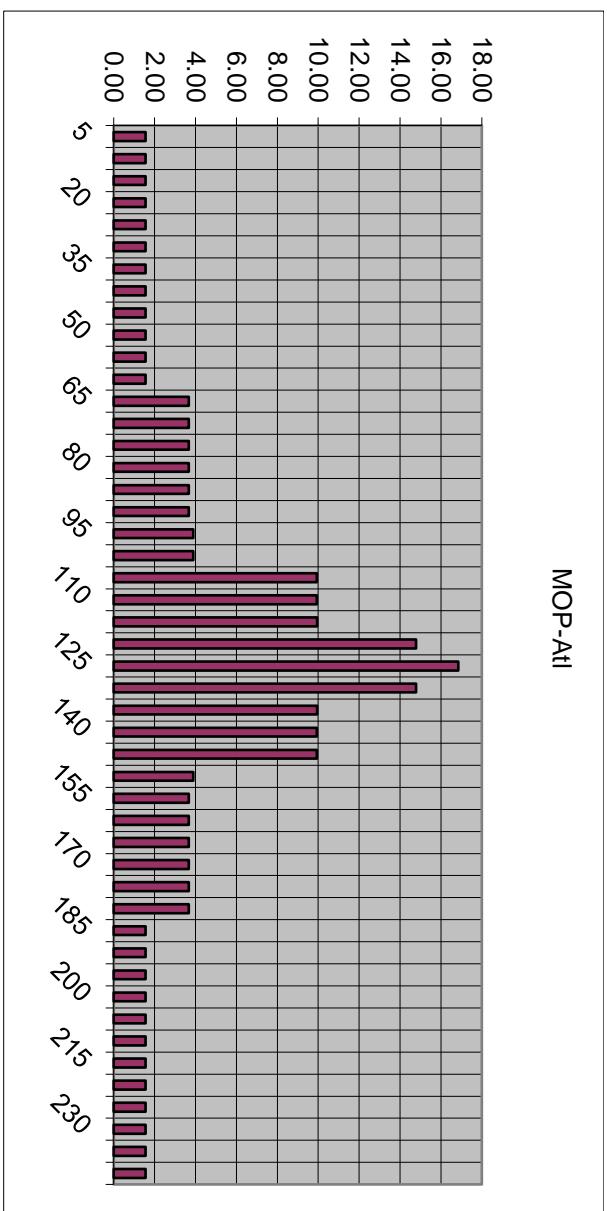


Figura 7 – Hietograma MOP-ATL para periodo de retorno de 50 años

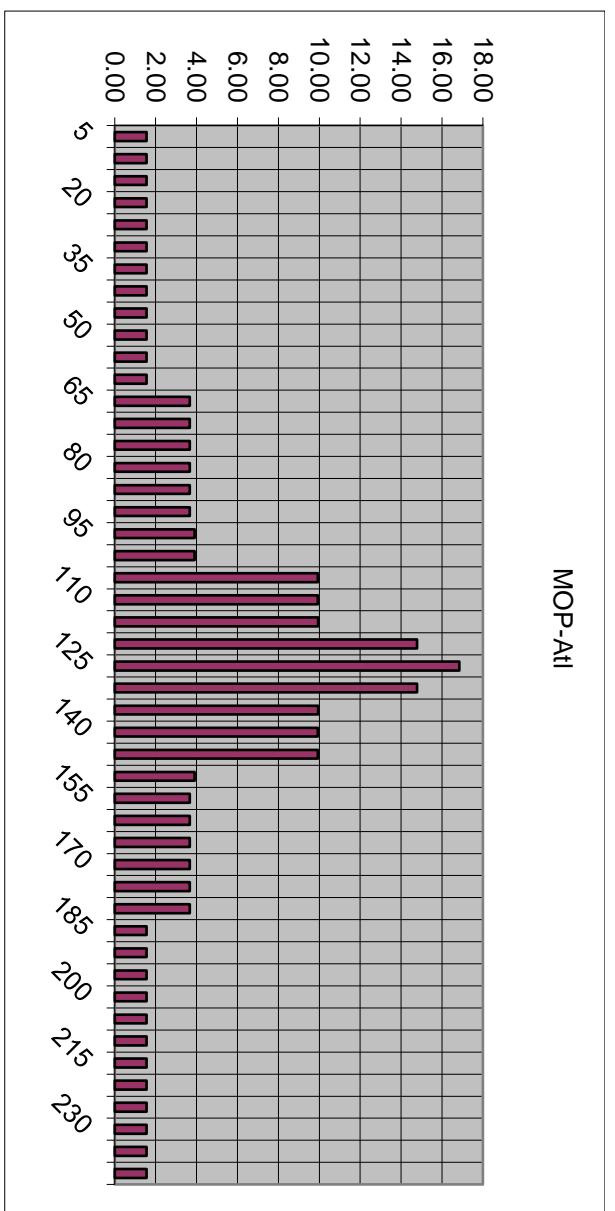


Figura 8 – Hietograma MOP-ATL para periodo de retorno de 100 años

1.3. Crecidas de Diseño

Utilizando la información de lluvias anterior se procedió a estimar las crecidas de diseño para períodos de retorno de 50 y 100 años. Estas crecidas de diseño fueron calculadas utilizando métodos y herramientas matemáticas ampliamente conocidas y validadas, las cuales se describen a continuación.

