



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

PROYECTO “PUENTE ZARZO SOBRE EL RÍO SAN JUAN”

**PREPARADO PARA:
MINERA PANAMÁ, S.A.**

**PREPARADO POR:
ING. ALVARO E. PAREDES B.**



OCTUBRE, 2021

Estudio Hidrológico e Hidráulico

Proyecto

Puente Zarzo sobre el Río San Juan

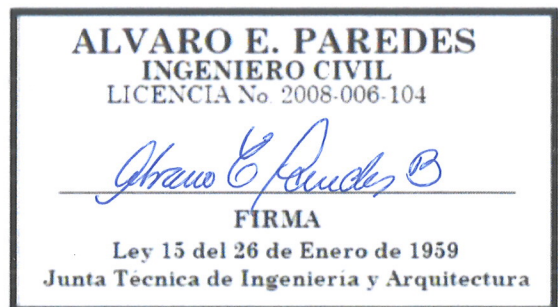
Ubicado dentro de la Comunidad de San Juan de Turbe, Corregimiento de San Juan de Turbe, Distrito especial Omar Torrijos Herrera, Provincia de Colón

Preparado para:

MINERA PANAMÁ, S.A.



Octubre, 2021



Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Responsable	Control de calidad	Gerencia
Ing. Alvaro Paredes Idoneidad No. 2008-006-104 Idoneidad No. 2018-120-032	Marylin Castillo DIVEDA-AA-042-2020	Karina Guillén

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA	6
3.	OBJETIVO DEL ESTUDIO	6
4.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE TURBE.....	7
4.1.	DEMOGRAFÍA	7
4.2.	RAZAS Y ETNIAS.....	7
4.3.	USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	8
4.4.	CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LOS SUELOS	8
4.5.	GEOMORFOLOGÍA	9
5.	LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA OBRA EN CAUCE.....	10
6.	DEFINICIÓN DEL RÍO PRINCIPAL.....	13
7.	COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO	13
8.	BALANCE HIDROGEOLÓGICO PARA EL ÁREA QUE ABARCA EL RÍO SAN JUAN, HASTA EL PUNTO DONDE SE REALIZARÁ LA OBRA EN CAUCE.....	17
9.	CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ÁREA DE DRENAJE DEL RÍO SAN JUAN, HASTA EL PUNTO DE CONTROL	20
9.1.	CÁLCULO DE CAUDAL PROMEDIO	21
9.2.	CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PARA PERÍODOS DE RETORNO.....	21
9.3.	MODELO DE CRECIDAS.....	22
9.3.1.	TOPOGRAFÍA.....	22
9.3.2.	PROYECCIÓN Y SUPERFICIE	23
9.3.3.	BORDES DE RÍO Y SECCIONES TÍPICAS	24
9.3.4.	SECCIÓN TÍPICA PUENTE ZARZO	25
9.3.5.	CONDICIONES DE FLUJO.....	25
9.3.6.	VALORES DE COEFICIENTES DE MANNING.....	26
9.3.7.	PERIODO DE RETORNO	26
9.4.	SIMULACIÓN DE CRECIDAS.....	27
9.5.	ELEVACIONES MÁXIMAS DE CRECIDAS	31
10.	CONCLUSIÓN	32
11.	RECOMENDACIONES	33
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	33

13. ANEXOS.....	35
13.1. IMAGEN DE CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN PERSONAL DEL REPRESENTANTE LEGAL.....	35
13.2. ECUACIONES PARA DETERMINAR CAUDALES MÁXIMOS	36
13.3. FACTORES PARA CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNOS	36
13.4. SECCIONES CON NIVELES DE AGUA PARA P_R DE 10 Y 100 AÑOS	37
13.5. FOTOGRAFÍAS	40
IMAGEN 1. RÍO SAN JUAN AGUAS ABAJO	40
IMAGEN 2. RÍO SAN JUAN AGUAS ARRIBA	40
IMÁGENES 3 Y 4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	41
13.6. MAPAS	41

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. COORDENADAS UTM DE LA OBRA EN CAUCE	11
CUADRO 2. CAUDALES HISTÓRICOS (M^3/S).	13
CUADRO 3. COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
CUADRO 4. BALANCE HIDROGEOLÓGICO	19
CUADRO 5. VALORES DE CAUDAL PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO ...	22
CUADRO 6. RESUMEN DE VALOR DE NAME Y REFERENCIA DE FONDO	32

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN REGIONAL DEL CORREGIMIENTO SAN JUAN DE TURBE	7
FIGURA 2. MAPA CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LOS SUELOS	8
FIGURA 3. MAPA GEOMORFOLÓGICO	9
FIGURA 4. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO EN VISTA SATELITAL.....	10
FIGURA 5. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO. MAPA 1:50,000.....	11
FIGURA 6. TIPOS DE CLIMA SEGÚN MCKAY, 2000.....	14
FIGURA 7. BALANCE EDAFOCLIMÁTICO DE LA CUENCA 105	16
FIGURA 8. CUENCA DE APORTE HASTA PUNTO DE CONTROL EN 1:50,000	18
FIGURA 9. ZONAS DE RÉGIMEN HIDROGEOLÓGICO HOMOGÉNEOS	20
FIGURA 10. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	23

FIGURA 11. IMAGEN RASTER (TIFF) DE ELEVACIONES EN HEC-RAS 6.1.....	23
FIGURA 12. BORDES Y LÍMITES DE RÍO Y CRECIDA PRELIMINAR.....	24
FIGURA 13. SECCIONES TÍPICAS PARA EL CAUCE DEL RÍO SAN JUAN	24
FIGURA 14. SECCIÓN TÍPICA DEL PUENTE ZARZO.....	25
FIGURA 15. PENDIENTE CALCULADA POR HEC-RAS.....	25
FIGURA 16. COEFICIENTES DE MANNING	26
FIGURA 17. DATA Y GRÁFICA DE NIVEL VS CAUDAL	27
FIGURA 18. SITUACIÓN PARA SITUACIÓN ACTUAL	28
FIGURA 19. VISTA EN PLANTA $P_R = 10$ AÑOS	29
FIGURA 20. VISTA EN PLANTA $P_R = 100$ AÑOS	29
FIGURA 21. PERFIL LONGITUDINAL PARA $P_R = 10$ AÑOS.....	30
FIGURA 22. PERFIL LONGITUDINAL PARA $P_R = 100$ AÑOS.....	30
FIGURA 23. SECCIÓN DONDE SE CONSTRUIRÁ EL PUENTE ZARZO, PARA $P_R = 10$ AÑOS	31
FIGURA 24. SECCIÓN DONDE SE CONSTRUIRÁ EL PUENTE ZARZO, PARA $P_R = 100$ AÑOS	31

1. INTRODUCCIÓN

El Estudio Hidrológico e Hidráulico del Proyecto “Puente Zarzo sobre el Río San Juan”, ha sido realizado a solicitud de la sociedad Minera Panamá, S.A., RUC: 46505-96-303869 D.V. 90, cuyo representante legal es el Sr. Manuel Virgilio Aizpurua Pardini con cédula de identidad personal 8-728-1082 (ver Anexo 13.1).

Mediante este estudio se dará cumplimiento con la legislación que ordena los recursos hídricos y someter a evaluación el análisis detallado de la fuente hídrica denominada Río San Juan (flujo permanente), la misma considera una proyección de crecidas de 100 años. Este estudio se basa en los requisitos establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE), para dar viabilidad a proyectos como el que planifica desarrollar la sociedad antes mencionada; el cual consiste en la construcción de un puente sobre el Río San Juan, como se describe en el presente documento.

2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA

El análisis considera la evaluación de una (1) fuente hídrica denominada Río San Juan. Para tal fin se realizaron cálculos hidráulicos de la fuente y se determinó los caudales máximos para los periodos de retorno 1:10 y 1:100. Se hizo un análisis de la climatología del área, determinando el comportamiento del clima; en particular del régimen de lluvias de la zona y los niveles de escorrentía superficial. Así también, se realizó un balance hidrogeológico para el área de drenaje.

3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

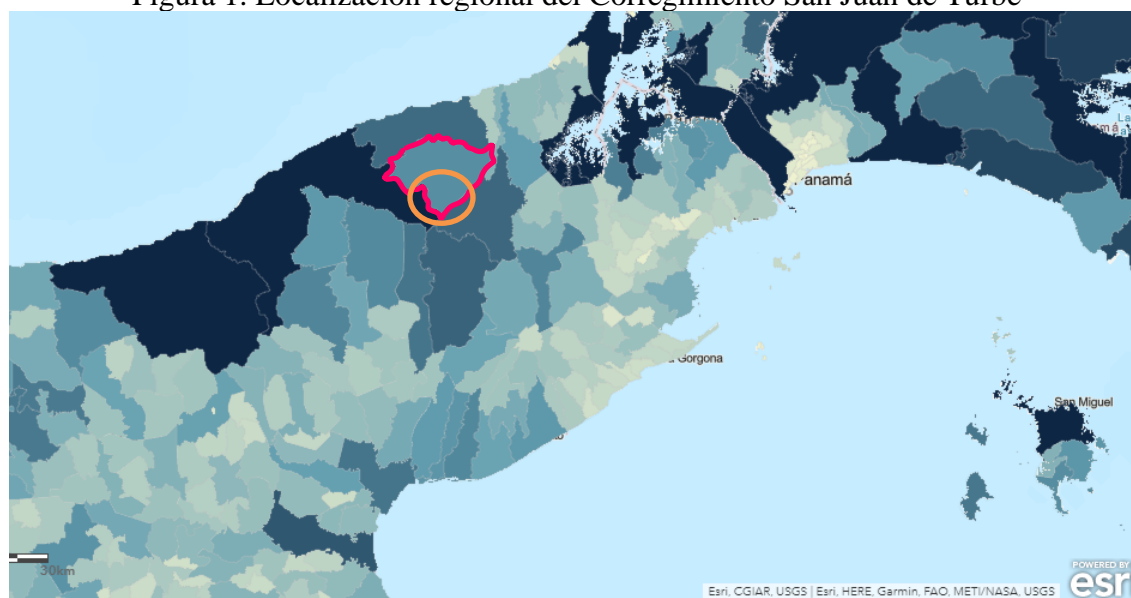
Realizar un análisis de la fuente hídrica superficial conocida como Río San Juan, que permita determinar los caudales que pueden esperarse en periodos de tiempo determinados (10 y 100 años), para el diseño de puente y construcción del Proyecto “Puente Zarzo sobre el Río San Juan”, cumpliendo con los requisitos del Ministerio de Obras Públicas.

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE TURBE

El Corregimiento de San Juan de Turbe, es parte de los tres corregimientos que conforman el Distrito Especial Omar Torrijos Herrera fundado el 20 de febrero de 2018, en la provincia de Colón. El Corregimiento fue conformado con una superficie de 198.6 km², territorio segregado del distrito de Donoso (ver Figura 1).

En 1970 se trajeron Búfalos de Agua desde Trinidad y Tobago, estableciendo la cooperativa agrícola de Coclesito, la cual terminó en 1990.

Figura 1. Localización regional del Corregimiento San Juan de Turbe



Fuente: ArcGIS, capa corregimientos Boundaries 2016.

4.1. Demografía

De acuerdo a los datos del Censo Nacional de Población y Viviendas (CGRP 2010) la Comunidad de San Juan de Turbe contaba con una población de 157 habitantes, distribuidos en 78 hombres y 79 mujeres, y 36 viviendas.

4.2. Razas y etnias

En el área se encuentran varias comunidades Ngäbe, que inmigraron a final de la década de 1980 y principios de 1990.

4.3. Uso actual de la tierra

Las tierras están entre los 0 y 100 m de altura. De acuerdo al Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de la Tierra (SINIA-MiAMBIENTE 2012), el área de influencia directa del Proyecto, se encuentran tipificada como Pasto.

