

## **ANEXO VI – ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL PROYECTO**

- Diseño de drenajes menores.
- Ubicacion drenajes menores.
- Estudio hidráulico e hidrológico del puente vehicular sobre Brazo del Río Lagarto.
- Estudio hidráulico e hidrológico del puente vehicular sobre la Quebrada La Encantadita.



REPÚBLICA DE PANAMÁ  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO  
LA ENCANTADITA – EL LIMÓN**

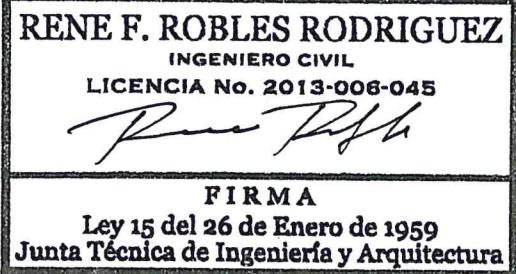
PROVINCIA DE COLÓN

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO  
PARA EL DISEÑO DEL DRENAJE MENOR**

PRESENTADO POR:



04 DE OCTUBRE DE 2019



## **CONTENIDO**

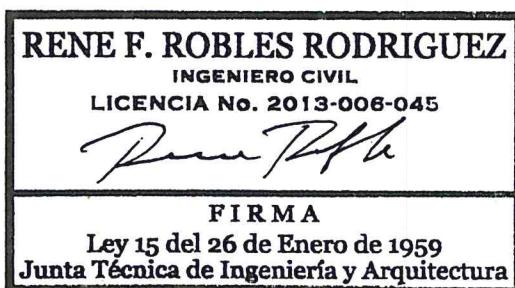
<b>INTRODUCCION .....</b>	2
<b>UBICACIÓN Y GENERALIDADES DEL CAMINO .....</b>	3
<b>METODOLOGIA DE DISEÑO .....</b>	4
<b>Análisis Hidrológico .....</b>	4
Método Racional.....	4
Tiempo de Concentración.....	4
Coeficiente de Escorrentía.....	5
Intensidad .....	6
Delimitación de la Cuenca de Drenaje.....	7
Resultados del Análisis Hidrológico .....	8
<b>Análisis Hidráulico.....</b>	8
Drenaje Transversal.....	8
<b>RESULTADOS DEL ANALISIS HIDRAULICO .....</b>	10
<b>Cálculos de la Capacidad Hidráulica del Sistema de Drenaje .....</b>	10
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	10

## INTRODUCCION

Para el desarrollo y mejoramiento de vías de acceso a comunidades se debe considerar la implementación de obras de drenaje que ayuden a mantener la integridad de la infraestructura vial prolongando tu periodo de vida útil.

Una carretera, camino o calle brinda a comunidades una ventana de oportunidades que contribuye a su desarrollo. Su diseño comprende una serie de estudios en distintas especialidades que permiten definir la estructura de pavimento, sin embargo, debe ir acompañado de un diseño hidrológico e hidráulico que permita dimensionar las obras transversales o longitudinales conforme a los requerimientos de los cauces naturales.

Por lo tanto se presenta este informe en donde se describe la metodología, consideraciones y cálculos para el Estudio Hidrológico e Hidráulico de la Licitación por Mejor Valor **2018-0-09-0-03-LV-005486 “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO LA ENCANTADITA – LIMÓN”**, con una longitud aproximada de **13.2 kilómetros** iniciando en el cruce de la Encantada y culminando en el cementerio del Limón.



## UBICACIÓN Y GENERALIDADES DEL CAMINO

El proyecto se localiza en la provincia de Colón aproximadamente a 40.25 kilómetros al noroeste del centro de la ciudad de Colón.



FIGURA 1 – Localización Regional del Proyecto

El camino presenta una geometría accidentada típica de caminos de montaña; una vegetación densa nos indica que las cuencas tienen una alta capacidad de infiltración. La mayor parte del camino se ubica en el parte agua de la cuenca lo que permite trabajar con estructura de drenajes más pequeñas y hacer uso de descargar a ambos lados por medio de cunetas trapezoidales. Presenta obras de drenaje existente con dimensiones que van de (0.60m-1.20m) de diámetro, un cajón existente de 3.05mx3.05m, un vado sobre el Río La Encantadita de 19 tubos de 0.90m de diámetro en donde se proyecta construir un puente de 50m, y un puente existente sobre Quebrada La Encantadita de 15m.

## METODOLOGIA DE DISEÑO

### Análisis Hidrológico

#### Método Racional

Este método, que la literatura inglesa atribuye a Llooyd-George en 1906, si bien en los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1850, permite determinar el caudal máximo que escurría por una determinada sección, bajo el supuesto que este acontecerá para una lluvia de intensidad constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

La hipótesis se satisface para un lapso de tiempo, denominado tiempo de concentración  $t_c$ , definido como el tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de aforo o de estudio.

$$Q = c * i * A * 360 \dots \dots \dots \text{ (Ecuación del Método Racional)}$$

Q – Caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

c – coeficiente adimensional de escorrentía.

i – Intensidad de la lluvia en  $\text{mm/hr}$ .

A – Área de la cuenca en  $\text{Km}^2$ .

#### Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía (agua que cae y se transporta por la cuenca) de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o cierre. Está determinado por el tiempo que tarde en llegar el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado a la salida de la cuenca, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

Este valor ha sido tocado por varios autores, por lo que su cálculo es variable dependiente del autor que sea consultado, por lo tanto, este es atributo del su investigador.

La determinación del tiempo de concentración se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas. Destacando las ecuaciones de Bransby-Williams, SCS Ranser, Temez, Kirpich, V.T.Chow.

#### Método de Bransby-Williams

Formulada por el cuerpo de ingenieros de U.S.A. especialmente se recomienda para cuenca rurales menores de 75Km<sup>2</sup>.

Ecuación de Bransby-Williams.....
$$T = 0.2433L * A^{-0.1} \frac{L^{-0.1}}{S^{0.2}}$$

T – tiempo de concentración en minutos.

L – distancia máxima a la salida en Km.

A – área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

S – pendiente media del cauce principal en m/m

#### Método de Kirpich

Desarrollada a partir de información del Soil Conservation Service (S.C.S) en cuencas rurales de Tennessee y Pensilvania, con canales bien definidos y con pendientes muy pronunciadas (3-10%). Algunos investigadores sugieren que esta fórmula debe ser usada en cuenca con áreas no mayores a 100 Ha.

Ecuación de Kirpich.....
$$T = 3.9 * \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.7}$$

T – tiempo de concentración en minutos.

L – longitud del cauce principal.

S – pendiente del cauce en m/m.

#### Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía, es la fracción de precipitación que se transforma en caudal, es decir, la relación que existe entre el volumen de escorrentía superficial y la precipitación total.

El coeficiente de escorrentía no es un factor constante, pues varía de acuerdo a la magnitud de la lluvia y particularmente con las condiciones fisiográficas de la

cuenca hidrográfica (cobertura vegetal, pendientes, tipo de suelo, factores granulométricos y litológicos), debido a esto su determinación es un valor aproximado.

La consideración por parte de la entidad contratante MOP exige utilizar un coeficiente de escorrentía equivalente a 0.85 como valor mínimo para este proyecto.

#### Intensidad

Uno de los primeros pasos que debe seguirse en muchos de los proyectos hidrológicos, es la determinación del evento o eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre intensidad de lluvia, la duración, y las frecuencias apropiadas para la obra y el sitio. Usualmente se presentan gráficas con la duración de la lluvia en el eje de las x y la intensidad en el eje y, mostrando una serie de curvas para cada uno de los períodos de retorno.

Para emplear las curvas I-D-F es imprescindible conocer la duración de la lluvia y los períodos de retorno que varían en función de la estructura futura.

Para el cálculo de la intensidad de lluvia como indica el Ministerio de Obras Públicas de Panamá, se utilizaron las fórmulas establecidas por el "Manual de Aprobación de MOP" de la vertiente del Atlántico elaborado en 1981. Presentadas en el Estudio de Consultoría "Diseño del Sistema Pluvial de la Ciudad de Colón". Las cuales se obtuvieron con información de la estación Meteorológica de Cristóbal, adyacente a la Ciudad de Colón. Esta información consistió de observaciones de precipitaciones por un período de 23 años: de 1957 a 1979. De la recopilación de datos de precipitación pluvial se obtuvieron curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 30 y 50 años.