1.3.1. Método Racional

El método racional es un método sencillo para determinar el pico de las crecidas de diseño para cuencas pequeñas. Este método fue desarrollado en 1889 por Kuichling para cuencas urbanas.

El límite para el uso de este método varía de acuerdo con el autor, aunque en Panamá el MOP recomienda su uso en cuencas de hasta 2.5 kilómetros cuadrados. Por lo anterior, este método se usará solo como referencia para comparar con otros métodos para estimar las crecidas de nuestro proyecto.

La aplicación del método se basa en una simple fórmula que relaciona, en forma proporcional, la escorrentía 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 escorrentía adimensional

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

A = Área de drenaje en (km^2)

El MOP recomienda un coeficiente de escorrentía 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	I_{50} (mm/hr)	I_{100} (mm/hr)	C	Q_{50} (m ³ /s)	Q_{100} (m ³ /s)
Qda Norte	157.82	169.19	0.85	29.18	31.29
Rio Caño Sucio	144.74	156.18	0.85	59.28	63.97
Rio Caño Sucio + Qda Norte	144.74	156.18	0.85	86.05	92.85
Rio Caño Sucio Puente	133.71	145.00	0.85	98.08	106.35

Tabla 4 – Crecidas de Diseño - Método Racional

En las tablas anteriores se muestra la intensidad de la lluvia de diseño para períodos de retorno de 50 y 100 años (I_{50} y I_{100}) en mm/hr y una duración igual al tiempo de concentración, el coeficiente de escorrentía (C) y los caudales máximos instantáneos correspondientes (Q_{50} y Q_{100}) en metros cúbicos por segundo.

1.3.2. Método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos, una división del Departamento de Agricultura de los EE. UU., y está basado en un hidrograma triangular, el cual fue confeccionado utilizando una gran cantidad de hidrogramas de diferentes cuencas que variaban en tamaño y localización geográfica. Con los datos de intensidad de precipitación y las características físicas de las cuencas, se procedió a calcular los caudales máximos con este método cuyos resultados se muestran más adelante. Para este caso utilizamos una CN=78 en base a una ponderación del uso del suelo actual y proyectada y del grupo hidrológico, tal como se muestra en la tabla a continuación.

Suelo	Bosques buena condición	Praderas en buen estado	Zonas industriales	Areas techadas o pavimentadas	Suelo %
Grupo B	55	58	88	94	50%
Grupo C	70	71	91	98	50%
Uso %	40%	10%	30%	20%	100%

Tabla 5 – Grupo hidrológico del suelo y descripción del uso de la tierra

Grupo hidrológico del suelo	Infiltación cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltación > 76 mm/h Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Arenosa Francesa Arenosa-limosa Franca Franco-ardillosa-arenosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-ardillosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Franco-ardillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Tabla 6 – Descripción de los grupos hidrológicos del suelo

El método no está limitado para cuencas del tamaño de las que corresponden a este estudio, por lo tanto, será utilizado para estimar las crecidas de diseño. Este fue aplicado mediante el uso

INFORME: Río Caño Sucio

del modelo matemático por computadoras HEC-HMS desarrollado por el Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. Este es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semi distribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuenca (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello los métodos de cálculo de histogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

Global Summary Results for Run "TR50"

Project: CCTMarzo2021 Simulation Run: TR50

Start of Run: 01Jan2020, 00:00 Basin Model: Caño Sucio
End of Run: 01Mar2020, 06:00 Meteorologic Model: MOP-ATL50
Compute Time: 29Mar2021, 14:24:28 Control Specifications: CS50

Show Elements: All Eleme... ▾ Volume Units: MM 1000 M³

Hydrologic Element	Drainage Area (KM ²)	Peak Discharge (M ³ /S)	Time of Peak	Volume (MM)
Caño Sucio Puente	3.107	85.0	01Jan2020, 02:35	133.07
Caño Sucio + Qbda Norte	2.518	75.1	01Jan2020, 02:30	133.08
Caño Sucio AArriba	1.735	51.7	01Jan2020, 02:30	133.08
Quebrada Norte	0.783	25.5	01Jan2020, 02:25	133.08
Mar	8.143	233.3	01Jan2020, 02:30	133.08
CSP	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
CSQN	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
CSAA	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
QN	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a

Tabla 7 – Crecidas de 50 años para el Río Caño Sucio

INFORME: Río Caño Sucio

Global Summary Results for Run "TR100"