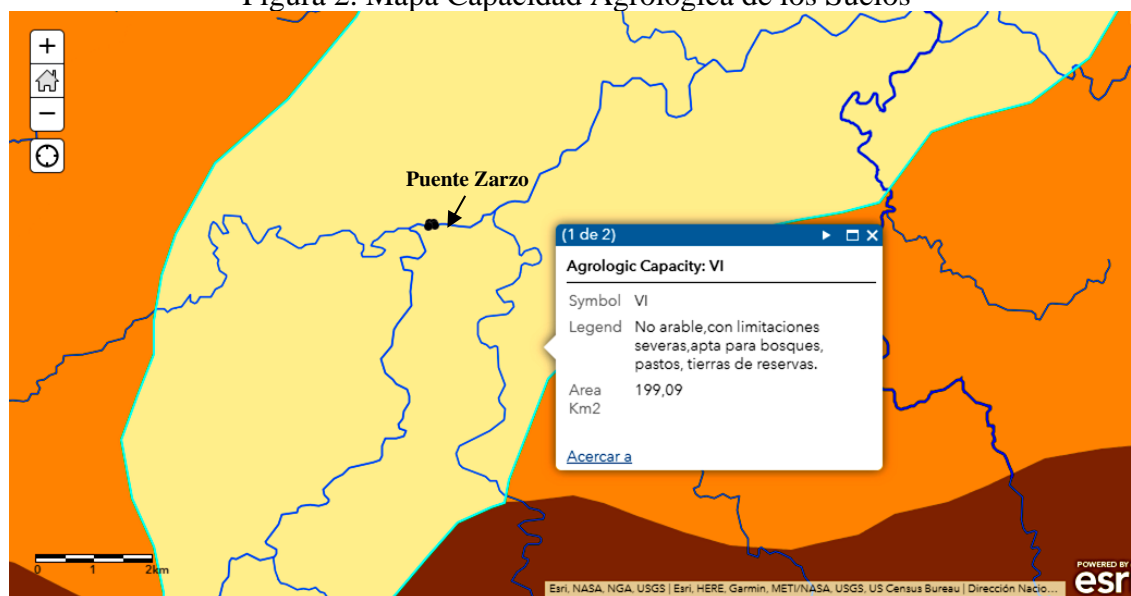
En los trabajos de campo, se evidenció que el terreno es mayormente utilizado como potrero, hacia la margen izquierda del Río San Juan; en la margen derecha, se desarrollan actividades agropecuarias y también se ubican residencias, así como el Centro de Educación Básica General de San Juan de Turbe.

Aguas arriba de la comunidad de San Juan de Turbe se ubica un sector de desarrollo minero, así como algunos saltos y cascadas; no se observan otras comunidades. Aguas abajo, se ubica la comunidad de Coclesito.

4.4. Capacidad Agrológica de los suelos

Los suelos del área en estudio son de Categoría VI, que indican suelos no arables, limitaciones severas, apta para bosques, pastos y tierras de reservas (ver Figura 2).

Figura 2. Mapa Capacidad Agrológica de los Suelos

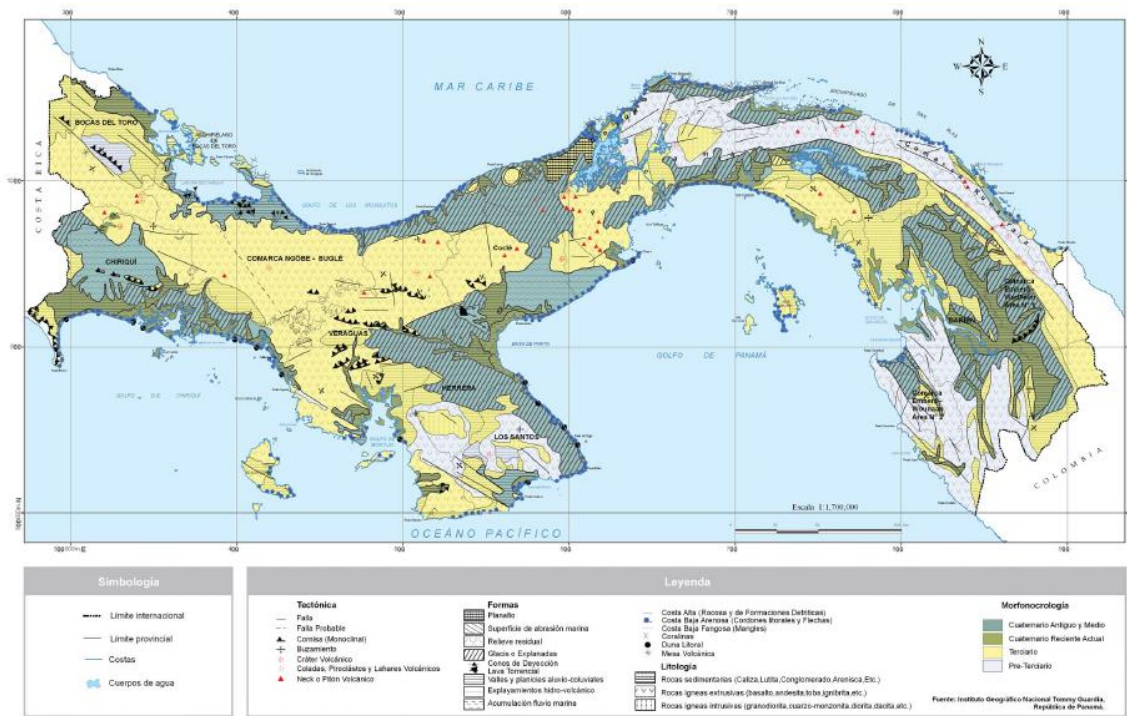


Fuente: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1> Adaptado por CODESA, 2021.

4.5. Geomorfología

El mapa de Geomorfología de Panamá, indica el sitio del proyecto tiene una Morfonocrología perteneciente al periodo terciario, con una litología de Rocas ígneas extrusivas de basalto, andesita, toba, ignibrita y otros (ver Figura 3).

Figura 3. Mapa Geomorfológico



Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Además, determinamos el índice de Gravelius o coeficiente de compacidad, según la siguiente ecuación:

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: perímetro de la cuenca en km,

A: Área de la cuenca en km².

Indicando Kc es de 1.16, lo cual indica que la forma del área de aporte en el punto de control corresponde a un tipo de cuenca pequeña es entre redonda y ovalada.

5. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA OBRA EN CAUCE

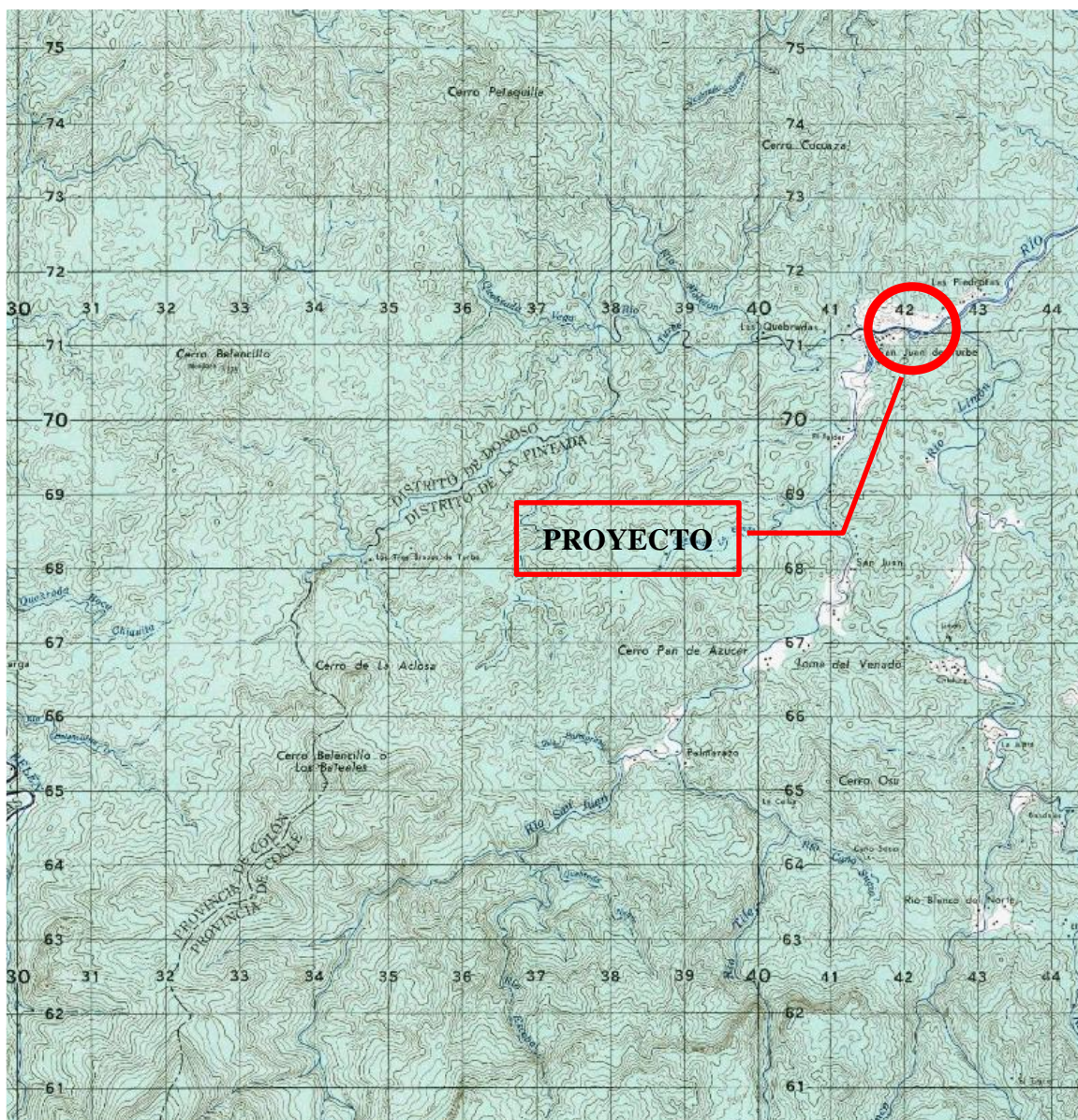
La Obra en Cauce denominada Puente Zarzo sobre el Río San Juan, se ubica sobre el Río San Juan, comunidad y corregimiento de San Juan de Turbe (antes San José del General), distrito Especial Omar Torrijos Herrera (antes distrito de Donoso), provincia de Colón (ver Figuras 4 y 5; Anexos 13.6 y 13.7). La zona de influencia directa de la obra se encuentra dentro del área protegida de Donoso (cuya categoría de manejo es la de Área de Usos Múltiples), creada mediante la Resolución AG-0139-2009 de 4 de marzo de 2009.

Figura 4. Ubicación general del Proyecto en vista satelital



Fuente: Google Earth más agregado.

Figura 5. Ubicación general del Proyecto. Mapa 1:50,000



Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Adaptado por CODESA, 2021.

En el cuadro 1, se muestran las coordenadas UTM WGS84 del punto de control donde se ubica la obra en cauce Puente Zarzo, sobre el río San Juan.

Cuadro 1. Coordenadas UTM WGS84 de la obra en cauce

Estación	Este	Norte	Estación	Este	Norte
1	541751.2	971387.9	8	541736.1	971450.1
2	541749.0	971396.2	9	541739.4	971438.9

Estación	Este	Norte	Estación	Este	Norte
3	541746.3	971405.9	10	541743.6	971424.5
4	541743.5	971415.5	11	541746.3	971414.9
5	541740.7	971425.1	12	541749.0	971405.3
6	541736.6	971439.5	13	541751.8	971395.7
7	541733.6	971449.4	14	541753.7	971388.6

Fuente: MPSA, 2021.

6. DEFINICIÓN DEL RÍO PRINCIPAL

El Río San Juan es afluente del Río Coclé del Norte, el cual es el río principal de la Cuenca 105, desemboca en el Atlántico y consta de una longitud de 75 km y un área de 1,710 km², en el tramo de análisis tenemos una pendiente de 0.4%.

Los datos de referencia se tomaron de la estación Toabré con código 105-02-01, en la siguiente tabla se muestran los datos de caudales históricos.

Cuadro 2. Caudales históricos (m³/s)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max.	149.4	44.6	32.7	50.5	90.2	91.1	78.9	122.7	150.5	116.1	146.9	166.0
Prom.	29.3	14.3	10.1	15.9	32.9	42.5	45.6	57.3	65.5	71.6	71.6	59.2
Min.	10.0	6.0	3.6	3.8	9.2	16.4	17.7	21.9	28.4	40.8	39.2	16.1

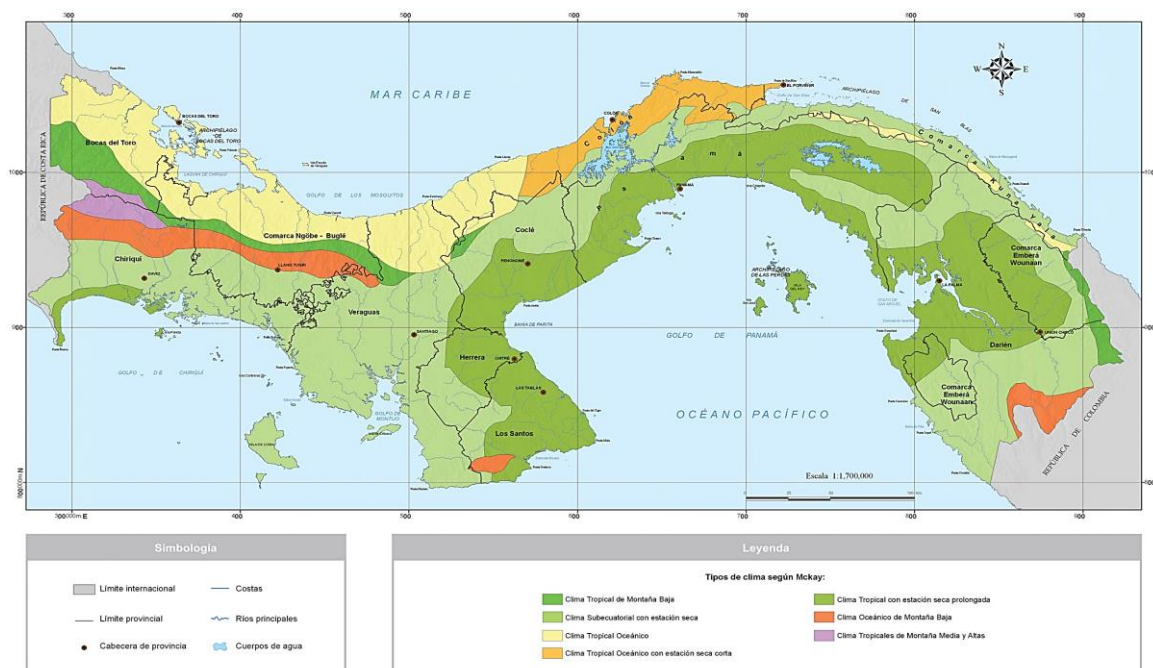
Fuente: HIDROMET. Histórico de caudales.