Periodo de Retorno de 1:20 años..... $i = \frac{13.346}{T_c + 64.3}$  en mm/hr

Periodo de Retorno de 1:50 años..... $i = \frac{15.508}{T_c + 71.7}$  en mm/hr

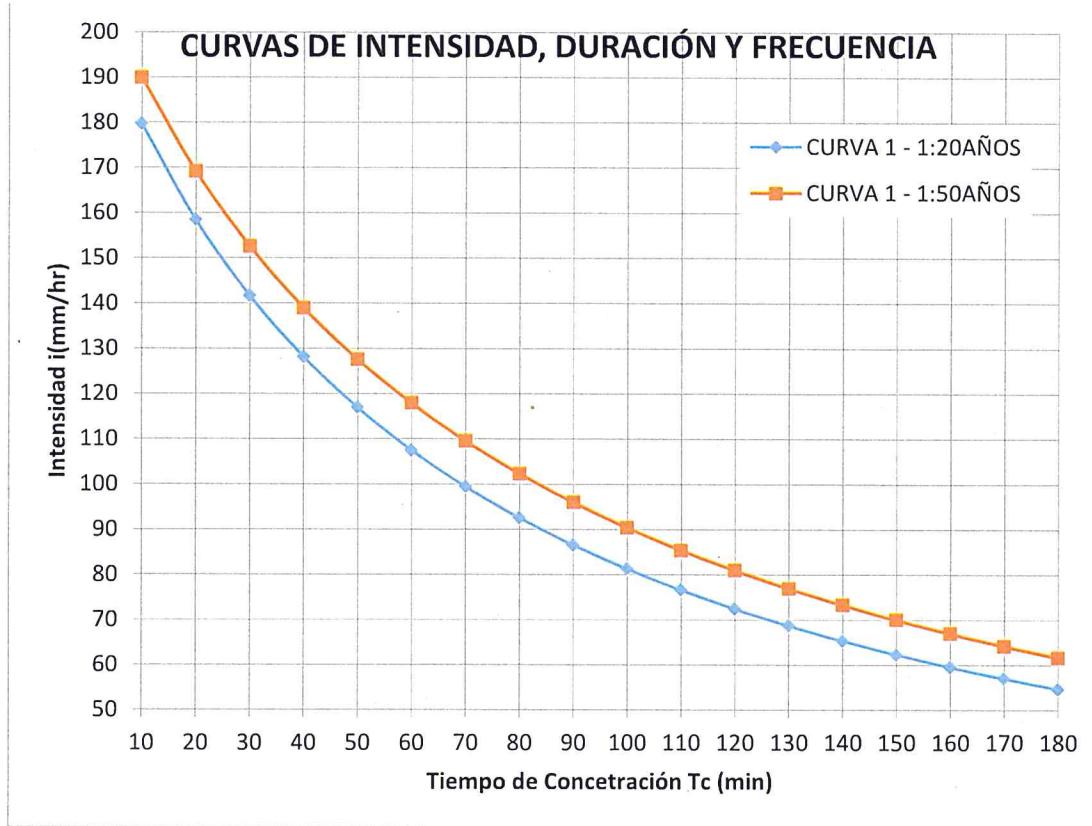


FIGURA 2 – Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia para la Vertiente del Atlántico.

#### Delimitación de la Cuenca de Drenaje

La divisoria de agua es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marcando así el límite de una cuenca hidrográfica con otras cuencas aledañas. El agua que precipita a cada lado de la línea divisoria generalmente desemboca en ríos distintos, de ahí la importancia de marcar correctamente dicha línea.

Es costumbre realizar la delimitación de la cuenca mediante la interpretación de los mapas topográficos o las cartografías. Aunque es normal también seguir tres reglas sencillas y prácticas para la delimitación de la cuenca hidrográfica.

- Identificar la red de drenaje, o corrientes superficiales, realizar un esbozo muy general de su posible delimitación
- Invariablemente, la línea de divisoria debe cortar perpendicularmente a las curvas de nivel y pasar por el punto de mayor elevación topográfica.
- Cuando la divisoria va incrementando su elevación. Corta a las curvas de nivel en su parte convexa.

#### Resultados del Análisis Hidrológico

Para esto se presenta el **Cuadro 1**, presenta el cálculo de caudales con periodo de retorno de 20 y 50 años respectivamente, donde se muestra de forma ordenada la información requerida para el cálculo del caudal de diseño, datos de la cuenca (área, longitud, elevación (máxima y mínima), pendiente, tiempo de concentración y caudales de diseño para los periodos de retorno de 20 y 50 años.

#### **Análisis Hidráulico**

##### Drenaje Transversal

Un drenaje transversal es una obra que se encuentra debajo de una carretera y que proporciona continuidad al flujo de un cauce menor, quebrada o río. Muchos drenajes transversales no trabajan a flujo lleno y pueden ser analizados como canales abiertos. Una gran diferencia entre tubos o canales abiertos es que en los tubos el flujo es confinado y área de agua es constante.

La continuidad del flujo existe cuando en dos secciones transversales ya sea para un tubo o un canal el volumen de agua que entra es igual al que sale.

Ecuación de Continuidad..... $A_1V_1 = A_2V_2$

En hidráulica elemental se sabe que la energía total del agua del cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección de canal puede expresarse como la altura total del agua, que es igual a la suma de la elevación por encima del nivel de referencia, la altura de presión y la altura de velocidad.

## Ecuación de Chezy Manning

Esta ecuación es una herramienta muy útil para el cálculo y análisis del flujo uniforme. Cuando se conocen el caudal, la pendiente y la rugosidad, esta ecuación da el factor de sección  $A_n R_n^{2/3}$  y, por consiguiente, la profundidad normal  $y_n$ . Por consiguiente cuando se conoce  $n$ ,  $S$  y la profundidad se puede calcular el caudal utilizando la siguiente expresión:

Ec. Manning..... 
$$Q = A * \frac{R^{\frac{1}{3}}}{n} * \sqrt{s}$$

## Ecuación de Darcy – Weisbach

Es una ecuación ampliamente utilizada en hidráulica. Permite el cálculo de la perdida de carga debida a la fricción dentro de la tubería llena. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach.

Ec. Darcy – Weisbach.....  $hf = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \frac{v^2}{2g}$

### Ecuación de Colebrook – White

El campo de aplicación de esta fórmula se encuentra en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento y flujo turbulento. Para la obtención de  $\lambda$  que se trata del mismo factor  $f$  que parece en la ecuación de Darcy – Weisbach es necesario el uso de métodos iterativos. Otra forma más sencilla y directa de obtener el valor de  $\lambda$  es hacer uso del diagrama de Moody.

Ecuación de Colebrook – White.....
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\frac{k}{D}}{3.7} + \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \right)$$

## RESULTADOS DEL ANALISIS HIDRAULICO

### Cálculos de la Capacidad Hidráulica del Sistema de Drenaje

A continuación se hace mención a los cuadro resumen con la información obtenida de los cálculos del programa HY-8.

**Cuadro 2**, Evaluación de la Capacidad Hidráulica, se presentan los resultados del análisis de capacidad hidráulica para los drenajes existentes y proyectados cumpliendo con los requerimientos del Ministerio de Obras Públicas de Panamá. Se muestra información detallada de la capacidad, tirante, velocidades y el caudal máximo admisible.

**Cuadro 3**, Cuadro de Drenaje Transversal, se presenta el resumen de la información necesaria para la construcción y rehabilitación de los drenajes del proyecto.

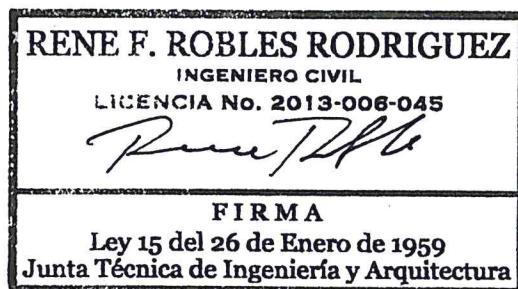
**Cuadro 4**, Cuadro de Drenaje Longitudinal (Lateral Izquierdo y Derecho), se presenta el resultado de la evaluación por capacidad para el sistema de drenaje longitudinal proyectado.

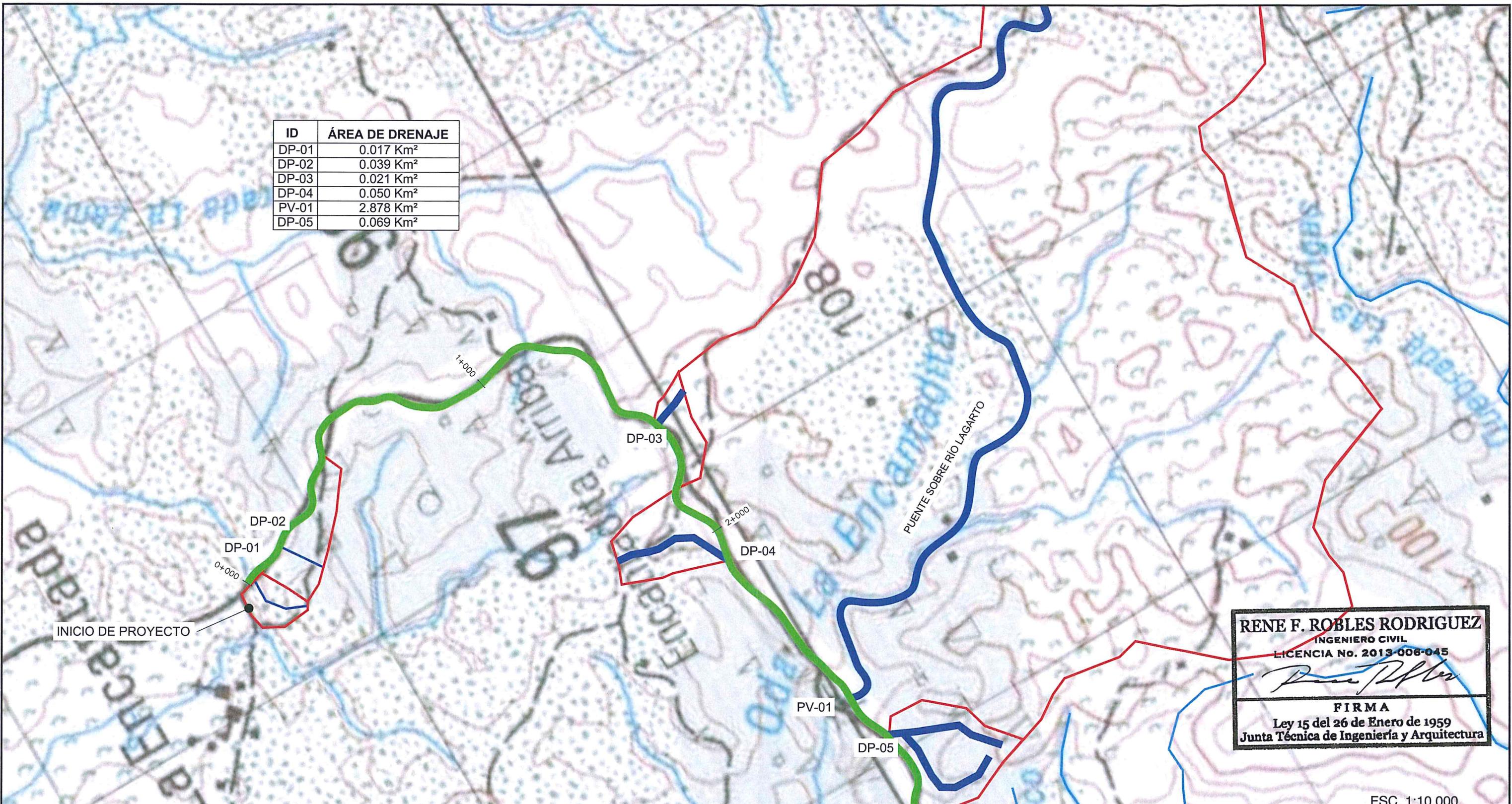
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