Project: CCTMarzo2021
Simulation Run: TR100

Start of Run: 01Jan2020, 00:00
Basin Model: Caño Sucio

End of Run: 01Jan2020, 06:00
Meteorologic Model: MOP-ATL100

Compute Time: 29Mar2021, 14:24:28
Control Specifications: CS50

Show Elements: [All Eleme...](#) [▼](#)

Volume Units: MM 1000 M3

Sorting: [Hydrolo...](#) [▼](#)

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Caño Sucio Puente	3.107	95.7	01Jan2020, 02:35	154.54
Caño Sucio + Qbda Norte	2.518	84.2	01Jan2020, 02:30	154.56
Caño Sucio AArriba	1.735	58.0	01Jan2020, 02:30	154.56
Quebrada Norte	0.783	28.4	01Jan2020, 02:25	154.56
Mar	8.143	262.1	01Jan2020, 02:30	154.55
CSP	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
CSQN	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
CSAA	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a
QN	0.000	0.0	01Jan2020, 00:00	n/a

Tabla 8 – Crecidas de 100 años para el Río Caño Sucio

2. Estudio Hidráulico

El análisis de la hidráulica de estas quebradas se llevó a cabo mediante el uso del modelo matemático por computadoras HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. 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 río bajo sus condiciones existentes y bajo condiciones de mejora de cauce propuesto. Los resultados detallados de los perfiles de agua de la quebrada y el río, tanto para las condiciones existentes como para las condiciones de canal mejorado se muestran en los anexos.

2.1 Condiciones Existentes

A continuación, se muestran las condiciones existentes del Río Caño Sucio para las crecidas de diseño de 50 y 100 años. Para las simulaciones de las crecidas en el cauce del Río Caño Sucio se asumieron, además de las crecidas indicadas, niveles del mar en la desembocadura correspondiente a la media de los niveles máximos mensuales.