El caudal promedio anual es de 43.0 m³/s.

7. COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO

El comportamiento climático según McKay, es un Clima Tropical Oceánico, se extiende por las islas y tierras bajas de la vertiente del Caribe desde Bocas del Toro por el Oeste, hasta Colón occidental y Coclé noroccidental por el Este. Los promedios anuales de temperatura ascienden a los 25 y 27 °C. Los totales anuales de precipitación son elevados, alcanzando los 4,346 mm en Boca de Toabré. Este clima no posee estación seca y en todos los meses caen más de 100 mm de lluvia. Los vientos alisios, provenientes del Norte y del Nordeste, provocan lluvias orográficas copiosas (ver Figura 6).

Figura 6. Tipos de Clima Según McKay, 2000



Fuente: Atlas Ambiental de la República de Panamá, 2010.

Para el análisis climático se tomaron los datos de la Estación Toabré, operada por la Empresa de Transmisión Eléctrica (E.T.E.S.A.), siendo esta, la más cercana y representativa del área de estudio. Con los datos obtenidos, se procedió a elaborar un Balance Edafoclimático del área, que permitiera definir el comportamiento climático de la región.

En el cuadro 3 y la figura 7, se muestran los datos de Evapotranspiración y precipitación de la cuenca por mes y la gráfica correspondiente.

Cuadro 3. Comportamiento climático del área de Estudio

BALANCE EDAFOCLIMATICO MENSUAL DEL RIO SAN JUAN Y ALREDEDORES													
PROVINCIA DE COCLE							CUENCA DEL RIO COCLE DEL NORTE (105)						
ESTACION DE REFERENCIA: TOABRE							CODIGO DE ESTACION: 105-005						
LATITUD: 08° 38' N			LONGITUD: 80° 21' O					ASNMM: 200 METROS					
SUELO: ARCILLOSO		VEGETACION: MOD. PROFUNDIDAD						RETENCION: 150 mm					
TIPO DE ESTACION: PV													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Tot - Pr
EVAPOT. POTENCIAL	130	121	135	120	110	103	107	103	96	92	97	118	1332
PRECIPITACION	15	28	5	24	200	255	426	311	219	256	424	88	2251
PRECIP. - ETP	-115	-93	-130	-96	90	152	319	208	123	164	327	-30	
SUMA (VAL. NEGAT.)	-145	-238	-368	-464								-30	
ALMACENAJE	56	30	12	6	96	150	150	150	150	150	150	122	
DIFERENCIA DE ALMAC.	-66	-26	-18	-6	90	54	0	0	0	0	0	-28	
EVAPOT. REAL	81	54	23	30	110	103	107	103	96	92	97	116	1012
EXCESO DE AGUA	0	0	0	0	0	98	319	208	123	164	327	0	1239
DEFICIT. DE AGUA	49	67	112	90	0	0	0	0	0	0	0	2	320
TEMPERATURA MEDIA	26.0	26.6	27.2	27.3	26.9	26.5	26.6	26.5	26.3	26.2	26.2	26.3	26.6
RADIACION GLOBAL	446	454	452	417	376	366	369	357	345	324	350	406	389

Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica (E.T.E.S.A.).

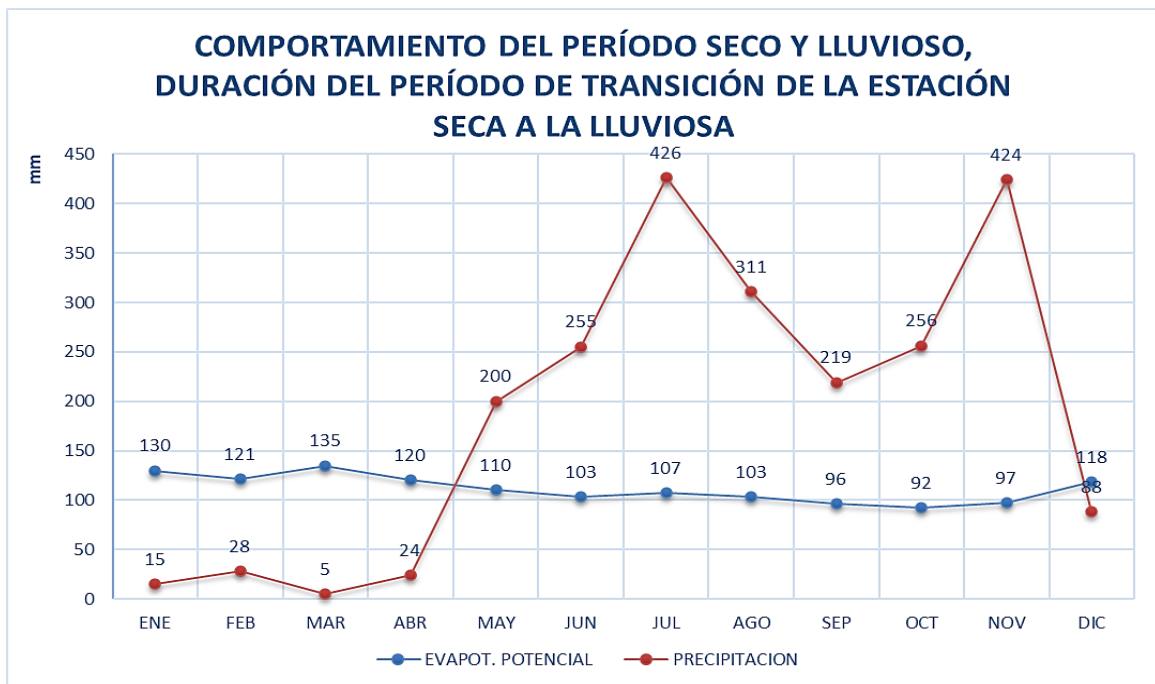
La estación meteorológica Toabré registra un total anual promedio de precipitación de 2,251 milímetros. Llueve durante todo el año, registrando las mayores precipitaciones es en el mes de julio y noviembre. El total anual de escorrentía superficial es de 1,239 milímetros.

En el gráfico de comportamiento climático (ver Figura 6), se observa que el área registra temporada seca entre los meses de diciembre a abril.

La temperatura promedio anual es de 26.6 grados centígrados (°C), siendo el mes de abril el mes más cálido, en donde las temperaturas alcanzan un promedio de 27.3 °C.

La radiación global anual promedio es de 389 calorías. Durante todo el año la radiación global oscila entre 324 y 454 calorías.

Figura 7. Balance edafoclimático de la Cuenca 105



Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica (E.T.E.S.A.).

8. BALANCE HIDROGEOLÓGICO PARA EL ÁREA QUE ABARCA EL RÍO SAN JUAN, HASTA EL PUNTO DONDE SE REALIZARÁ LA OBRA EN CAUCE

Para la confección del balance sobre el comportamiento de las aguas subterráneas en el área de estudio, se tomaron en cuenta los siguientes elementos:

- Total anual promedio de la precipitación, según periodo de registro de la estación meteorológica más cercana (Estación Toabré).
- Capacidad de almacenaje de agua en el suelo.
- Tipo de suelo.
- Escorrentía superficial.
- Déficit de agua en el suelo.
- Porcentaje de evapotranspiración.
- Área que comprende el terreno.

Para la elaboración del Balance Hidrogeológico se debe tener en cuenta que un milímetro de lluvia registrado en el pluviómetro equivale a un litro por metro cuadrado y a 10,000 litros por hectáreas. En el caso que nos ocupa el río San Juan, que tiene un área de drenaje de 158 ha, hasta el punto de la obra en cauce (ver Figura 8 y Cuadro 4).

Fuente: ArcGIS – ESRI más agregado.

Cuadro 4. Balance Hidrogeológico

BALANCE HIDROGEOLÓGICO PARA EL ÁREA DEL DRENAJE DEL RÍO SAN JUAN HASTA EL PUNTO DE CONTROL		
ELEVACIÓN m	AREA DE DRENAJE km²	ÁREA DE DRENAJE (A), m²
70.00	158.00	158,000,000.00
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (PP), mm	ESCORRENTIA ANUAL (ESC), mm	PÉRDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETP), mm
2,251.00	1,239.00	320.00
A*PP m ³	A*ESC m ³	A*ETP m ³
355,658,000,000.00	195,762,000,000.00	50,560,000,000.00
VOLUMEN m³		10,933,600.00

Fuente: Empresa de Trasmisión Eléctrica (E.T.E.S.A.).

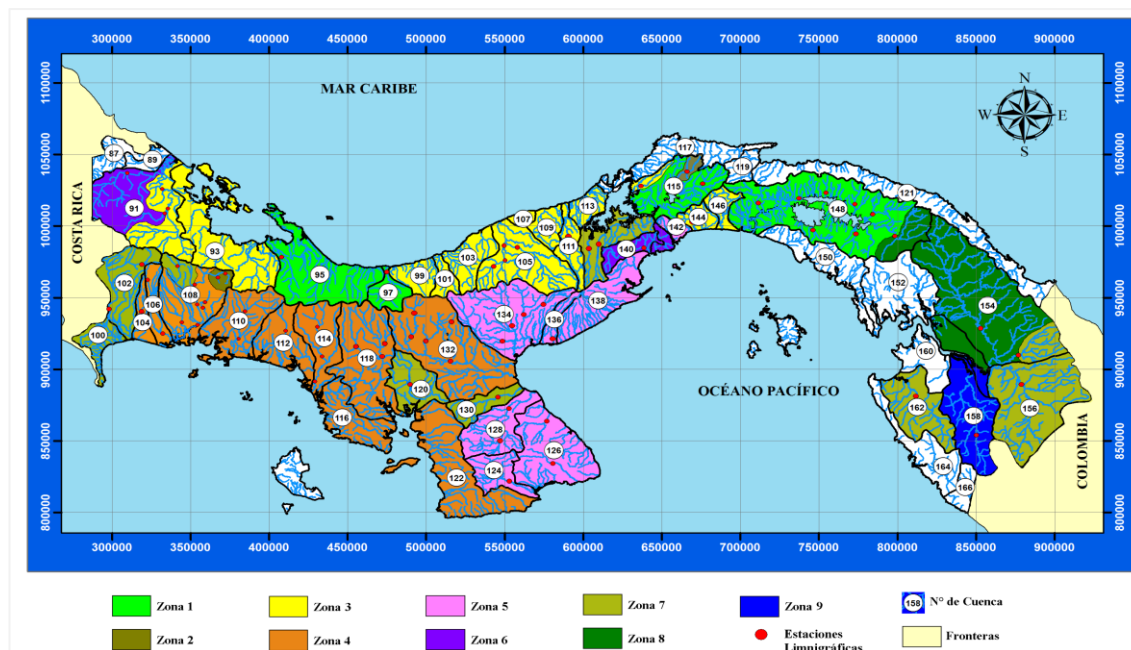
9. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ÁREA DE DRENAJE DEL RÍO SAN JUAN, HASTA EL PUNTO DE CONTROL

Para cuencas mayores a 250 ha (2.5 km^2) el método recomendado por el Ministerio de Obras Públicas es la metodología de Análisis de Regresión, Ecuación de Manning, Marca de Niveles Máximos y/o el método de Análisis Regional de Crecidas.

Los cálculos se realizaron para Periodos de retorno (Pr) de 1:10 y 1:100 años. El caudal obtenido para el Pr = 1:10 años, se utilizará para obtener el nivel mínimo de las escorrentías pluviales y el caudal mínimo. El caudal obtenido para el Pr = 1:100 años, nos dará el caudal máximo del río San Juan para las escorrentías pluviales y con este, el nivel de terracería según lo indica el Manual de Aprobación de Planos del Ministerio de Obras Públicas para puentes.

Para iniciar se debe definir la zona de comportamiento climático e hidrogeología de la cuenca en análisis. En el caso específico del área de Estudio, esta corresponde a la Zona 3 (ver Figura 9).

Figura 9. Zonas de Régimen Hidrogeológico Homogéneas



Fuente: Empresa de Transmisión eléctrica, S.A (E.T.E.S.A.), 1999.