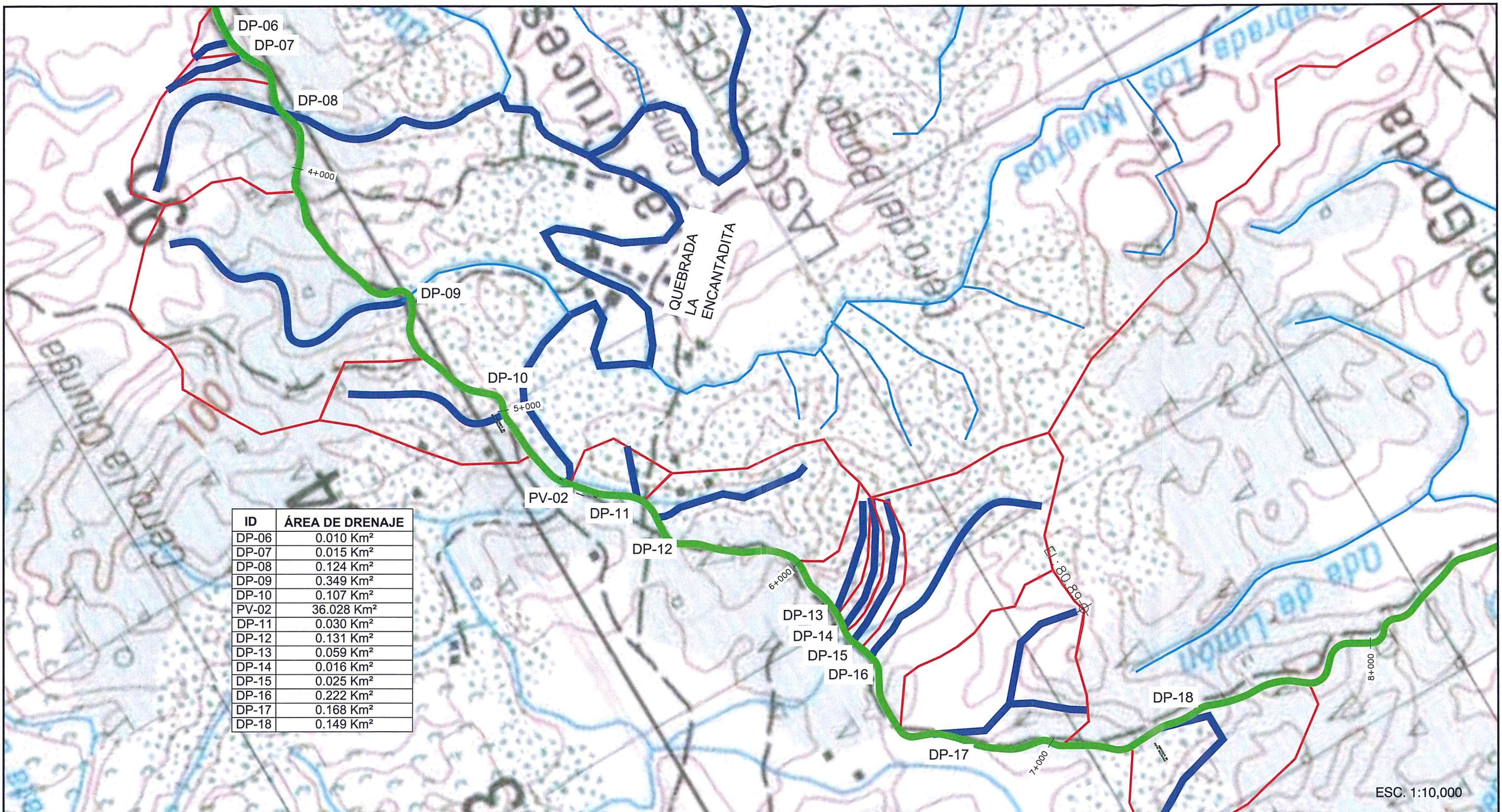
- Se realizó una evaluación para proyectar drenajes que contribuyan a la descarga de los cursos naturales de agua y puntos de alivio con capacidad suficiente para manejar las crecidas máximas establecidas por el MOP para periodos de retornos de 20 y 50 años.
- Para el óptimo funcionamiento de los sistemas de drenaje transversal se deberá cumplir con los parámetros de diseño mínimos indicados en los "cuadros de drenaje transversal", como datos de elevación, longitud, pendiente, diámetro y recubrimiento mínimo indicados.
- Los tubos de hormigón fueron diseñados para un periodo de retorno de 20 años, con un diámetro mínimo de 0.90m establecido por el MOP

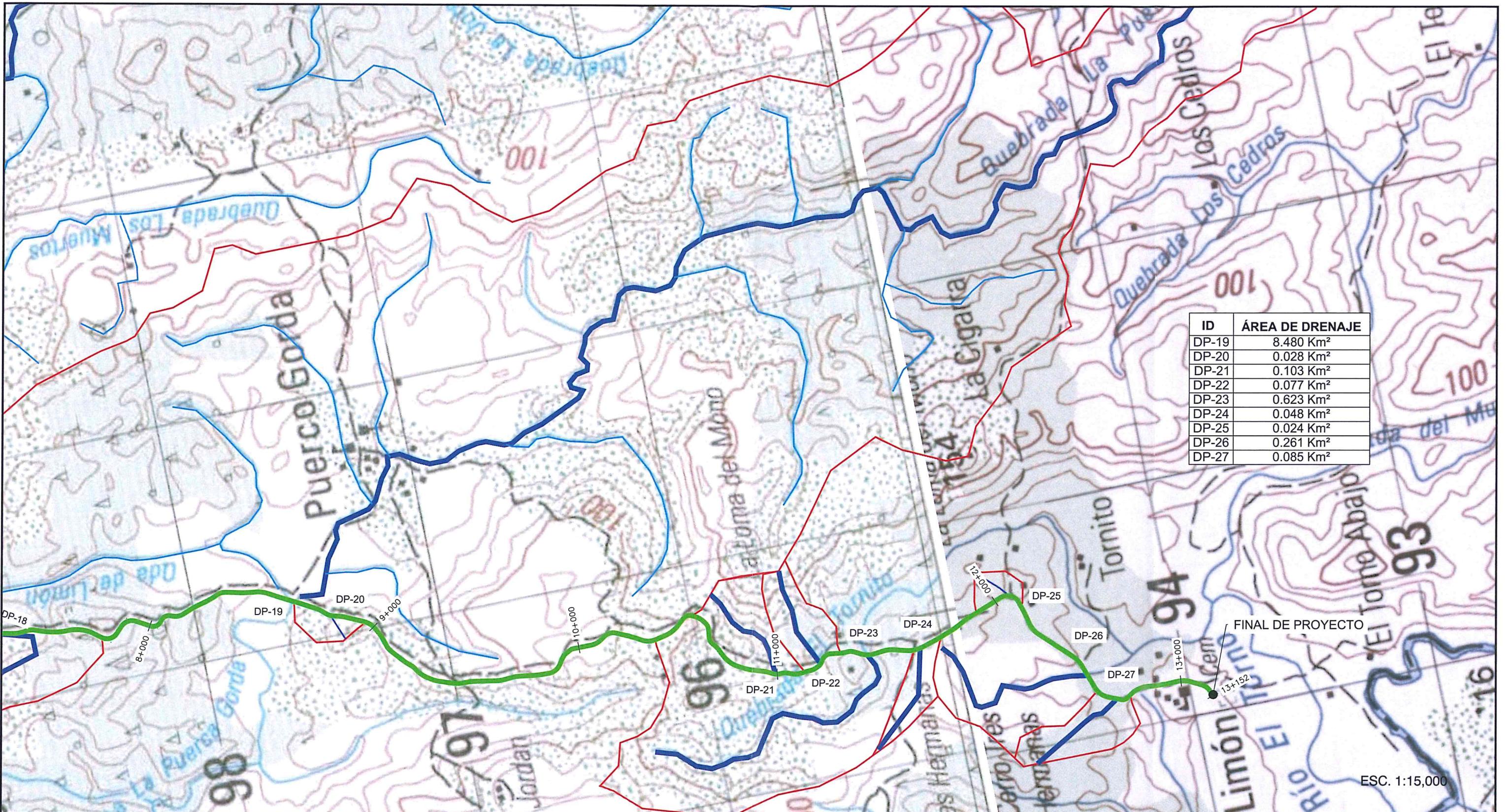
aunque el análisis indicara lo contrario. Los cajones pluviales fueron diseñados para un periodo de retornos de 50 años tal como indican los términos de referencia del proyecto, se mantuvieron los cajones solicitados por MOP.