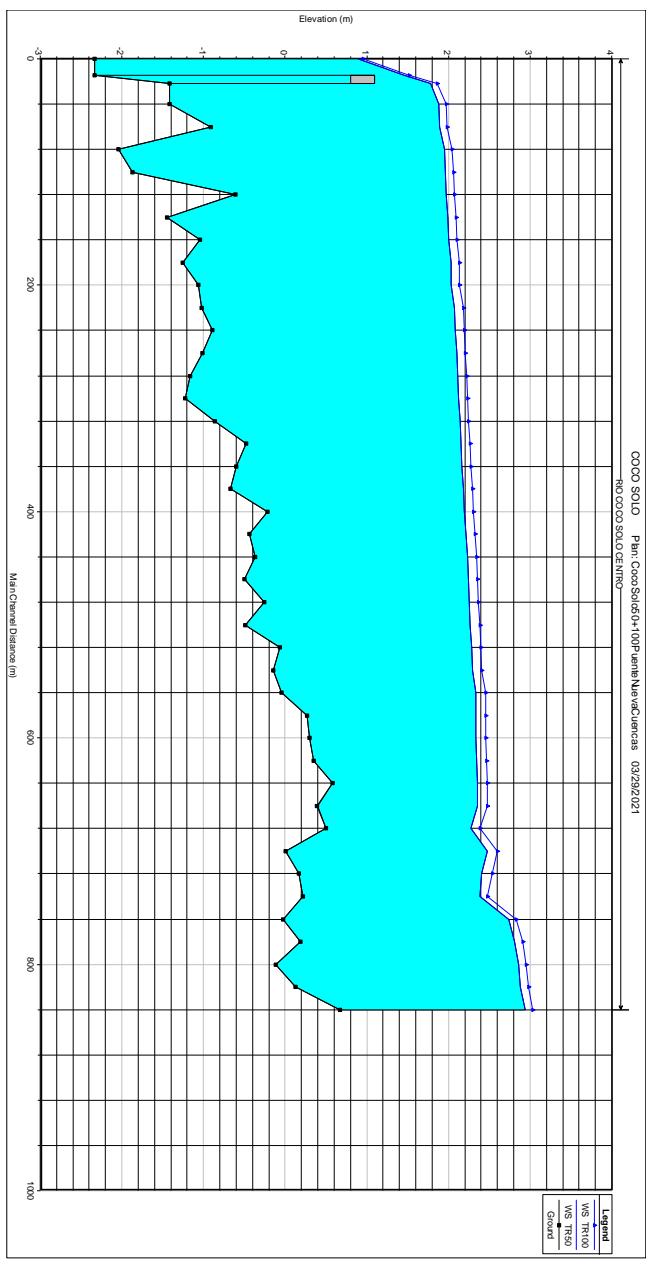


Figura 9 – Perfil de agua Río Caño Sucio

INFORME: Río Caño Sucio

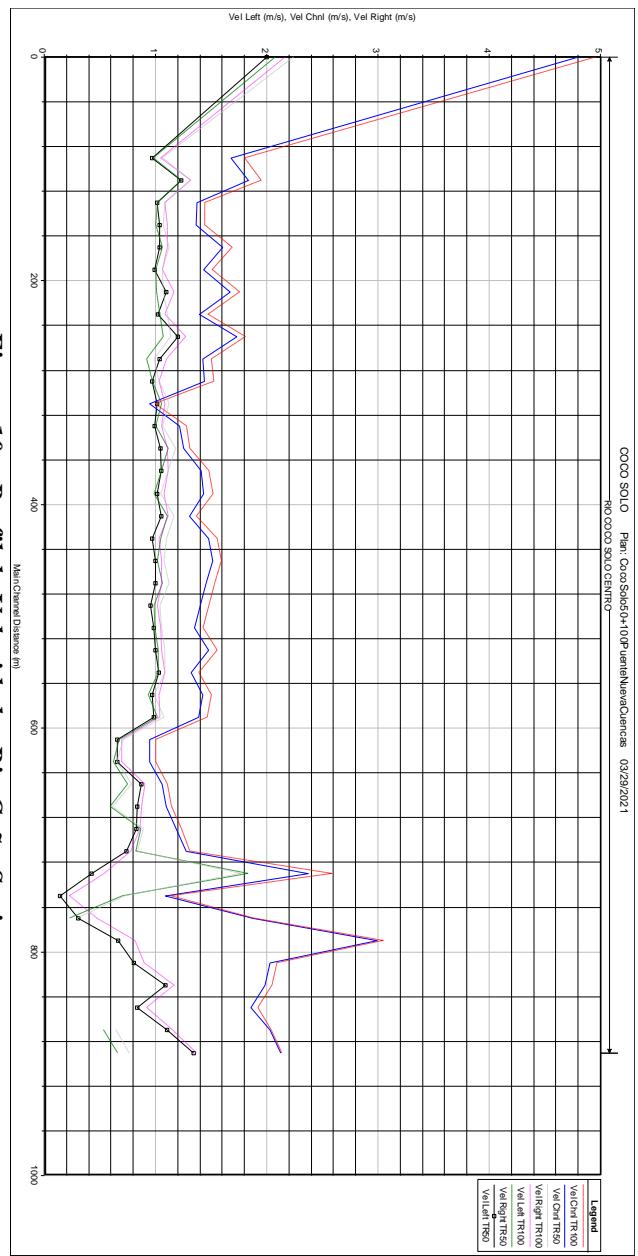


Figura 10 – Perfil de Velocidades Río Caño Sucio

2.2 Canal del Río Caño Sucio mejorado $b=2$

A continuación, evaluamos el impacto de una mejora en el cauce del río mediante una canalización de sección trapezoidal como se muestra en la tabla. También se propone un enderezamiento del perfil del canal mediante las siguientes elevaciones y estaciones:

Estación	0K+000	0K+840
Elevación	-2.34	0

Tabla 9 – Enderezamiento del perfil

Estación	Ancho de Fondo (b)	Tanud Z
0K+000		
0K+840	2	2

Tabla 10 – Secciones de canalización

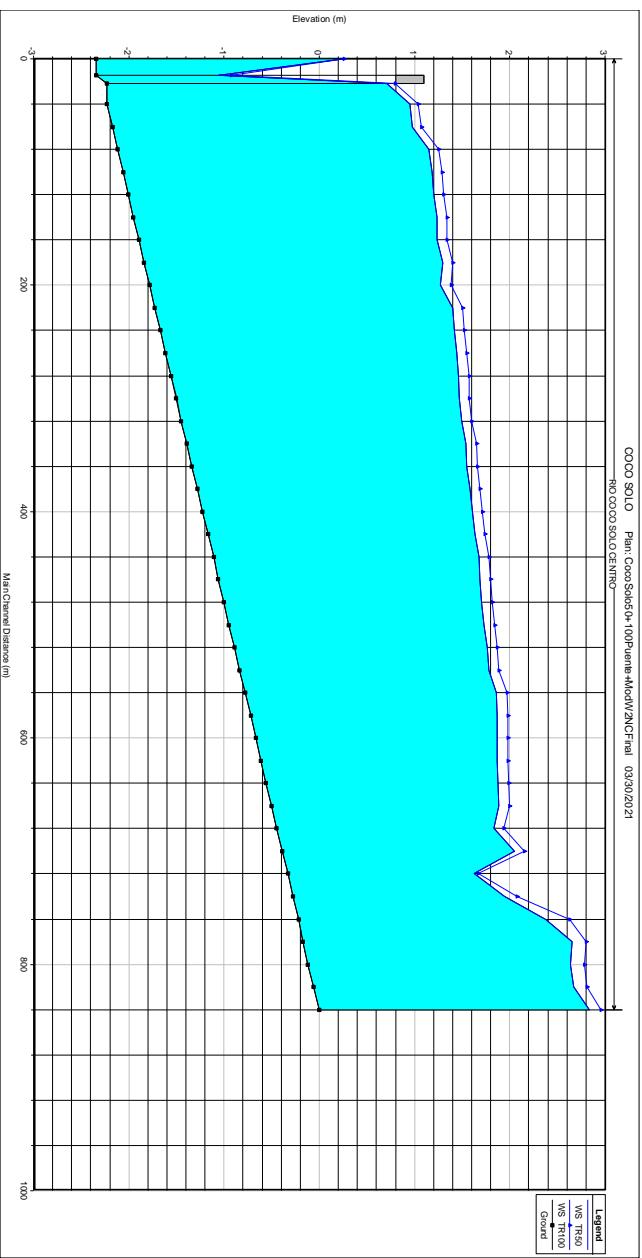


Figura 11 – Perfil de Agua Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=2$

INFORME: Río Caño Sucio

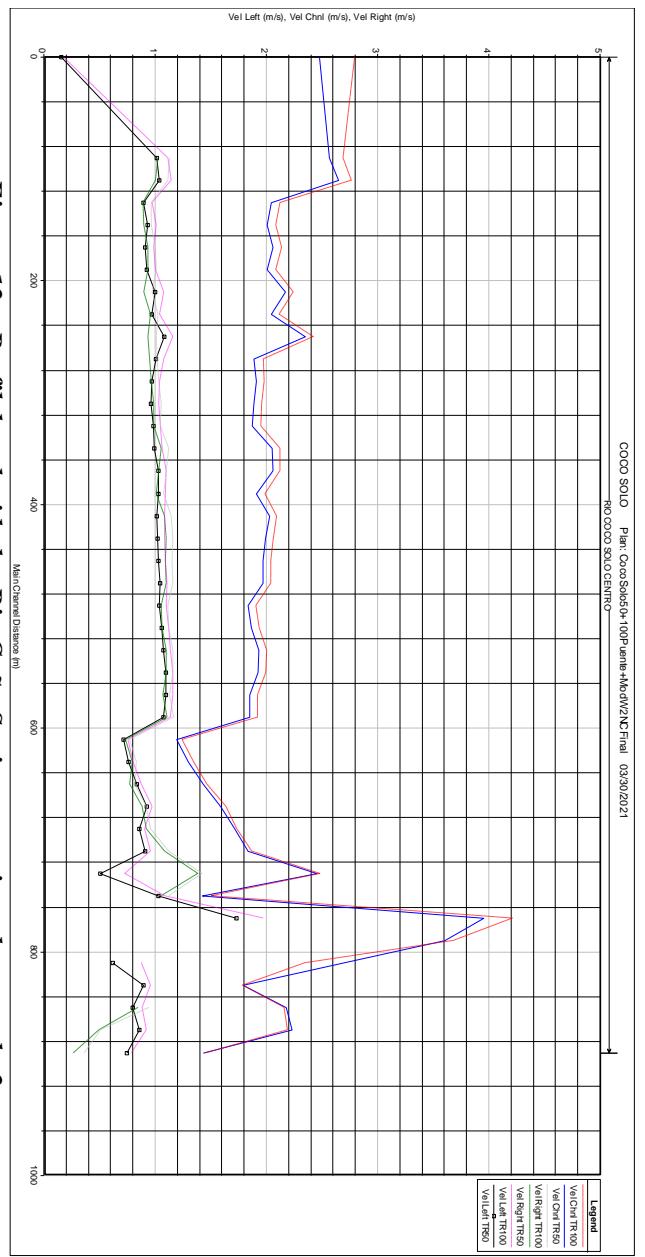


Figura 12 – Perfil de velocidades Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=2$

2.3 Canal del Río Caño Sucio mejorado $b=3$

A continuación, evaluamos el impacto de una mejora en el cauce del río mediante una canalización de sección trapezoidal como se muestra en la tabla, manteniendo la mejora en el perfil del cauce igual que en el caso anterior.