9.1. Cálculo de caudal promedio

En el Anexo 13.2 se presenta la información de donde se obtuvo la ecuación para determinar los caudales máximos.

$$Q_{prom} = k * A^{0.59}$$

Donde:

Q_{prom} = Caudal promedio en m^3/s .

A = Área de drenaje de la cuenca en km^2 , para el Río Coclé del Norte $A = 158 km^2$

k = Constante que depende de la zona (Z), hidrológicamente homogénea. (Figura 8).

Para el Río Coclé del Norte, el área pertenece a la Zona 3 (Z 3), por lo tanto, $K = 25$ (ver Anexo 13.2).

Entonces:

$$Q_{prom} = 25 * 158^{0.59}$$

$$Q_{prom} = 495.62 m^3/s$$

9.2. Cálculo de caudal máximo para períodos de retorno

$$Q_{max} = F * Q_{prom}$$

Donde:

Q_{max} = Caudal máximo en m^3/s .

F = Constante que depende del período de retorno (ver Anexo 13.3).

Q_{prom} = Caudal promedio en m^3/s .

Realizamos el cálculo para distintos periodos de retornos de los cuales, sólo usaremos los periodos de retorno 1:10 y 1:100 (ver Cuadro 5 y Anexo 13.3).

Cuadro 5. Valores de caudal para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	F	Q_{max} (m³/s)
1.005	0.28	138.77
1.05	0.43	213.12
1.25	0.62	307.28
2	0.92	455.97
5	1.36	674.04
10	1.66	822.73
20	1.96	971.41
50	2.37	1,174.62
100	2.68	1,328.26
1,000	3.81	1,888.31
10,000	5.05	2,502.87

Fuente: CODESA, 2021 (ver anexo 13.3).

9.3. Modelo de crecidas

9.3.1. Topografía

Para ejecutar la simulación de inundaciones, se generó un modelo numérico de terreno que replica la realidad del campo. Para ello, los datos más adecuados que se utilizaron fueron los resultados obtenidos al realizar una campaña topográfica en sitio, cumpliendo con distancia mínima de 100 m¹ aguas arriba y aguas abajo del Puente Zarzo (ver Figura 10).

Utilizando las capas obtenidas luego de la digitalización de la red hidrológica en software Autocad Civil 3D, se generó el modelo TIN (Red Irregular Triangulada). Posteriormente, se exportó una imagen de elevaciones georreferenciada Raster formato TIFF para importar en el software HEC-RAS.

¹ Manual de Aprobación de Planos del Ministerio de Obras Públicas de Panamá.

Figura 10. Levantamiento topográfico

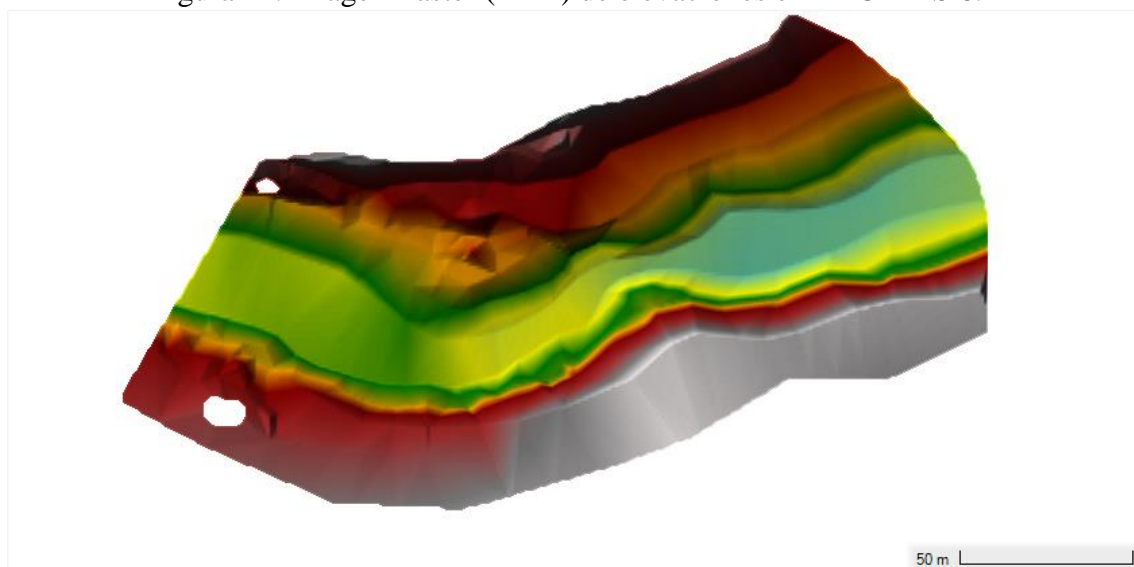


Fuente: CODESA 2021.

9.3.2. Proyección y superficie

Todos los procesos en esta etapa fueron realizados en el software HEC-RAS 6.1. Se importó la imagen de elevaciones georreferenciada tipo TIFF, se asigna formato de proyecciones y se procede a crear un alineamiento del río en la sección de estudio (ver Figura 11).

Figura 11. Imagen Raster (TIFF) de elevaciones en HEC-RAS 6.1



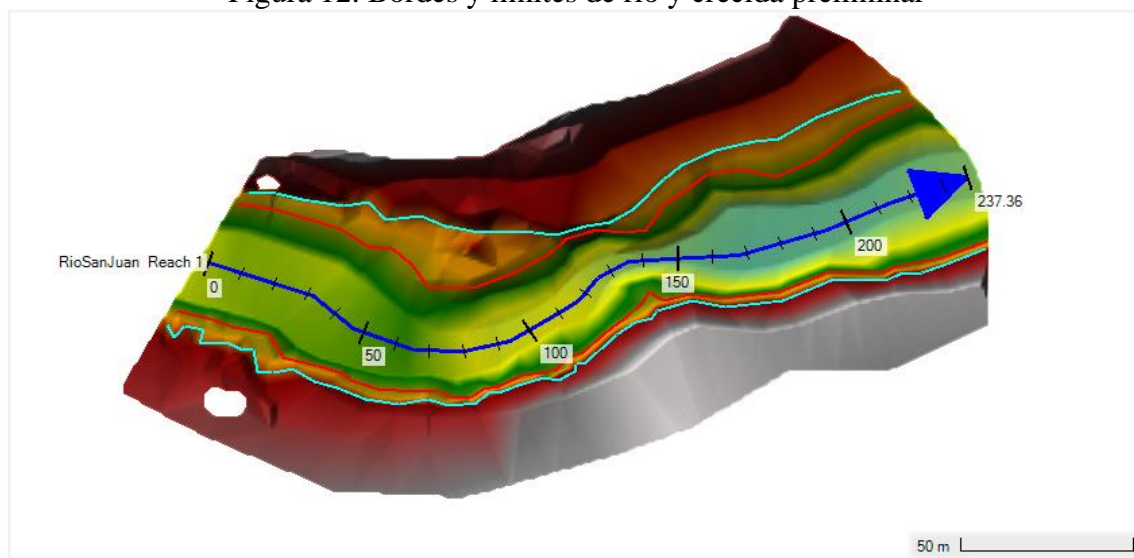
Fuente: CODESA 2021.

9.3.3. Bordes de río y secciones típicas

Posteriormente, se crean bordes del río y sección de posible inundación para agilizar los cálculos realizados por el software. Los bordes mencionados en el software se denominan: Stream Lines, Flow Paths, Bank Lines (ver Figura 12).

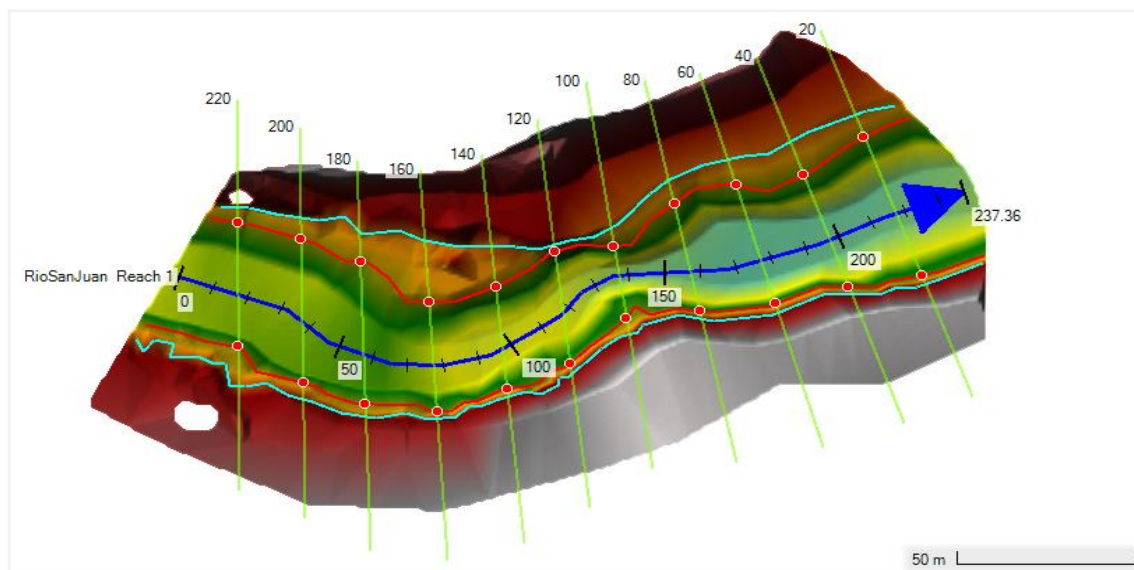
Una vez creado el alineamiento, se procede a crear líneas de secciones típicas. En este análisis se generaron secciones a cada 20 m alineadas perpendicularmente con el alineamiento del Río San Juan (ver Figura 13).

Figura 12. Bordes y límites de río y crecida preliminar



Fuente: CODESA 2021.

Figura 13. Secciones típicas para el cauce del Río San Juan

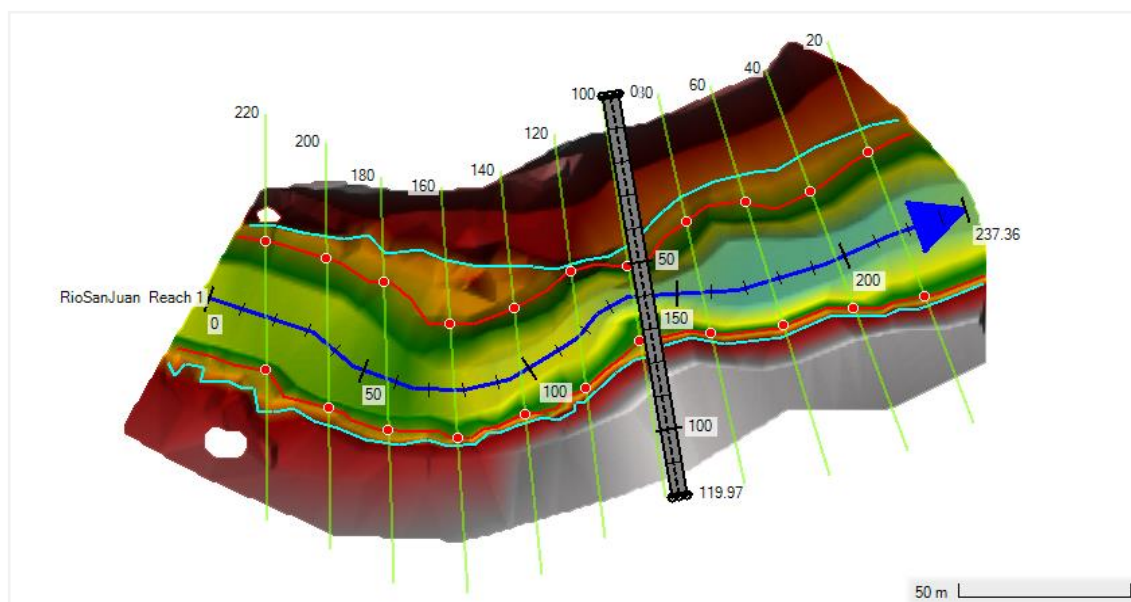


Fuente: CODESA 2021.

9.3.4. Sección típica Puente Zarzo

Se crea una sección transversal aproximada del Río con la ubicación prevista para el análisis de la elevación libre del puente en el periodo de estudio. Este modelo del puente se utiliza solo como referencia para el análisis de los resultados de crecida (ver Figura 14).

Figura 14. Sección típica del Puente Zarzo



Fuente: CODESA 2021.

9.3.5. Condiciones de flujo

El Software HEC-RAS determina en base a la topografía ingresada y asigna la pendiente río abajo de $S = 0.003625$ (ver Figura 15).

Figura 15. Pendiente calculada por HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
RioSanJuan	Reach 1	all		Normal Depth $S = 0.003692$

Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

9.3.6. Valores de Coeficientes de Manning

Se asignan valores de rugosidad en el rango Max: 0.06 – Normal: 0.04 – Min: 0.035 considerando el tipo de superficie y uso de suelo observado en sitio; tomando en cuenta los coeficientes de Manning indicados por el Manual de aprobación de planos del Ministerio de Obras Públicas (ver Figura 16).