- Los drenajes longitudinales proyectados cuentan con la pendiente suficiente para el manejo de la escorrentía, suficiente puntos de descarga y drenajes de alivio.
- Con el propósito de obtener un óptimo funcionamiento de las obras de drenaje trasversal se conformara el cauce existente 20m aguas arriba y 20m aguas abajo de la posición indicada en los planos de "Planta Perfil". Realizando una conformación con un ancho de por lo menos dos (2) veces el diámetro proyectado con taludes 1:1.5.
- Se deberá colocar un zampeado de protección de piedra con mortero ( $e=0.12m$ ) en la entrada y salida de las obras de drenaje transversal con un ancho mínimo de  $D(\emptyset) + 2m$  tal como se indican en los detalles típicos de drenaje con una longitud variable de entre 1 a 5 metros.
- Se implementara el uso de cunetas pavimentadas en zonas con grandes taludes que requiera el uso de banquetas, así como canales para la descarga, y disipadores de energía de ser necesario.









CALCULO DE CAUDALES CON PERIODO DE RETORNO DE 20 Y 50 AÑOS

DATOS DEL DRENAGE EXISTENTE													EVALUACION HIDROLOGICA											
No.	EST	EE	ES	L	DIA	SENTIDO	SESGO	DELTA H	%	AREA	AREA	L	E.MAX.	E.MIN.	DELTA H	P	C	Tc (Min)	i (mm/hr)	i (mm/hr)	Q (M. Racional)	Q (M. Racional)		
-	m	m	m	m	-	-	-	-	-	m2	Km2	m	m	m/m	%	--	Bransby W	20 años	50 años	20 años	50 años			
1	0+029.73	-	-	-	0.60	-	-	-	-	17210	0.017	191	60	56.02	3.98	2.1%	0.85	9.00	182.08	192.18	0.74	0.94		
2	0+144.25	56	55.5	9.95	0.90	DER-IZQ	RECTO	0.52	5.23%	38695	0.039	125	60	55.98	4.02	3.2%	0.85	5.00	192.58	202.19	1.76	2.22		
3	1+600.00	-	-	-	0.60	-	-	-	-	21262	0.021	196	100	98.91	1.09	0.6%	0.85	11.77	175.44	185.78	0.88	1.12		
4	1+789.96	-	-	-	0.60	-	-	-	-	50058	0.050	339	110	99.37	10.63	3.1%	0.85	13.23	172.13	182.59	2.03	2.59		
PV1	2+580.00	PUENTE EXISTENTE A DEMOLER											PUENTE SOBRE BRAZO DEL RIO LARGARTO (15M)											
5	2+744.53	58.6	58.4	9.13	0.90	DER-IZQ	DER	0.22	2.41%	69387	0.069	339	100	58.63	41.37	12.2%	0.85	9.76	180.20	190.37	2.95	3.74		
6	3+556.64	61.8	61.1	9.15	0.60	DER-IZQ	DER	0.67	7.32%	10330	0.010	104	70	61.75	8.25	7.9%	0.85	5.00	192.58	202.19	0.47	0.59		
7	3+610.69	60.4	60.1	9.35	0.60	DER-IZQ	DER	0.31	3.31%	15048	0.015	224	70	60.37	9.63	4.3%	0.85	9.24	181.48	191.60	0.64	0.82		
8	3+804.92	43.8	43.8	8.72	0.90	IZQ-DER	DER	0.02	0.23%	124390	0.124	524	80	43.82	36.18	6.9%	0.85	15.94	166.33	176.95	4.89	6.24		
9	4+517.17	28.1	28.1	8.19	0.60	IZQ-DER	DER	0.01	0.12%	348522	0.349	867	140	28.13	111.87	12.9%	0.85	20.98	156.49	167.33	12.88	16.52		
10	4+998.83	27	26.8	9.33	0.90	IZQ-DER	DER	0.17	1.82%	106687	0.107	460	60	26.84	33.16	7.2%	0.85	14.10	170.22	180.74	4.29	5.46		
PV2	5+253.00	VADO 19 TUBOS DE 0.90 DER-IZQ RECTO											--	--	PUENTE SOBRE QUEBRADA LA ENCANTADITA									
11	5+457.73	30	29.7	8.83	0.60	IZQ-DER	DER	0.28	3.17%	29547	0.030	146	40	29.95	10.05	6.9%	0.85	5.13	192.22	201.85	1.34	1.69		
12	5+533.61	28.9	28.8	6.64	0.90	IZQ-DER	DER	0.13	1.96%	130578	0.131	451	40	28.93	11.07	2.5%	0.85	16.77	164.62	175.29	5.08	6.49		
13	6+158.13	32.1	32.1	6.57	0.60	IZQ-DER	IZQ	0.02	0.30%	59474	0.059	394	60	32.11	27.89	7.1%	0.85	12.84	173.01	183.44	2.43	3.09		
14	6+223.69	27.5	27.4	5.42	0.60	DER-IZQ	IZQ	0.04	0.74%	15649	0.016	391	60	27.41	32.59	8.3%	0.85	14.09	170.25	180.77	0.63	0.80		
15	6+253.96	26.6	26.4	5.28	0.90	DER-IZQ	IZQ	0.21	3.98%	25118	0.025	429	60	27.41	32.59	7.6%	1.85	15.03	168.23	178.80	2.17	2.77		
16	6+294.33	25.6	25.4	7.97	0.90	DER-IZQ	IZQ	0.13	1.63%	22365	0.222	709	60	26.60	33.40	4.7%	0.85	21.95	154.73	165.59	8.12	10.43		
17	6+630.63	45	44.9	8.99	1.20	DER-IZQ	DER	0.15	1.67%	167692	0.168	600	80	45.00	35.00	5.8%	0.85	18.31	161.55	172.28	6.40	8.19		
18	7+274.51	52	51.9	6.93	1.20	IZQ-DER	IZQ	0.16	2.31%	149355	0.149	583	100	51.87	48.13	8.3%	0.85	16.80	164.56	175.23	5.80	7.42		
19	8+637.07	14.2	14.1	8.17	.05X3.0	IZQ-DER	RECTO	0.08	0.98%	8E+06	8.480	6704	136	11.27	124.73	1.9%	0.5	173.78	56.06	63.17	66.02	74.41		
20	8+699.18	17.6	17.5	6.67	0.90	IZQ-DER	IZQ	0.08	1.20%	27509	0.028	201	40	17.48	22.52	11.2%	0.85	6.45	188.64	198.44	1.23	1.55		
21	10+948.91	41.6	41	9.20	1.20	IZQ-DER	DER	0.64	6.96%	103183	0.103	402	60	40.99	19.01	4.7%	0.85	13.44	171.68	182.15	4.18	5.33		
22	11+147.18	36	35.7	7.89	1.20	DER-IZQ	IZQ	0.3	3.80%	77171	0.077	413	40	35.72	4.28	1.0%	0.85	19.25	159.73	170.50	2.91	3.73		
23	11+274.95	29.9	29.7	6.92	1.20	DER-IZQ	IZQ	0.24	3.47%	623291	0.623	1310	40	29.93	10.07	0.8%	0.85	52.60	114.17	124.77	16.80	22.03		
24	11+575.18	39.7	39.7	5.61	0.90	IZQ-DER	DER	0.02	0.36%	48038	0.048	423	60	39.70	20.30	4.8%	0.85	15.20	167.87	178.46	1.90	2.43		
25	12+034.24	-	-	9.00	0.60	-	-	-	-	23676	0.024	195	100	43.78	56.22	28.9%	0.85	5.25	191.90	201.54	1.07	1.35		
26	12+517.66	18.2	17.8	5.61	0.90	DER-IZQ	DER	0.36	6.42%	261300	0.261	811	100	18.18	81.82	10.1%	0.85	21.23	156.03	166.87	9.63	12.35		
27	12+639.36	19.1	19	5.35	1.20	IZQ-DER	RECTO	0.11	2.06%	85341	0.085	423	100	19.02	80.98	19.2%	0.85	10.88	177.51	187.79	3.58	4.54		

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRAULICA

CUADRO 2 - EVALUACION DE LA CAPACIDAD HIDRAULICA										
No.	EST	Periodo de Retorno</th								