Estación	Ancho de Fondo (b)	Talud Z
0K+000	3	
0K+840	2	

INFORME: Río Caño Sucio

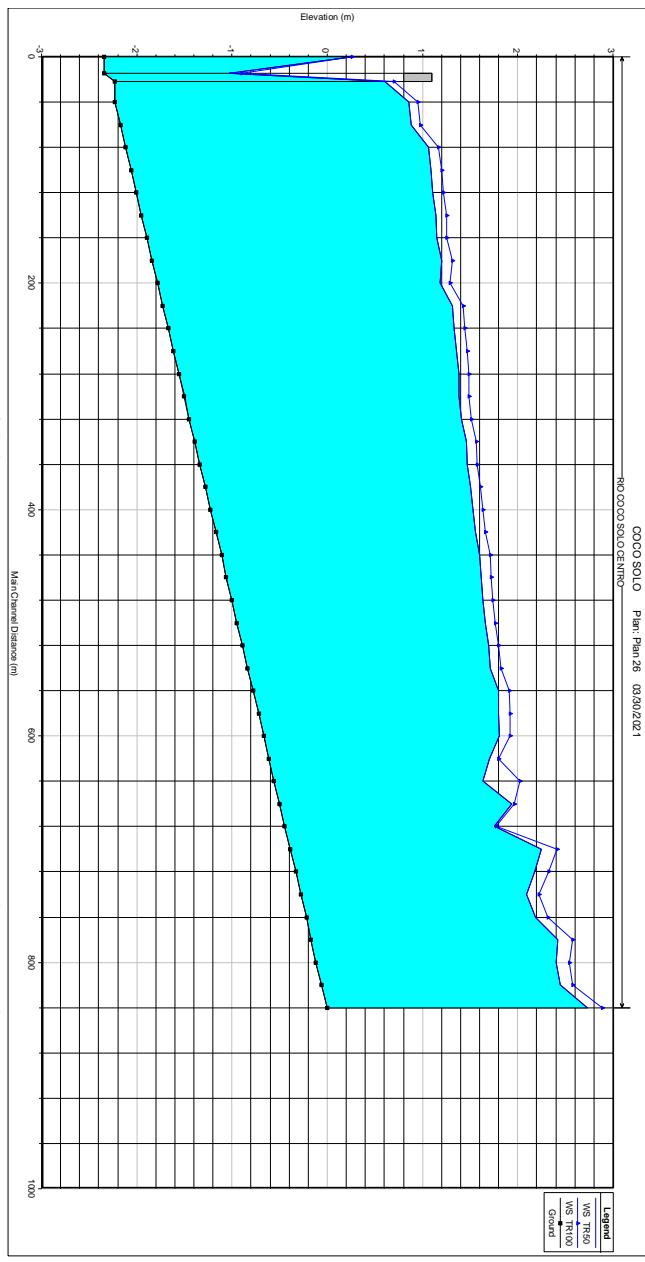


Figura 13 – Perfil de Agua Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=3$

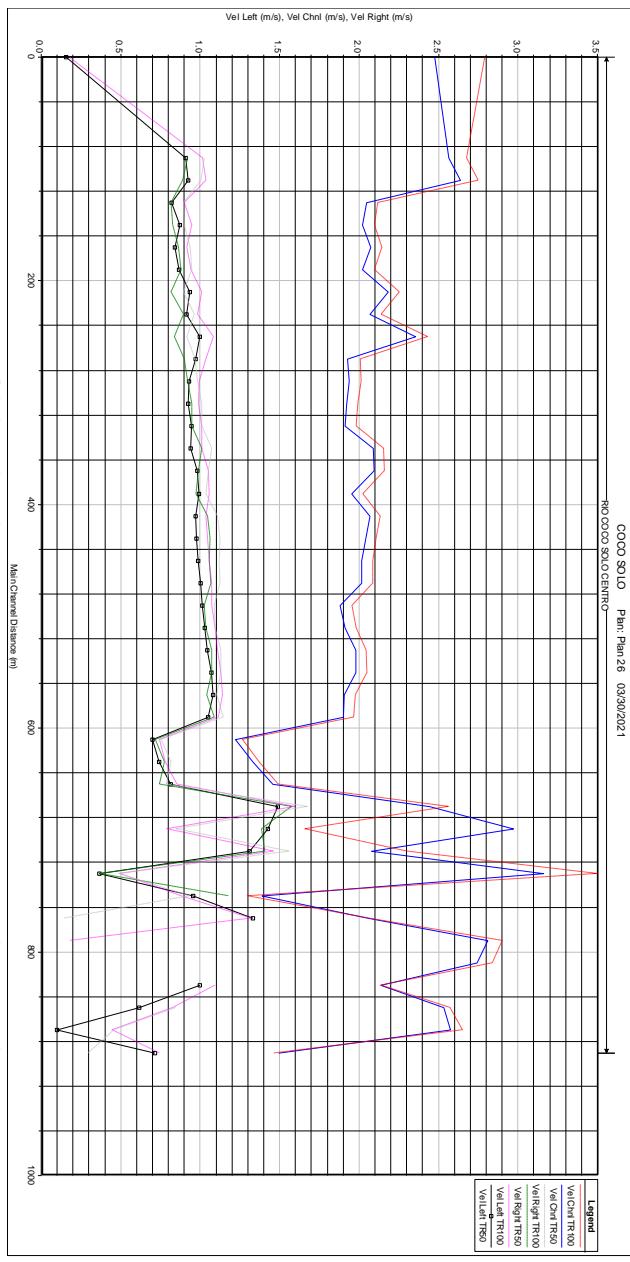


Figura 14 – Perfil de velocidades Río Caño Sucio con mejora de cauce $b=3$

3. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis muestra los niveles de aguas máximas esperadas en cada estación del perfil del río en la condición existente. También se muestra los niveles esperados de aguas máximas para las condiciones de cauce mejorado en la Río Caño Sucio para canales trapezoidales de 2 y 3 metros de ancho de fondo. Podemos observar que la opción de canal mejorado trapezoidal de 3 metros de ancho de fondo es suficiente para desalojar la crecida de diseño sin sobrepasar el puente existente, por lo que se recomienda proceder con esta mejora, mediante el dragado del cauce del río.