Figura 16. Coeficientes de Manning

Edit Manning's n or k Values

River: **RioSanJuan** ☐ Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: **Reach 1** **All Regions**

Selected Area Edit Options

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	220	n	0.06	0.035	0.04
2	200	n	0.06	0.035	0.04
3	180	n	0.06	0.035	0.04
4	160	n	0.06	0.035	0.04
5	140	n	0.06	0.035	0.04
6	120	n	0.06	0.035	0.04
7	100	n	0.06	0.035	0.04
8	96	Puente Zarzo Bridge			
9	80	n	0.06	0.035	0.04
10	60	n	0.06	0.035	0.04
11	40	n	0.06	0.035	0.04
12	20	n	0.06	0.035	0.04

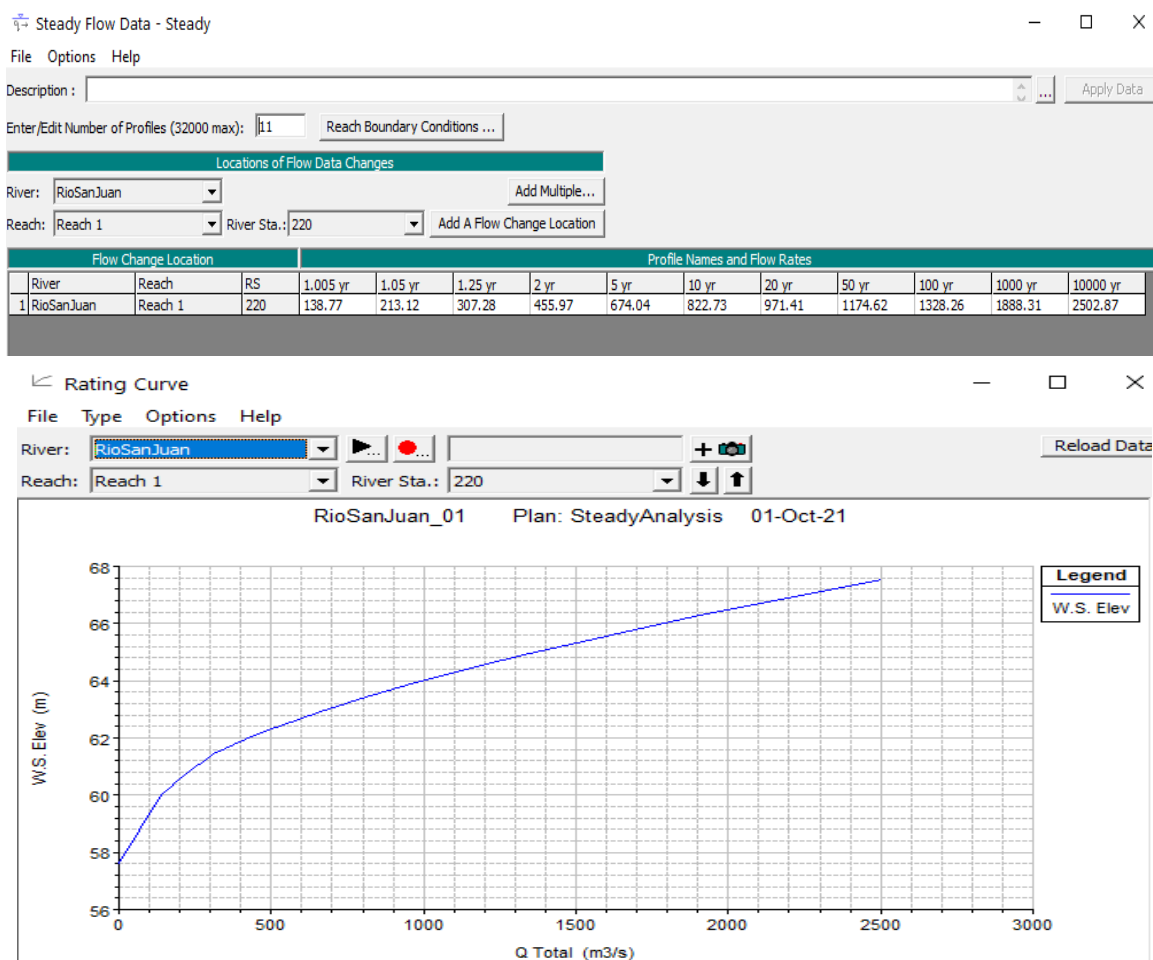
Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

9.3.7. Periodo de retorno

Para la simulación de crecidas se utilizaron los resultados obtenidos en la sección del punto de control previo, en el punto donde pasará el puente, con los respectivos periodos de retorno.

Para esta sección se grafica el nivel de crecida versus el caudal esperado (ver Figura 17).

Figura 17. Data y gráfica de Nivel vs Caudal



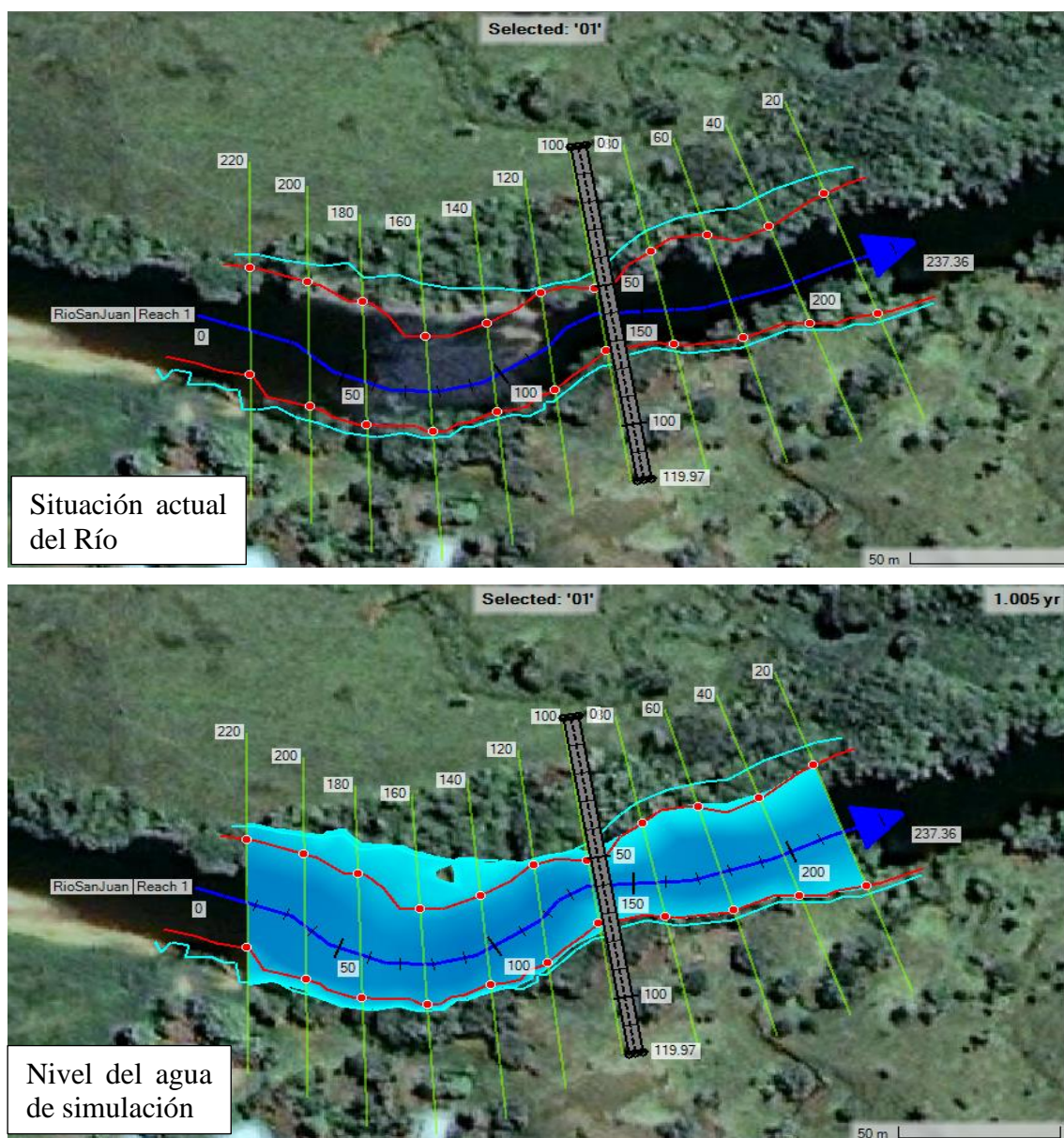
Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

9.4. Simulación de crecidas

Para el análisis de inundación, se utiliza flujo estable con los datos y procesos presentados previamente.

Como referencia, se realiza un comparativo de niveles en planta a partir de una condición actual, versus la situación en primer periodo (1 año), ver Figura 18.

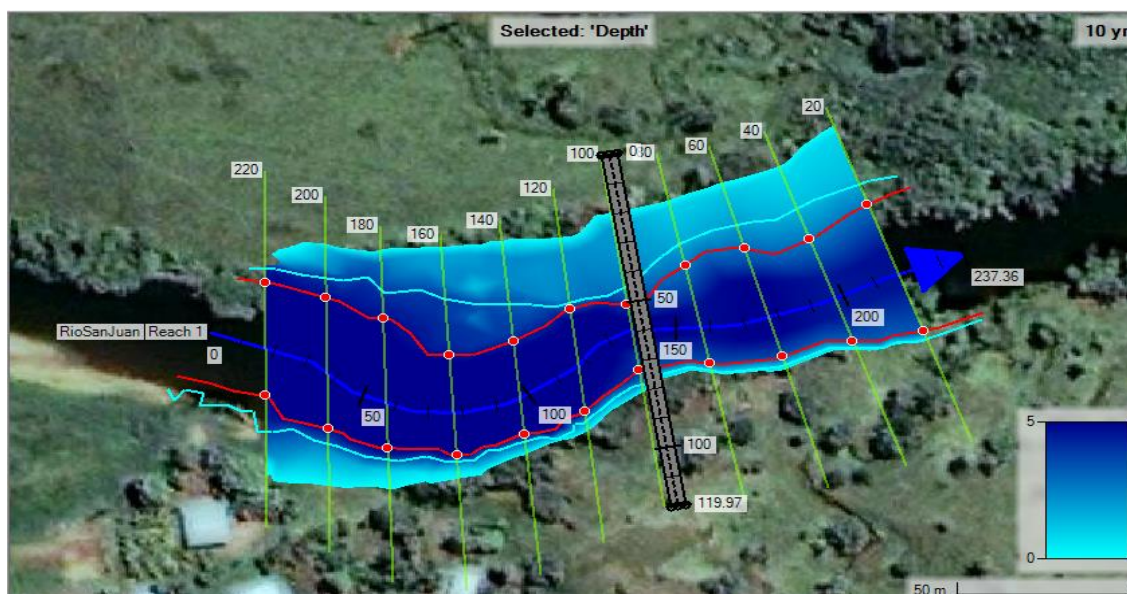
Figura 18. Situación para situación actual



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

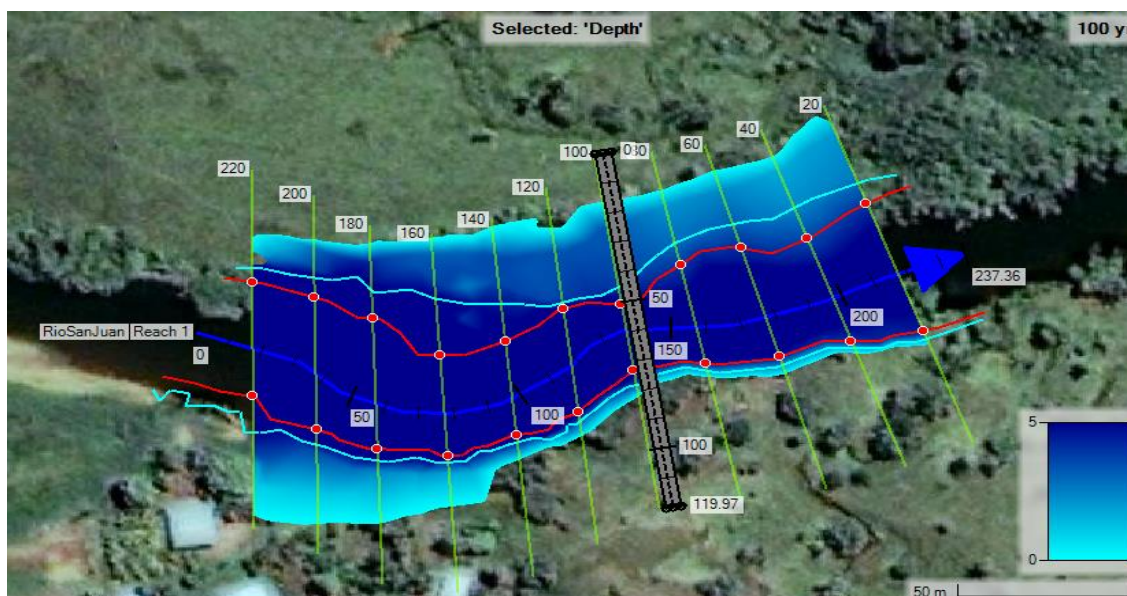
Los siguientes resultados (vista en planta), obtenidos al realizar la simulación, se presentan resultados correspondientes a los periodos 10 años y 100 años (ver Figuras 19 y 20).