CUADRO DE DRENAGE TRANSVERSAL

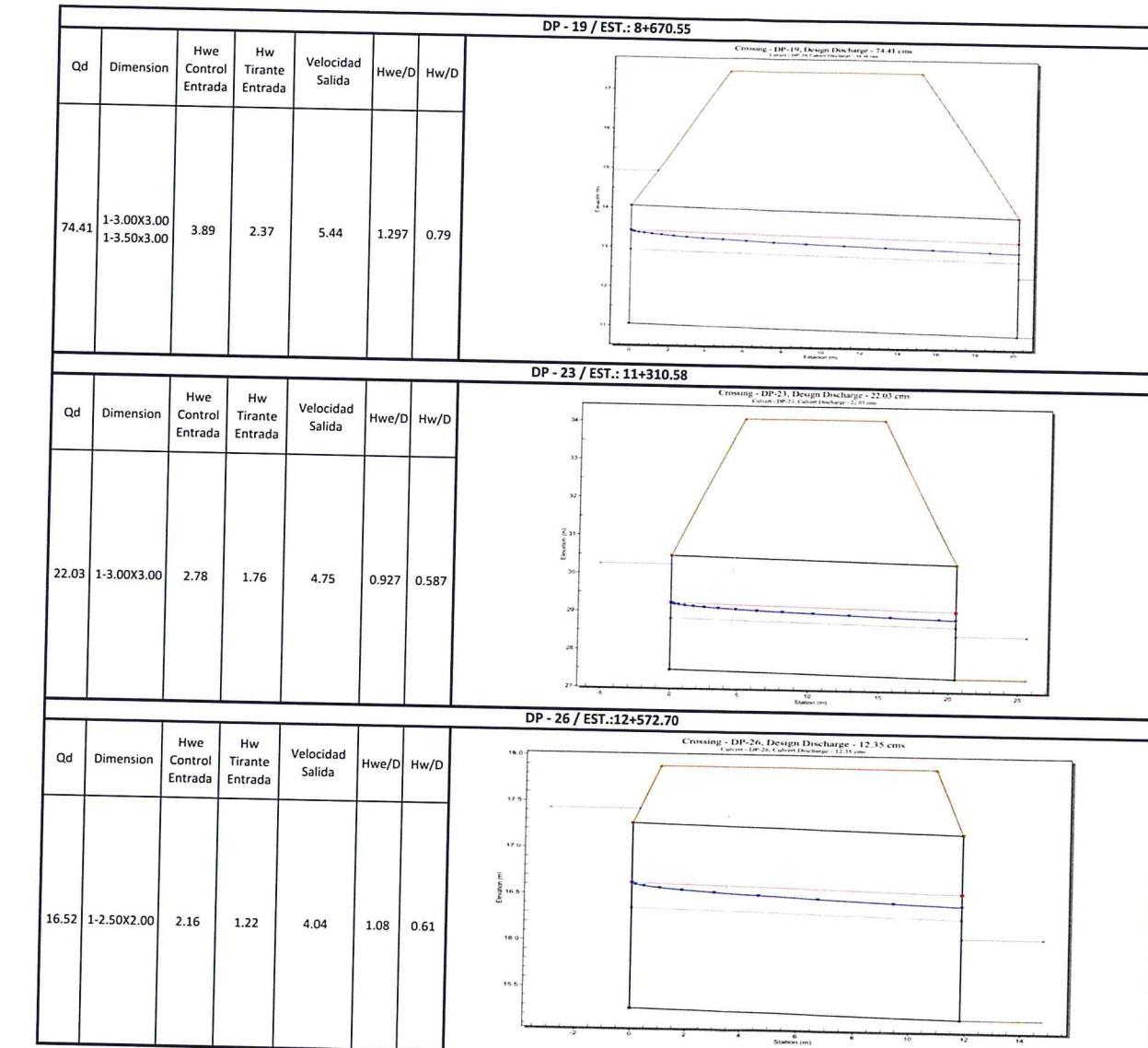
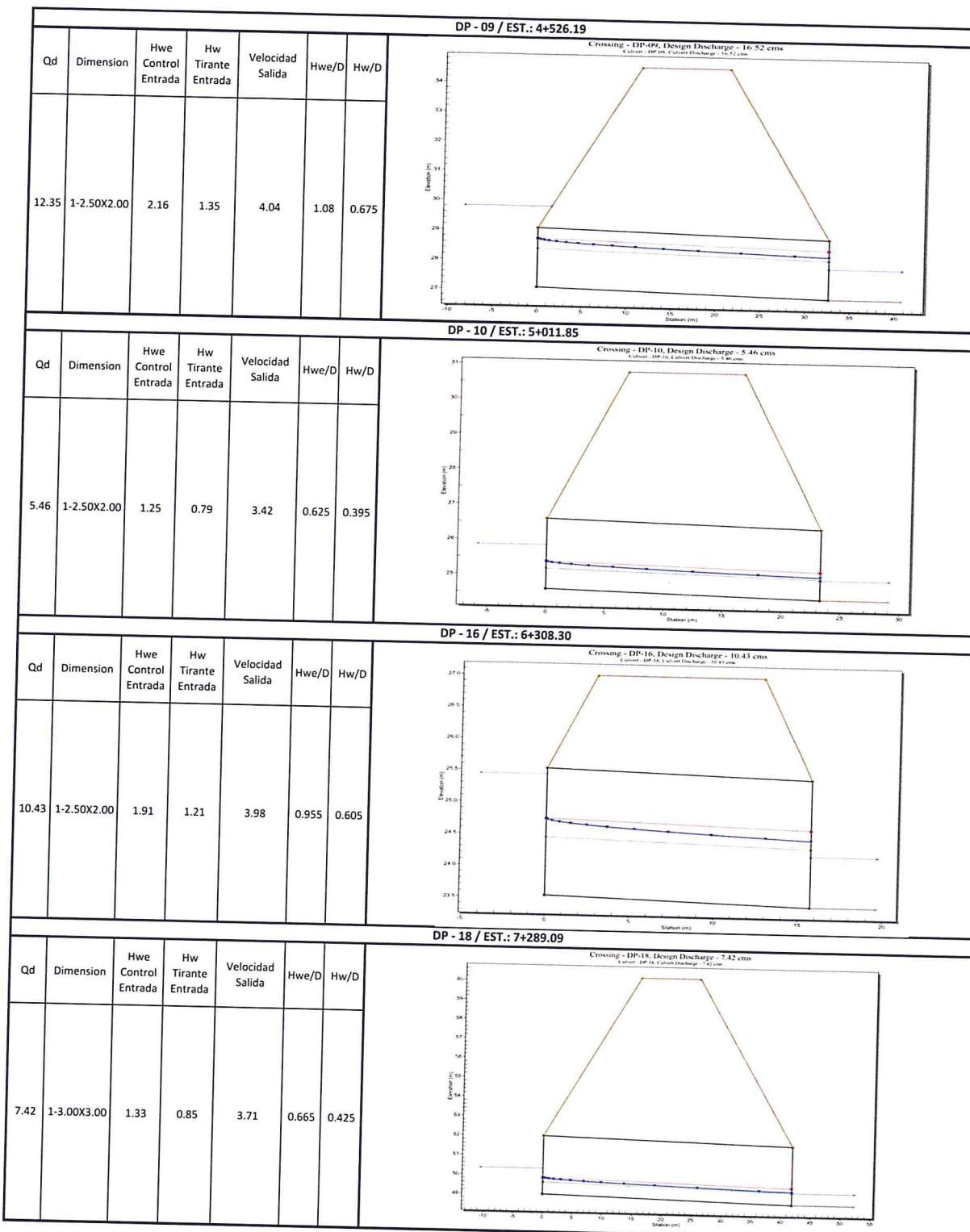
DRENAGE	ESTACION	TIPO	Ø EXISTENTE	REVISION HIDRAULICA	DICTAMEN	ALCANTARILLA PROYECTADA	Ø PROYECTADO	LONGITUD (m)	EXTENDER LADO IZQ.	EXTENDER LADO DER.	ELEV ENTRAD A (m)	ELEV SALIDA (m)	PENDIENTE	ZAMPEADO ENTRADA (m²)	ZAMPEADO SALIDA (m²)
DP-01	0+023.00	-	-	-	NUEVO	TUBO	100.90	12.26	-	-	54.57	54.32	2.00%	9.88	9.88
DP-02	0+137.00	-	-	-	NUEVO	TUBO	100.90	13.94	-	-	55.58	55.30	2.00%	9.88	9.88
DA-01	1+368.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	12.02	-	-	84.80	84.56	2.00%	9.88	9.88
DP-03	1+604.00	-	-	-	NUEVO	TUBO	100.90	10.86	-	-	97.88	97.67	2.00%	9.88	9.88
DP-04	2+075.00	-	-	-	NUEVO	TUBO	100.90	13.95	-	-	100.17	99.89	2.00%	9.88	9.88
PV-01	2+589.60	PUENTE SOBRE BRAZO DEL RIO LAGARTO													
DP-05	2+746.00	TUBO	100.90	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	101.05	12.55	-	-	56.53	56.28	2.00%	13.46	13.46
DP-06	3+558.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	100.90	17.57	-	-	59.35	59.00	2.00%	9.88	9.88
DP-07	3+616.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	100.90	13.87	-	-	58.46	58.19	2.00%	9.88	9.88
DP-08	3+809.00	TUBO	100.90	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	101.20	28.74	-	-	43.31	42.74	2.00%	17.57	17.57
DP-09	4+528.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJÓN	1-2.50X2.00	25.79	-	-	27.07	26.82	0.75%	-	-
DP-10	5+011.85	TUBO	100.90	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJÓN	1-2.50X2.00	22.65	-	-	24.61	24.44	0.75%	-	-
PV-02	5+280.00	PUENTE SOBRE QUEBRADA LA ENCANTADITA													
DP-11	5+473.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	100.90	10.75	-	-	25.92	25.71	2.00%	9.88	9.88
DP-12	5+550.00	TUBO	100.90	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	101.50	13.47	-	-	26.25	26.05	1.50%	27.90	27.90
DP-13	6+179.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	101.05	13.37	-	-	29.79	29.52	2.00%	13.46	13.46
DP-14	6+244.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	100.90	14.21	-	-	25.63	25.35	2.00%	9.88	9.88
DP-15	6+276.00	TUBO	100.90	NO CUMPLE	MANTENER	TUBO	100.90	17.33	5.78	6.27	23.728	23.381	2.00%	9.88	9.88
DP-16	6+308.30	TUBO	100.90	CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJON	1-2.50X2.00	16.50	-	-	22.554	22.43	0.75%	-	-
DP-17	6+653.00	TUBO	101.20	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	101.50	15.84	-	-	43.11	42.79	1.00%	27.90	27.90
DP-18	7+289.09	TUBO	101.20	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJÓN	1-3.00X3.00	39.69	-	-	49.01	48.71	0.75%	-	-
DA-02	7+914.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	11.70	-	-	85.34	85.11	2.00%	9.88	9.88
DA-03	8+147.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	13.87	-	-	50.27	49.99	2.00%	9.88	9.88
DP-19	8+670.55	TUBO	3.05X3.05	NO CUMPLE	MANTENER , EXTENDER CAJON EXISTENTE Y AGREGAR 1 CAJON	CAJÓN	1-3.50X3.00	20.21	-	-	11.05	10.85	1.00%	-	-
DP-20	8+732.00	TUBO	100.90	CUMPLE	MANTENER	TUBO	100.90	17.87	4.87	6.33	15.15	14.79	2.00%	9.88	9.88
DA-04	9+190.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	12.03	-	-	58.10	57.86	2.00%	9.88	9.88
DA-05	9+491.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	13.04	-	-	83.08	82.82	2.00%	9.88	9.88
DA-06	9+778.00	DRENAGE DE ALIVIO				TUBO	100.90	12.56	-	-	105.90	105.65	2.00%	9.88	9.88
DP-21	10+992.00	TUBO	101.20	CUMPLE	MANTENER	TUBO	101.20	30.37	9.16	12.00	38.91	38.30	2.00%	17.57	17.57
DP-22	11+186.00	TUBO	101.20	CUMPLE	MANTENER	TUBO	101.20	24.63	8.91	7.83	33.73	33.24	2.00%	17.57	17.57
DP-23	11+310.58	TUBO	101.20	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJÓN	1-3.00X3.00	21.15	-	-	26.99	26.83	0.75%	-	-
DP-24	11+621.00	TUBO	100.90	CUMPLE	MANTENER	TUBO	100.90	12.17	3.20	3.36	36.60	36.36	2.00%	9.88	9.88
DP-25	12+085.00	TUBO	100.60	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	TUBO	100.90	11.01	-	-	39.76	39.54	2.00%	9.88	9.88
DP-26	12+572.70	TUBO	100.90	NO CUMPLE	REEMPLAZAR	CAJÓN	1-2.50X2.00	11.17	-	-	15.17	15.09	0.75%	-	-
DP-27	12+694.00	TUBO	101.20	CUMPLE	MANTENER	TUBO	101.20	12.78	3.45	3.98	16.72	16.46	2.00%	17.57	17.57