Se recomienda el diseño de terracerías de acuerdo con los niveles esperados de inundación bajo la consideración de diseño deseada con un bordo libre igual o mayor al 20% del tirante de agua.

RÍO CAÑO SUCIO

ESTUDIO HIDROLOGICO

PROVINCIA DE COLÓN

**INICIO DE
ESTUDIO
0K+000**

623400 000

623700 000

623100 000

623400 000

623700 000

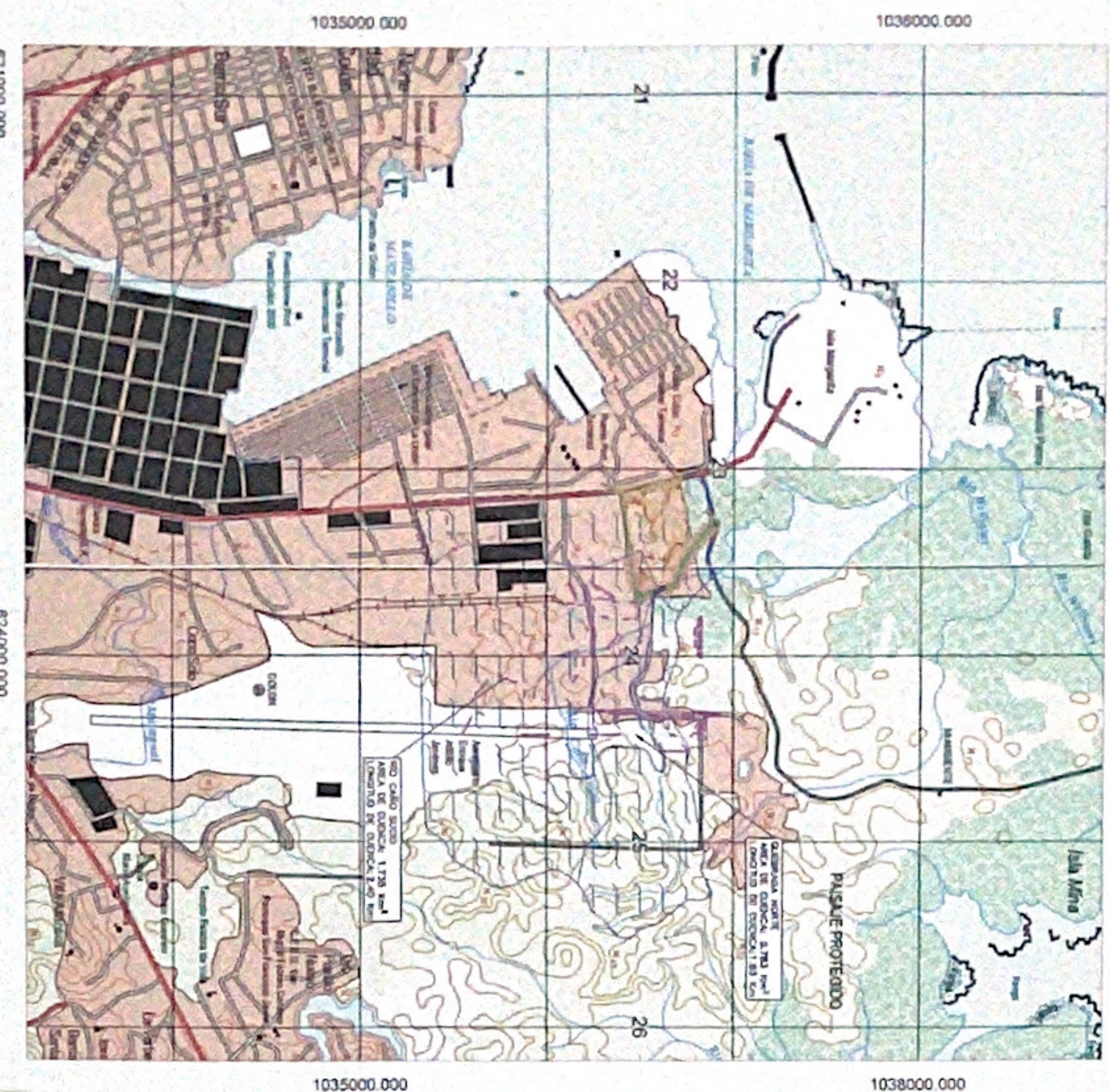
623100 000

623400 000

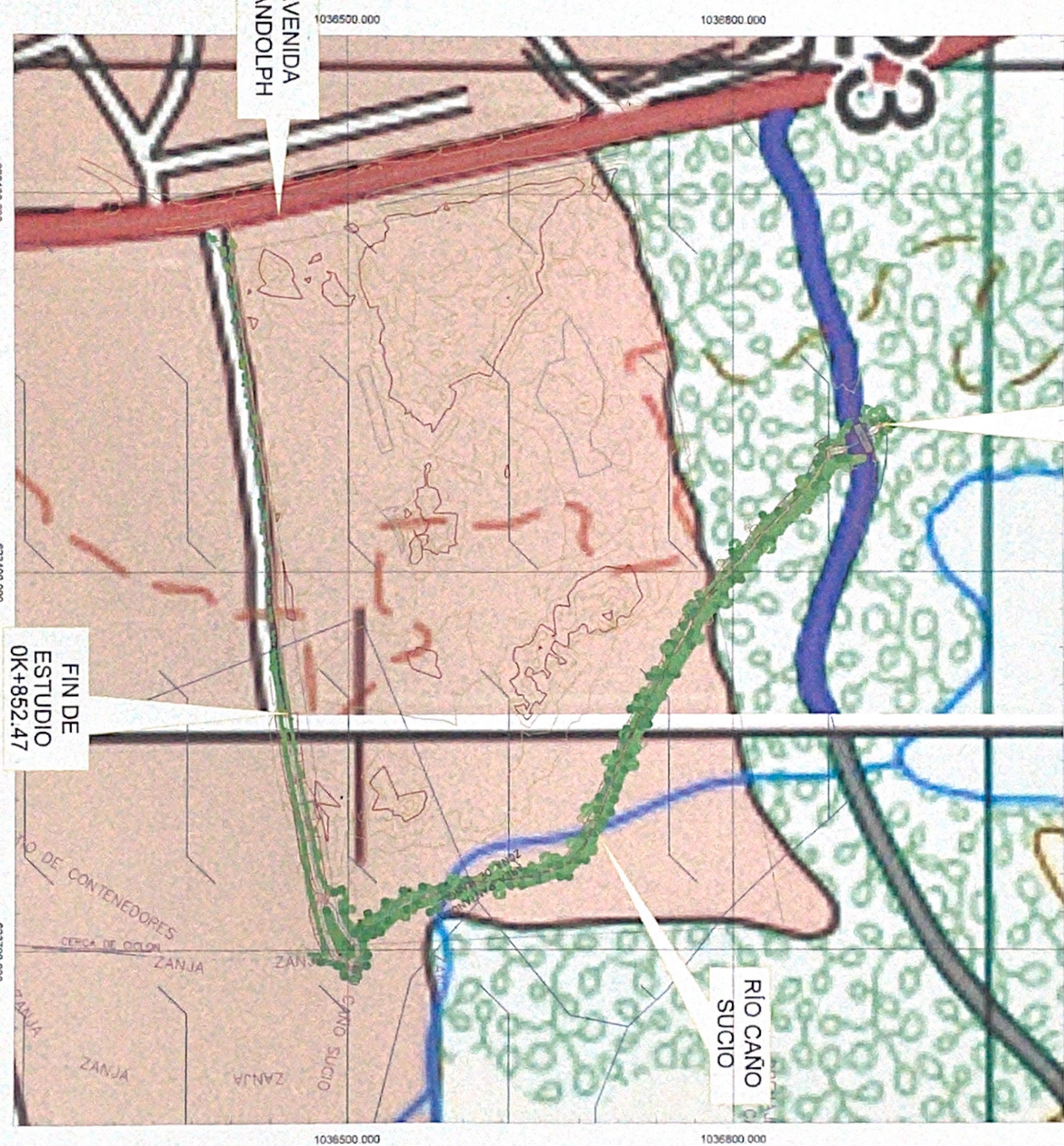
623700 000



CÓDIGO	TÍTULO	ÍNDICE
G-001	CAÑATUA	
G-002	PLANTA CON MOSAICO	
GH-101	PLANTA PERFIL DEL RÍO 1	
GH-102	PLANTA PERFIL DEL RÍO 2	
GH-103	PLANTA PERFIL DEL RÍO 3	
GH-104	PLANTA PERFIL DEL RÍO 4	
GH-105	PLANTA PERFIL DEL RÍO 5	
GH-106	PLANTA PERFIL DEL RÍO 6	
GH-107	SECCIONES TRANSVERSALES 1	
GH-108	SECCIONES TRANSVERSALES 2	



LOCALIZACIÓN REGIONAL
ESC 1:25000



623100 000
623400 000
623700 000
1036500 000
1036800 000
1036500 000
1036800 000
1035000 000
1036000 000
1035000 000
1038000 000

PLANTA GENERAL
ESC 1:2500
FIN DE
ESTUDIO
0K+852.47
AVENIDA
RANDOLPH
LOCALIZACIÓN REGIONAL
ESC 1:25000