Figura 19. Vista en Planta $P_R = 10$ años



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

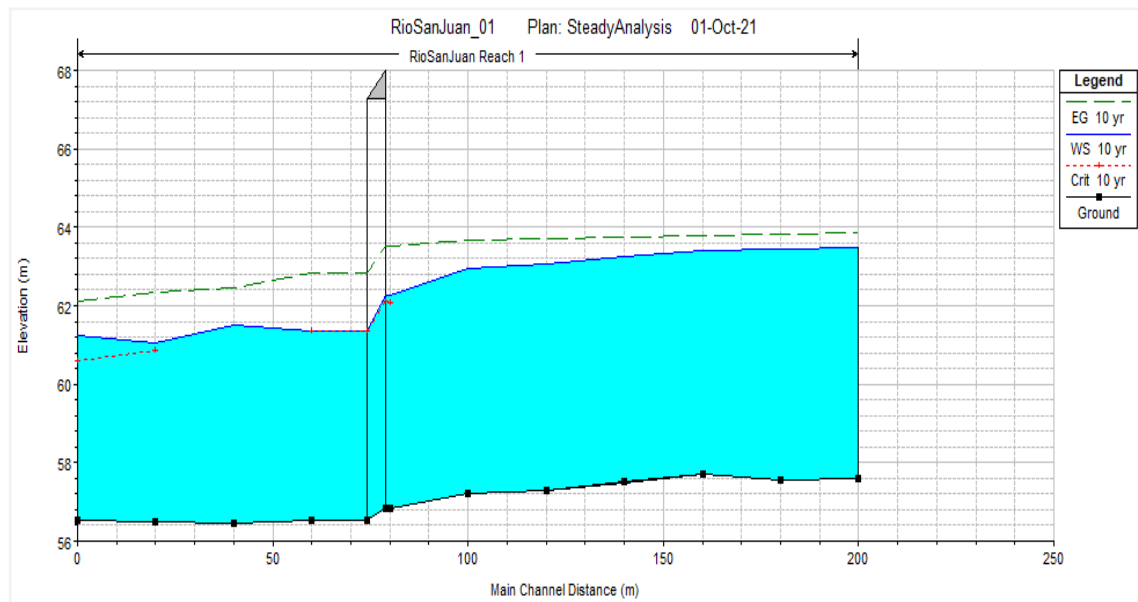
Figura 20. Vista en Planta $P_R = 100$ años



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

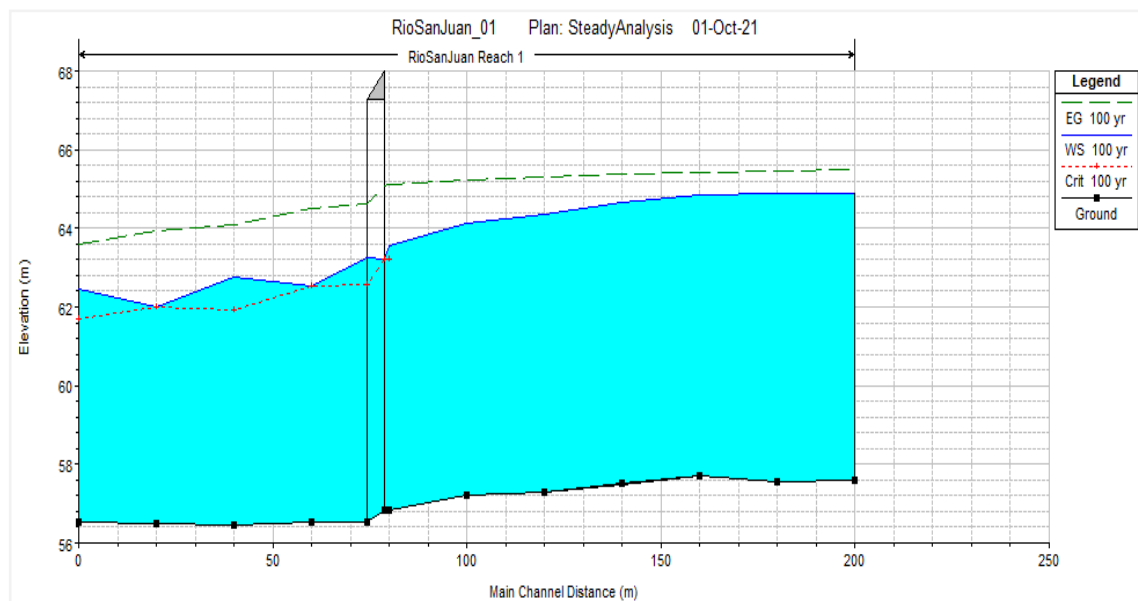
Los siguientes resultados (vista longitudinal), obtenidos al realizar la simulación, se presentan resultados correspondientes a los periodos 10 años y 100 años (ver Figuras 21 y 22).

Figura 21. Perfil Longitudinal para $P_R = 10$ años



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

Figura 22. Perfil Longitudinal para $P_R = 100$ años

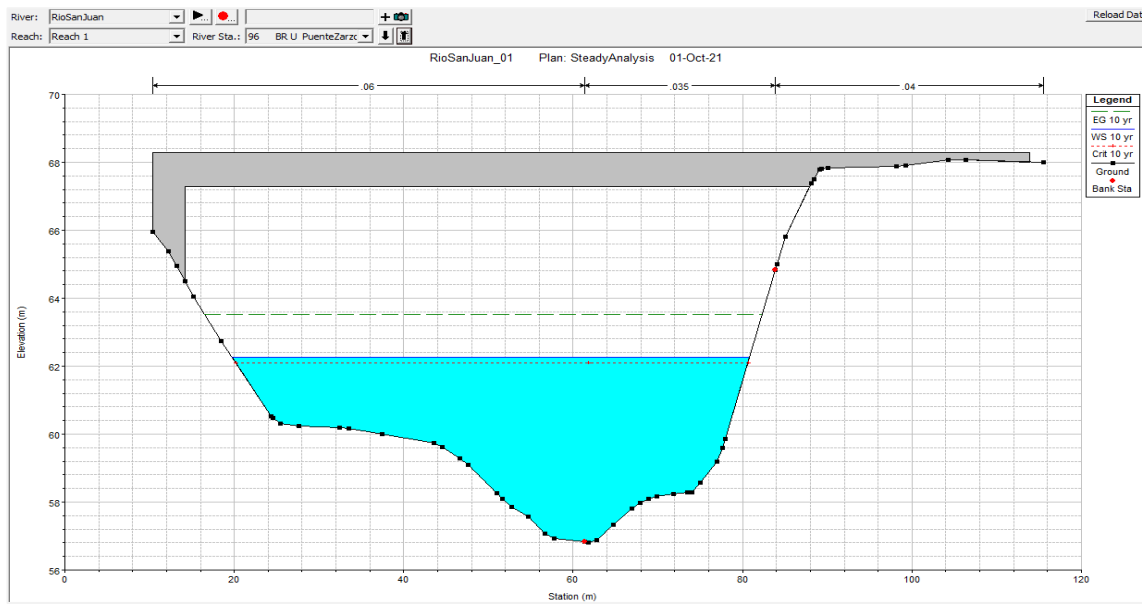


Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

9.5. Elevaciones máximas de crecidas

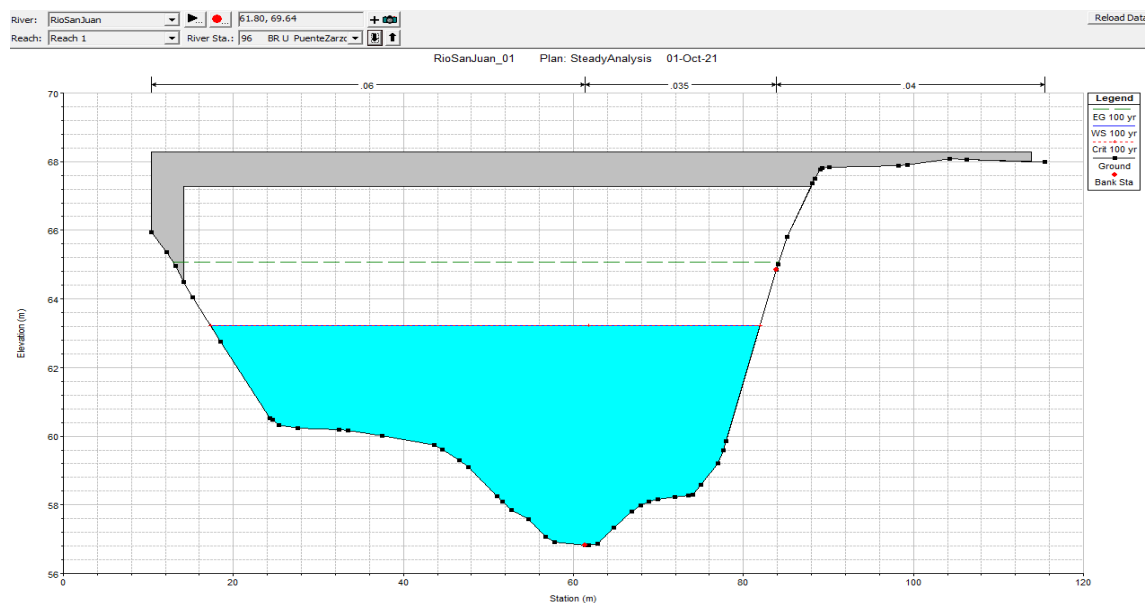
Para la simulación de crecidas en el punto fijado para la construcción del puente, se obtuvo los niveles de crecida para los periodos de retorno 1:10 y 1:100 años (ver Figuras 23 y 24).

Figura 23. Sección donde se construirá el Puente Zarzo, para $P_R = 10$ años



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

Figura 24. Sección donde se construirá el Puente Zarzo, para $P_R = 100$ años



Fuente: HEC-RAS, datos de CODESA.

De las secciones y de la simulación se estimó los niveles NAME en la sección del Puente Zarzo para cada periodo (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Resumen de valor de name y referencia de fondo

Periodo	Fondo aprox. (m)	Espejo de agua (m)	Diferencia (m)
10 años	56.55	61.34	4.79
100 años	56.55	63.24	6.69

Fuente: CODESA 2021.

Las demás secciones se muestran en los anexos para los periodos de retorno 1:10 y 1:100.

10. CONCLUSIÓN

Este estudio se basa en los requisitos establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), para dar viabilidad a obras como los que desarrollará la Sociedad Minera Panamá, S.A., buscando con ello el mejor diseño posible para el Proyecto “Puente Zarzo sobre el Río San Juan” en la comunidad de San Juan de Turbe.

Al ser un puente, la solución para el cruce de la vialidad, no se afectará el comportamiento hidráulico de río; por lo que se mantendrá el régimen de caudales y velocidades del agua, así como su funcionamiento. Con la ejecución del Proyecto “Puente Zarzo sobre el Río San Juan”, puede presentarse alteración de la calidad de agua del Río San Juan, debido al aporte de sedimentos que puede darse principalmente por la eliminación de la capa vegetal y el movimiento de tierra para la fundación del puente, así como la construcción de los accesos. Sin embargo, en condiciones de lluvia intensa, se observa que aguas arriba del área de desarrollo del Proyecto, ya el Río San Juan trae sedimentos, por lo que el aporte que pueda ocurrir sobre este parámetro al Río no será significativo.

De acuerdo con los requerimientos técnicos y el análisis hidráulico realizado, el nivel de crecida máximo es de 63.24 msnmm; y el fondo del río en nivel de 56.55 msnmm, para un retorno de 1:100 (100 años).

El Manual de Aprobación de Planos del Ministerio de Obras Públicas fija una distancia de seguridad entre el nivel de crecida máximo y en extremo más bajo de la luz del puente de 1.80 m.

El caudal normal de flujo es de 822.73 m³/s y el caudal máximo para un periodo de retorno de 1:100 años es de 1,328.26 m³/s. Las alturas sobre el nivel del mar en cada punto, fueron determinadas mediante topografía realizada en sitio.

Se hizo un análisis de la climatología del área de estudio, determinando el comportamiento del clima; en particular del régimen de lluvias de la zona y los niveles de escorrentía superficial. Así también, se realizó un balance hidrogeológico para el área que comprende la cuenca; con el propósito de determinar la disponibilidad de las fuentes hídricas subterráneas existentes.

11. RECOMENDACIONES

La altura más baja para el extremo inferior o más bajo de la luz del puente debe ser de 65.04 msnmm.