RENE F. ROBLES RODRIGUEZ  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2013-006-045  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

ANALISIS DE CAPACIDAD EN CUNETAS										
LATERAL IZQUIERDO										
Estación	Estación	Base (Ancho)	L	P	Q(Diseño)	V	Tirante	Hw/D	Spread T	
Inicio	Final	m	m	%	m³/s	m/s	m			m
0K+260	0K+520	40	260	8.8%	0.377	4.81	0.14	36%	0.69	
1K+000	1K+100	30	100	6.4%	0.145	3.35	0.11	35%	0.51	
1K+220	1K+367	30	147	0.7%	0.213	1.64	0.24	80%	0.78	
1K+367	1K+604	40	237	4.9%	0.344	3.80	0.16	40%	0.72	
1K+604	1K+660	30	56	3.8%	0.081	2.35	0.09	30%	0.48	
2K+300	2K+420	30	120	15.0%	0.174	4.80	0.09	31%	0.48	
2K+840	2K+929	30	89	14.8%	0.129	4.36	0.08	26%	0.46	
2K+929	3K+000	30	71	13.4%	0.103	3.94	0.07	24%	0.44	
3K+640	3K+740	30	100	11.4%	0.145	3.95	0.08	26%	0.55	
3K+920	4K+100	40	180	18.0%	0.261	5.56	0.09	24%	0.59	
4K+200	4K+460	40	260	16.0%	0.377	5.96	0.12	30%	0.64	
4K+620	4K+743	30	123	13.3%	0.178	4.63	0.10	32%	0.49	
4K+743	4K+980	40	237	10.0%	0.344	4.90	0.13	33%	0.66	
5K+440	5K+470	30	30	0.5%	0.044	0.96	0.11	37%	0.52	
5K+470	5K+540	30	70	1.1%	0.102	1.61	0.14	47%	0.58	
5K+600	5K+700	30	100	12.9%	0.145	4.30	0.09	29%	0.47	
5K+820	5K+864	30	44	16.9%	0.064	3.67	0.05	17%	0.40	
5K+864	5K+920	30	56	9.6%	0.081	3.26	0.07	23%	0.44	
6K+420	6K+580	30	160	15.0%	0.232	5.21	0.11	36%	0.52	
6K+800	6K+900	30	100	13.3%	0.145	4.35	0.09	29%	0.47	
7K+020	7K+200	40	180	13.3%	0.261	5.00	0.10	26%	0.61	
7K+390	7K+520	30	130	11.7%	0.189	4.50	0.10	35%	0.51	
7K+620	7K+783	40	163	15.3%	0.236	5.10	0.09	23%	0.59	
7K+783	7K+914	30	131	15.7%	0.190	5.00	0.10	32%	0.49	
7K+914	8K+140	40	226	18.0%	0.328	5.95	0.11	27%	0.62	
9K+280	9K+380	30	100	12.9%	0.145	4.31	0.09	29%	0.47	
9K+660	9K+760	30	100	4.5%	0.145	2.97	0.12	39%	0.53	
9K+800	9K+900	30	100	15.9%	0.145	4.64	0.08	27%	0.46	
10K+900	10K+960	30	60	12.7%	0.087	3.67	0.06	22%	0.43	
11K+400	11K+470	30	70	13.0%	0.102	3.88	0.07	24%	0.44	
11K+470	11K+540	30	70	8.1%	0.102	3.29	0.08	27%	0.46	
11K+640	11K+851	40	211	1.3%	0.306	2.25	0.22	55%	0.84	
11K+890	11K+959	30	69	9.8%	0.100	3.50	0.08	25%	0.45	

ANALISIS DE CAPACIDAD EN CUNETAS										
LATERAL DERECHO										
Estación	Estación	Base (Ancho)	L	P	Q(Diseño)	V	Tirante	Hw/D	Spread T	
Inicio	Final	m	m	%	m³/s	m/s	m			m
0K+000	0K+120	30	120	2.5%	0.174	2.51	0.15	51%	0.61	
0K+168	0K+428	40	260	8.8%	0.377	4.81	0.14	36%	0.69	
0K+880	0K+980	30	100	6.8%	0.145	3.43	0.10	35%	0.51	
1K+220	1K+368	30	148	0.7%	0.215	1.64	0.24	81%	0.78	
1K+368	1K+604	40	236	0.4%	0.342	1.57	0.31	77%	1.01	
1K+604	1K+660	30	3.76	15.0%	0.081	3.81	0.06	20%	0.42	
2K+300	2K+420	30	120	15.0%	0.174	4.80	0.09	31%	0.48	
3K+640	3K+740	30	100	11.4%	0.145	4.13	0.09	30%	0.48	
3K+920	4K+100	30	180	18.0%	0.261	5.75	0.11	37%	0.52	
4K+200	4K+460	40	260	16.0%	0.377	5.96	0.12	30%	0.64	
4K+620	4K+743	30	123	13.3%	0.178	4.63	0.10	32%	0.49	
4K+743	4K+980	40	237	10.0%	0.344	4.90	0.13	33%	0.66	
5K+600	5K+700	30	100	12.9%	0.145	4.30	0.09	29%	0.47	
5K+820	5K+864	30	44	16.9%	0.064	3.67	0.05	17%	0.40	
5K+864	5K+920	30	56	9.6%	0.081	3.26	0.07	23%	0.44	
6K+900	7K+022	30	122	13.3%	0.177	4.62	0.10	32%	0.49	
7K+022	7K+200	40	178	13.3%	0.258	4.99	0.10	26%	0.61	
7K+400	7K+520	30	120	11.7%	0.174	4.40	0.10	33%	0.50	
7K+620	7K+740	30	120	15.3%	0.174	4.83	0.09	31%	0.48	
7K+980	8K+140	40	160	18.0%	0.232	5.36	0.09	22%	0.58	
9K+280	9K+380	30	100	12.9%	0.145	4.31	0.09	29%	0.47	
9K+534	9K+634	30	100	4.4%	0.145	2.95	0.12	39%	0.54	
9K+800	9K+900	30	100	15.9%	0.145	4.64	0.08	27%	0.46	
10K+000	10K+100	30	100	7.5%	0.145	3.56	0.10	34%	0.50	
10K+440	10K+720	40	280	13.0%	0.406	5.65	0.13	34%	0.67	
10K+900	10K+960	30	60	12.7%	0.087	3.67	0.06	22%	0.43	
11K+060	11K+082	30	22	1.9%	0.032	1.41	0.06	21%	0.43	
11K+082	11K+180	30	98	7.4%	0.142	3.51	0.10	34%	0.50	
11K+400	11K+540	30	140	8.1%	0.203	4.03	0.12	40%	0.54	
11K+640	11K+843	40	203	1.3%	0.294	2.22	0.22	54%	0.83	
11K+900	11K+957	30	57	9.8%	0.083	3.30	0.07	23%	0.44	

\*NOTA:  
SE DEBERÁ COLOCAR UNA PROTECCIÓN A LA CUNETA TRAPEZ





REPÚBLICA DE PANAMÁ  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO  
LA ENCANTADITA – EL LIMÓN**

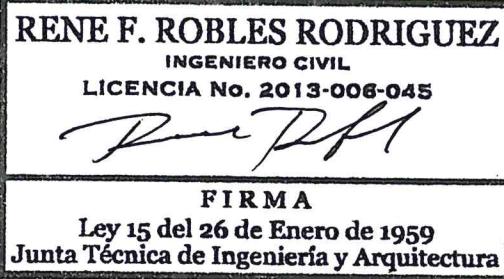
PROVINCIA DE COLÓN

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL  
PUENTE SOBRE BRAZO DEL RÍO LAGARTO**

PRESENTADO POR:



JULIO DE 2019



## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCION .....</b>	2
<b>LOCALIZACION Y CARACTERIZACION .....</b>	2
<b>METODOLOGIA DE DISEÑO .....</b>	3
<b>Análisis Hidrológico .....</b>	3
Método Regional .....	3
Determinación del Caudal de Diseño .....	4
Delimitación del Cuenca de Drenaje .....	7
Resultado del Análisis Hidrológico .....	9
<b>Análisis Hidráulico .....</b>	9
Condiciones de Flujo Uniforme .....	9
<b>PROGRAMA UTILIZADO PARA LA EVALUACION HIDRAULICA .....</b>	11
<b>Metodología Utilizada .....</b>	12
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	15
<b>Conclusiones .....</b>	15
<b>Recomendaciones .....</b>	16

## INTRODUCCION

Como parte de los trabajos de construcción del Camino La Encantadita – El Limón se tiene contemplado la inclusión de un puente vehicular de 15m sobre Brazo del Rio Lagarto, buscando reemplazar el puente vehicular existente.

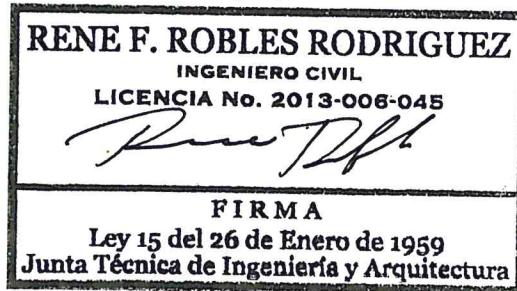
El presente informe tiene por objetivo presentar la metodología, los datos y los resultados mostrados en el estudio Hidrológico e Hidráulico para el Brazo del Rio Lagarto para la Licitación por Mejor Valor 2018-0-09-0-03-LV-005486 “DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CAMINO LA ENCANTADITA – EL LIMON”.

## LOCALIZACION Y CARACTERIZACION

El área del proyecto está localizada en la vertiente del atlántico, provincia de Colón, 40,25 kilómetros al noroeste del centro de la ciudad de Colón. El área de la cuenca se caracteriza por tener una topografía bastante uniforme y extensa.

El comportamiento geológico de la cuenca está caracterizado por un suelo del periodo Terciario, del grupo Caimito, formación Caimito (TO-CAI), conformado por arenisca tobácea, lutita tobácea, toba, caliza foraminífera características de formaciones sedimentarias.

Su formación vegetal predominante está dada por bosque primario y secundario, con formaciones altas, medias y bajas, con una densidad de cubierta vegetal densa y abierta.



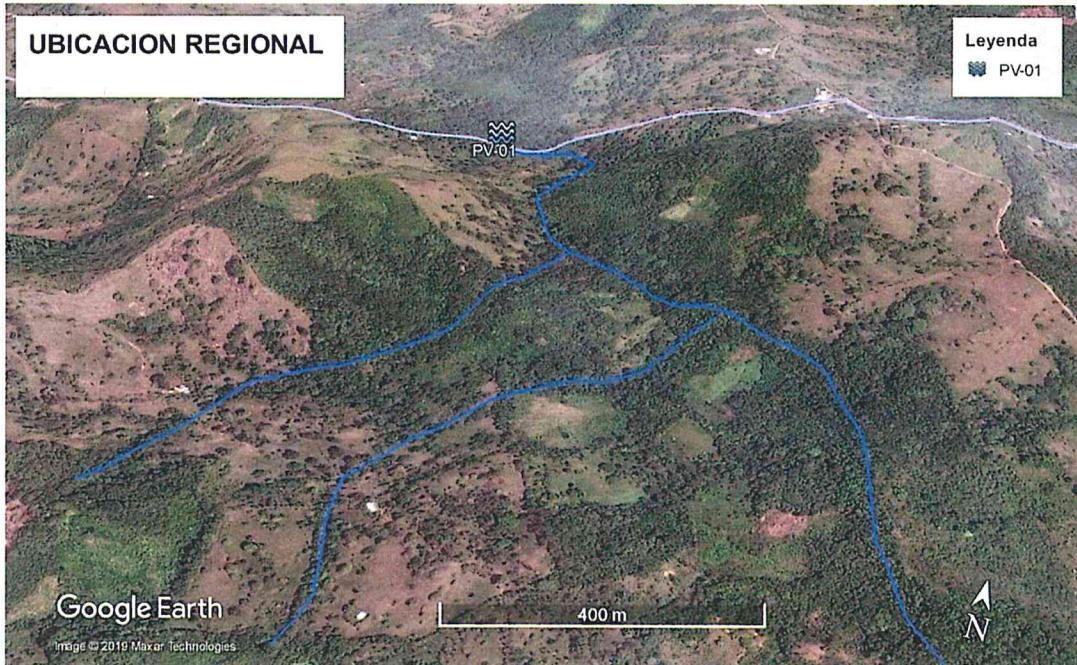


FIGURA 1 – Localización Regional para Brazo del Rio Lagarto, se muestra su ubicación, el comportamiento topográfico, su vegetación característica y el recorrido del cauce principal desde el punto más lejano de la cuenca. Esta imagen fue extraída de Google Earth Pro /Image@2018DigitalGlobe /@2018Google /ImageLandSAT/Copernicus.

## METODOLOGIA DE DISEÑO

### Análisis Hidrológico

#### Método Regional

El procedimiento adecuado para el cálculo de crecida sugiere que para cuencas mayores de 250 hectáreas se utilice el método regional de crecidas, elaborado por el IRHE actualmente actualizado por ETESA.

Para establecer los límites de las regiones con igual comportamiento de crecidas, se tomó en consideración el área de drenaje que, de acuerdo a las investigaciones, está relacionada con el indicador de crecidas y puede utilizarse como base confiable para la estimación de la magnitud de crecidas en cuencas no aforadas. Para esto, se relacionó el área de drenaje de la cuenca promedio de todas las crecidas máximas anuales registradas durante un periodo de 1972-2007, en las 58 estaciones hidrológicas limnográficas convencionales operadas por ETESA.

#### Determinación del Caudal de Diseño

El procedimiento a seguir para establecer el caudal de diseño se realiza siguiendo los lineamientos presentes en el “Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006” presentado por ETESA en 2008.

- **Determinación de la Zona del Proyecto**

Se procede a ubicar el proyecto en el mapa de Regiones Hidrológicamente Homogéneas para establecer la zona de la cuenca características más cercanas al cauce por analizar.