Durante la construcción se debe tener mucho cuidado con los cambios de velocidades en el flujo del Río San Juan durante las precipitaciones, principalmente en los meses de julio y noviembre.

En tal sentido, se sugiere de manera responsable el fiel cumplimiento de las normas establecidas por las leyes vigentes sobre los temas en cuestión relacionados con los recursos hídricos.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Atlas Ambiental de la República de Panamá, Autoridad Nacional del Ambiente, Primera Versión, 2010.
- Mapa Hidrogeológico de Panama. Publicado Por la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (1999).

- Información Meteorológica de la Estación Toabré, Operada por Hidrometeorología de ETESA.
- Datos de la Dirección de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República de Panamá.
- Manual de requisitos para aprobación de Planos del MOP. 1996.
- Distribución Territorial y Migración Interna en Panamá: Censo 2010. INEC 2014.
- Mapa Elaborado de Acuerdo al Contrato Al 3-82-10, Ministerio de Obras Públicas - Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" / Autoridad Nacional de Administración de Tierras.
- Balance Hídrico Superficial Panamá 1971-2002. PHI-VII / Documento Técnico No. 9. UNESCO, Organización de Las Naciones Unidas Para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Programa Hidrológico Internacional. 2008.
- Resumen Técnico, Análisis Regional De Crecidas Máximas de Panamá, Periodo 1971-2006. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Gerencia de Hidrometeorología. Septiembre 2008.
- Programa Google Earth Pro 7.3.4.8248
- Programa Arc View 3.2.
- Esri, HERE, Garmin, FAO, USGS
- Autodesk AUTOCAD 2021.
- HEC-RAS 6.0 Beta 3, Diciembre 2020, Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers.

13. ANEXOS

13.1. Imagen de Cédula de identificación personal del representante legal



Fuente: Proporcionado por el cliente.

13.2. Ecuaciones para determinar caudales máximos

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Q_{\text{máx}} = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

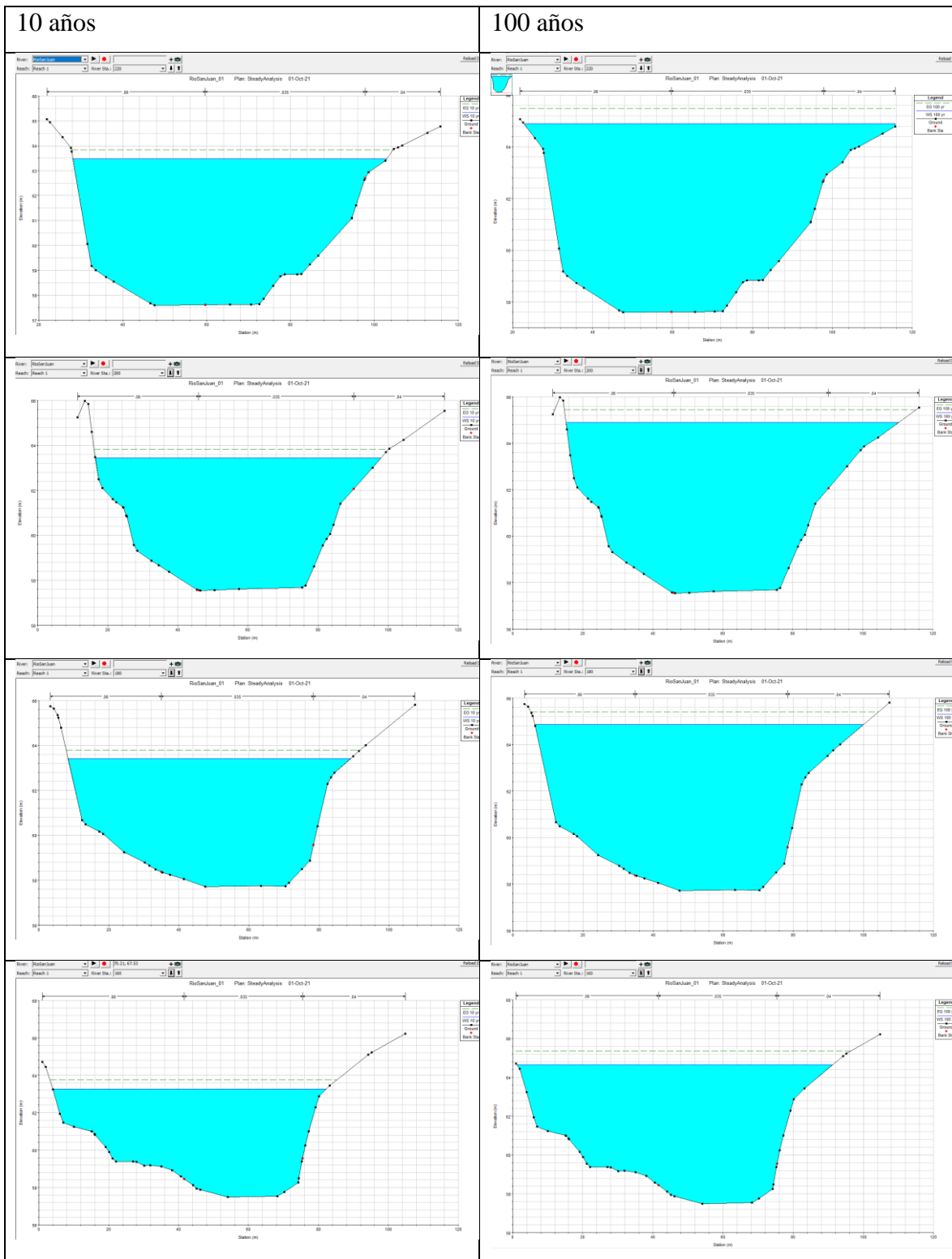
Fuente: Proporcionado ETESA-HIDROMET.

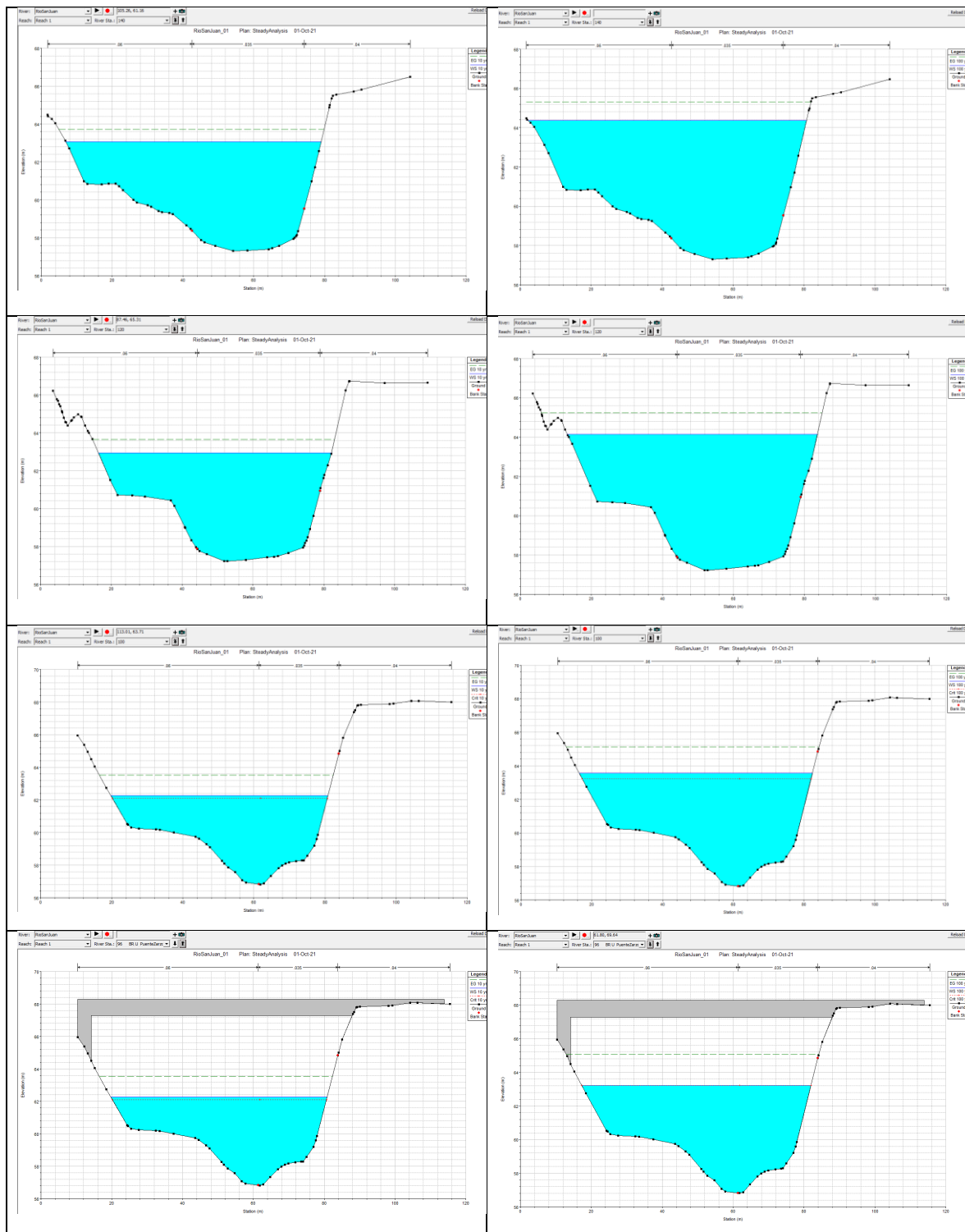
13.3. Factores para cálculo de caudal máximo para diferentes periodos de retornos

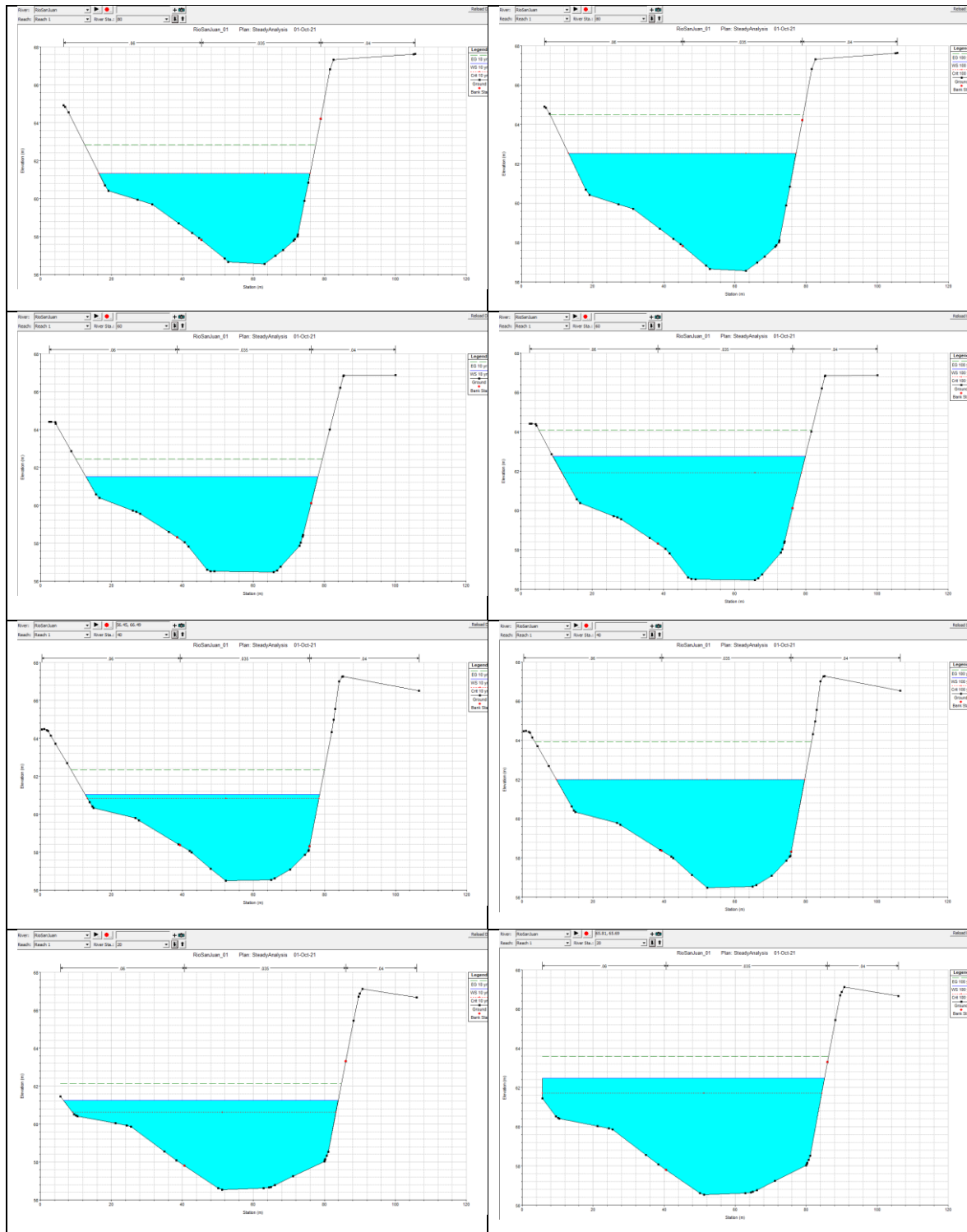
<i>Factores $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{prom.máx}}$ para distintos Tr.</i>				
<i>Tr, años</i>	<i>Tabla # 1</i>	<i>Tabla # 2</i>	<i>Tabla # 3</i>	<i>Tabla # 4</i>
1.005	0.28	0.29	0.3	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.6	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.6	4.00

Fuente: Proporcionado ETESA-HIDROMET.

13.4. Secciones con niveles de agua para P_R de 10 y 100 años







Fuente: HEC-RAS. Datos de CODESA, 2021.

13.5. Fotografías

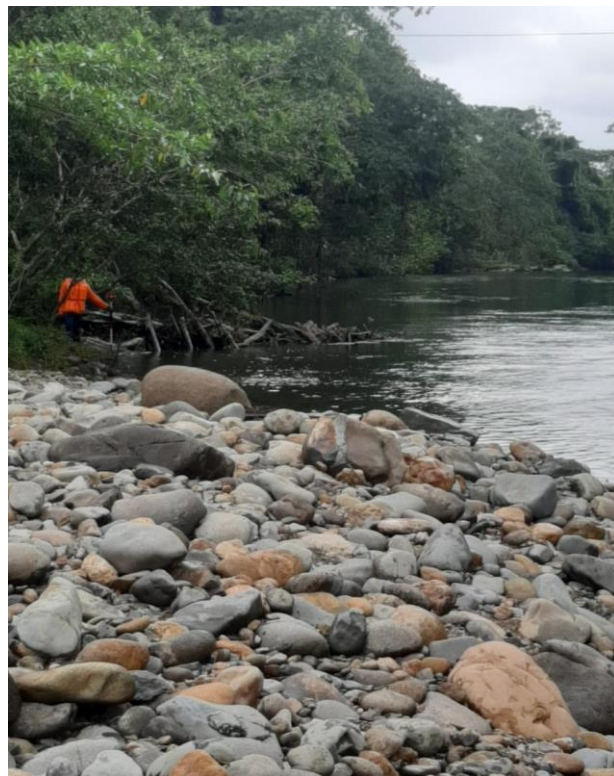
Imagen 1. Río San Juan aguas abajo



Imagen 2. Río San Juan aguas arriba



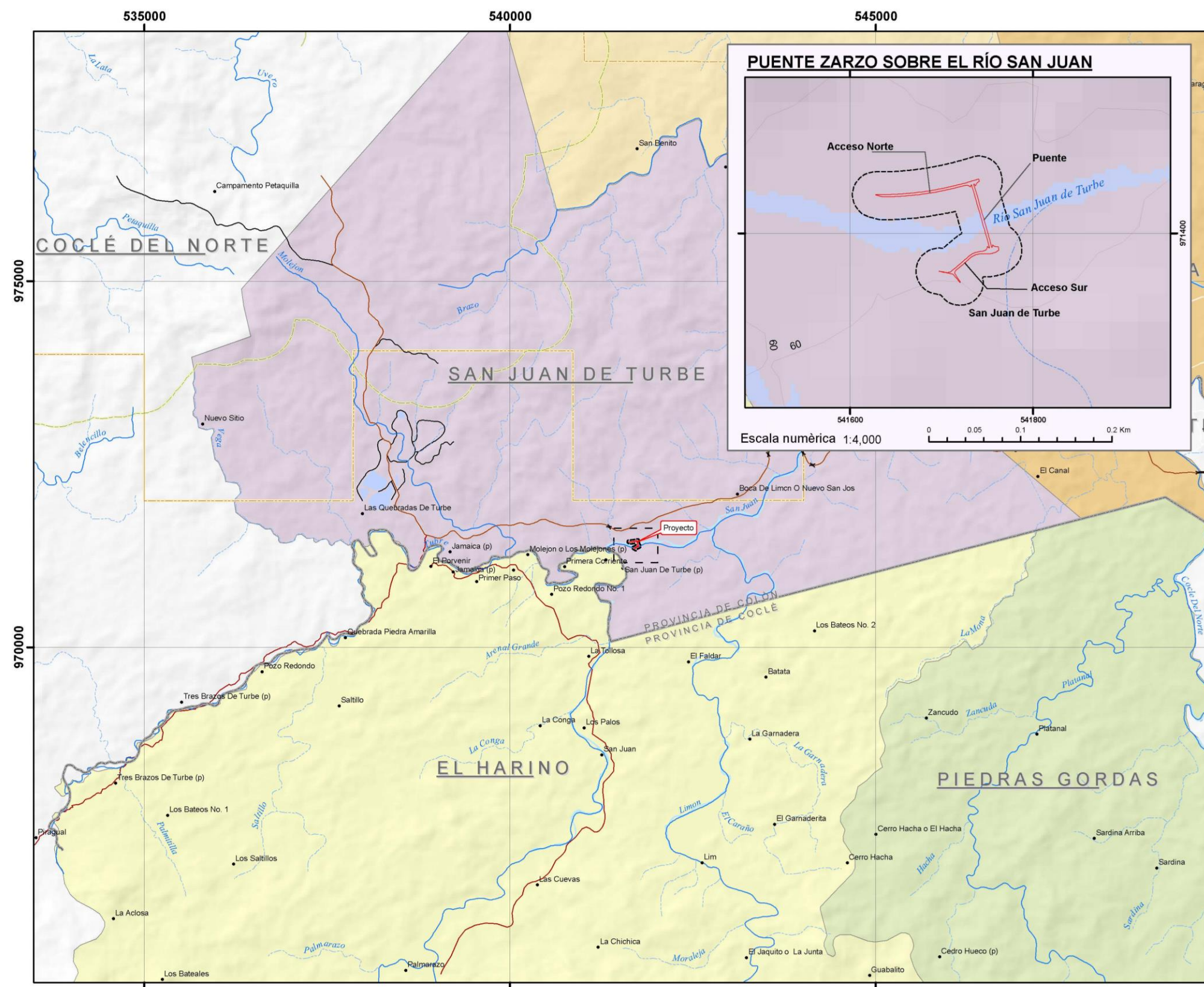
Imágenes 3 y 4. Levantamiento topográfico



13.6. Mapas

Mapa de ubicación geográfica en escala 1:50,000.

Mapa topográfico en escala 1:50,000.



MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA

PROYECTO:
PUENTE ZARZO SOBRE EL RÍO SAN JUAN

Corregimiento de San Juan de Turbe,
Distrito Omar Torrijos Herrera,
Provincia de Colón

LOCALIZACIÓN REGIONAL



Simbología

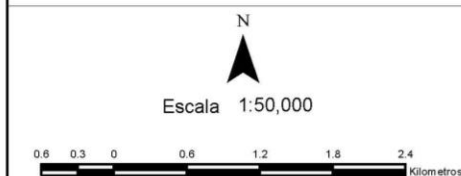
- Lugares Poblados
- Via Principal
- Vías Secundarias
- Red hidrográfica
- Límite provincia
- Áreas Urbanizadas

LEYENDA

- Áreas de Influencia del proyecto:
- Área de Influencia Indirecta (AII)
- Área de Influencia Directa (AID)

División Política Administrativa

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| Provincia de Coclé | Provincia de Colón |
| Distrito de La Pintada | Distrito Omar Torrijos H |
| El Harino | San José del General |
| Piedras Gordas | Nueva Esperanza |
| | San Juan de Turbe |



Referencia Espacial

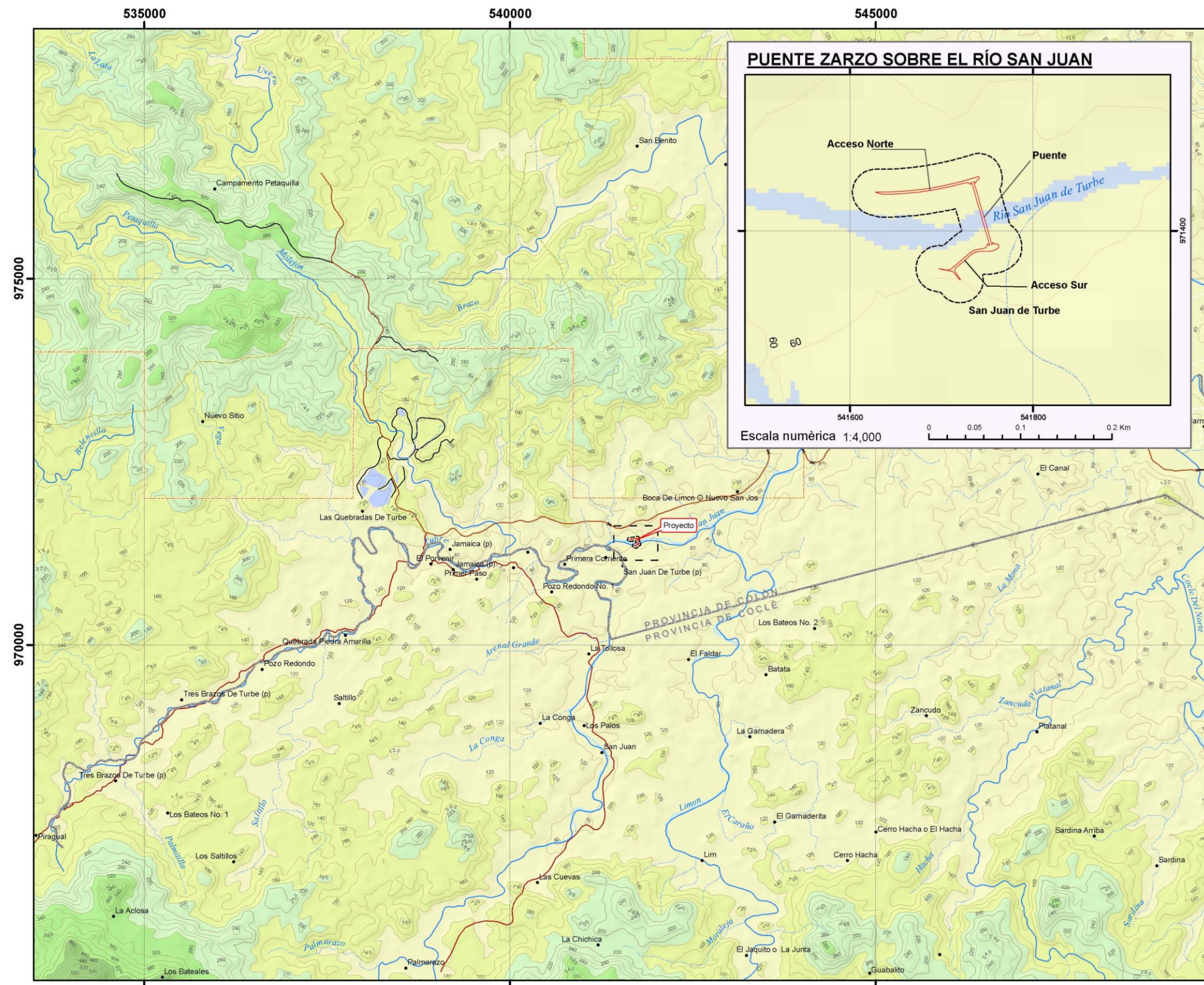
Sistema de Coordenadas UTM.....Zona 17 Norte

Datum.....WGS84

Intervalo Cuadrícula 5,000 metros



Fuente: Base de datos SIG CODESA. Hojas topográfica, 4042 II NW Petaquilla, 4042 II NE Coclesito, 1:25,000. Categorías de uso de suelo y cobertura de boscosa, ANAM 2012, Imagen RapidEye junio 2021



MAPA TOPOGRÁFICO

PROYECTO:
PUENTE ZARZO SOBRE EL RÍO SAN JUAN

Corregimiento de San Juan de Turbe,
Distrito Omar Torrijos Herrera,
Provincia de Colón

LOCALIZACIÓN REGIONAL

Simbología

- Lugares Poblados
- Vía Principal
- Vías Secundarias
- Red hidrográfica
- Límite provincia
- Curvas de nivel
- Áreas Urbanizadas

Áreas de Influencia del proyecto:

- Área de Influencia Indirecta (AII)
- Área de Influencia Directa (AID)

Elevación (msnm)

< - 100	261 - 400
101 - 160	401 - 600
161 - 260	

LEYENDA

Elevación (msnm)

< - 100	261 - 400
101 - 160	401 - 600
161 - 260	

Referencia Espacial

Sistema de Coordenadas UTM.....Zona 17 Norte

Datum.....WGS84

Intervalo Cuadricular 5,000 metros

CODESA
CORPORACION DE DESARROLLO AMBIENTAL, S.A.

Fuente: Base de datos SIG CODESA. Hojas topográfica, 4042 II NW Petaquilla, 4042 II NE Coclesito, 1:25,000. Categorías de uso de suelo y cobertura de boscosa, ANAM 2012, Imagen RapidEye junio 2021