**República de Panamá**  
**Regiones Hidrológicamente Homogéneas**

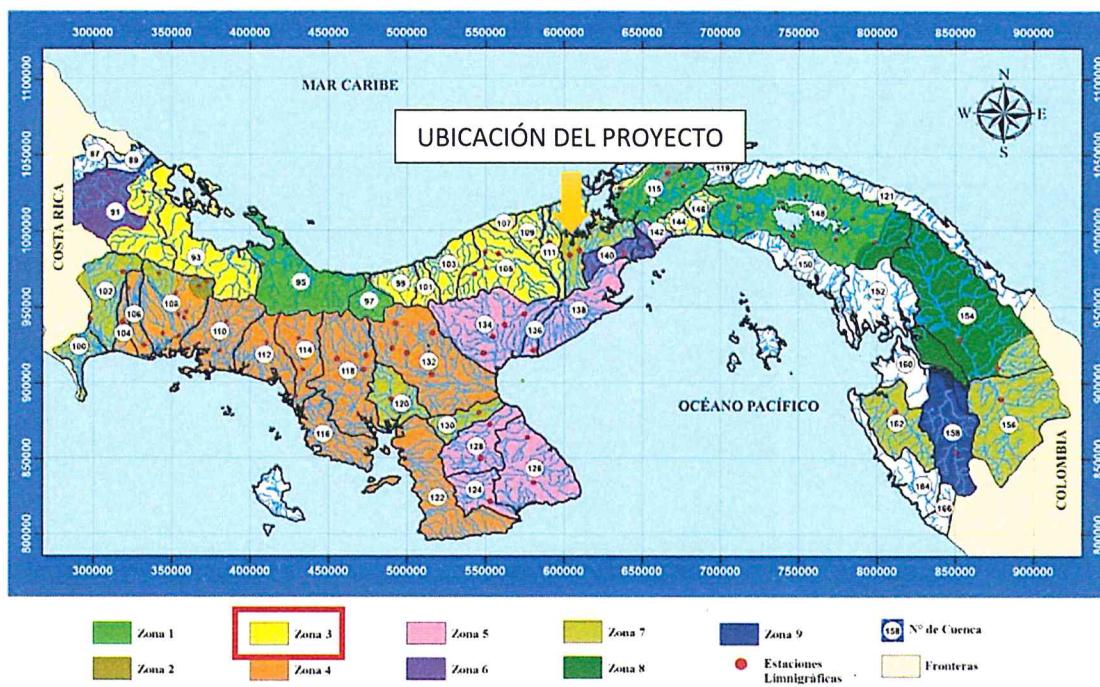


Figura 2, Regiones Hidrológicamente Homogéneas (Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá – Figura 73), se muestra el mapa de zonas, con las regiones hidrológicamente homogéneas para la evaluación de las crecidas de diseño en diferentes cuencas.

- **Ecuación de Diseño y Periodo de Retorno**

Una vez definida la zona característica del proyecto “ZONA 3”, se procede a seleccionar la ecuación y la tabla para establecer el caudal y periodo de retorno en 100 años como lo exige la presente licitación.

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

Factores $Q_{máx}/Q_{prom.máx}$ para distintos Tr.				
Tr, años	Tabla # 1	Tabla # 2	Tabla # 3	Tabla # 4
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

Figura 3, Muestra cuadro resumen de selección (ETESA - Cuadro 7), permite la selección según la zona del número de ecuación, ecuación, distribución de frecuencia y los factores de los caudales máximos para distintos períodos de retorno.

La ecuación de diseño para la crecida máxima de diseño adecuada según la zona es  $Q_{max} = 25A^{0.59}$ , introduciendo el área en  $\text{Km}^2$ .

## Delimitación de la Cuenca de Drenaje

La divisoria de agua es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marcando así el límite de una cuenca hidrográfica con otras cuencas aledañas. El agua que precipita a cada lado de la línea divisoria generalmente desemboca en ríos distintos, de ahí la importancia de marcar correctamente dicha línea.

Es costumbre realizar la delimitación de la cuenca mediante la interpretación de los mapas topográficos o las cartografías. Aunque es normal también seguir tres reglas sencillas y prácticas para la delimitación de la cuenca hidrográfica.

- Identificar la red de drenaje, o corrientes superficiales, realizar un esbozo muy general de su posible delimitación
- Invariablemente, la línea de divisoria debe cortar perpendicularmente a las curvas de nivel y pasar por el punto de mayor elevación topográfica.
- Cuando la divisoria va incrementando su elevación. Corta a las curvas de nivel en su parte convexa.

El área de drenaje hasta el puente proyectado es de 2.87Km<sup>2</sup> y la longitud de la Quebrada desde el punto más alto de la cuenca hasta el eje del puente es de 3009.04m. La elevación máxima y mínima que presenta la cuenca es de 130m y 50m respectivamente, por lo que posee una pendiente longitudinal media aproximada de 2.65%.

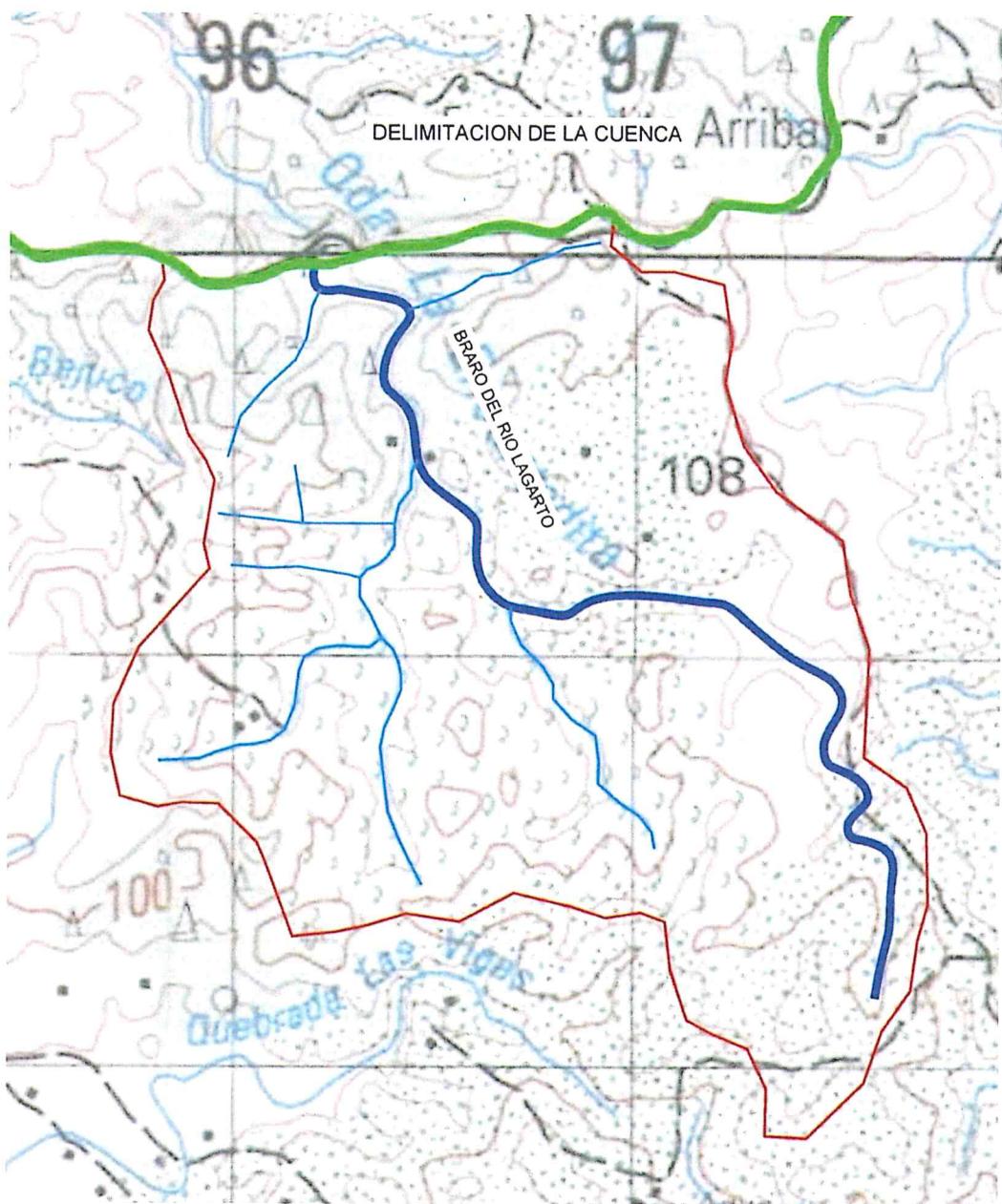


FIGURA 4 – Delimitación de la Cuenca para Brazo del Río Lagarto, fueron obtenidas a través de los mosaicos topográficos del IGNTG; escala 1:50000, con curvas de nivel a intervalos de 20m, con curcas suplementarias a cada 10m.

Resultado del Análisis Hidrológico

<b>Cuadro 1- Resumen del Análisis Hidrológico</b>	
Área (Km <sup>2</sup> )	2.87
Longitud (m)	3009.04
Elev. Max.	130
Elev. Min.	50
Pendiente (%)	2.65
Zona	3
Ecuación	$25A^{0.59}$
Tabla	1
Coeficiente para Tr=100 Años	2.68
Caudal Max (m <sup>3</sup> /s)	46.64
Caudal Max a 100 Años (m <sup>3</sup> /s)	124.99

**Análisis Hidráulico**Condiciones de Flujo Uniforme

Se considere que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales:

1) la profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección son constantes; y 2) la línea de energía, la superficie de agua y el fondo del canal son paralelos; es decir, sus pendientes son todas iguales.

Para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse libremente como el requerimiento de que el flujo posee una velocidad media constante en cada punto de la sección del canal dentro del tramo del flujo uniforme.

En otras palabras, las distribuciones de velocidades a través de la sección del canal no se alteran dentro del tramo. Este patrón estable de la distribución de velocidades puede obtenerse cuando una llamada "capa límite" se encuentra desarrollada por completo.

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluyen aguas abajo. Esta resistencia por lo general es contrarrestada por componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento.

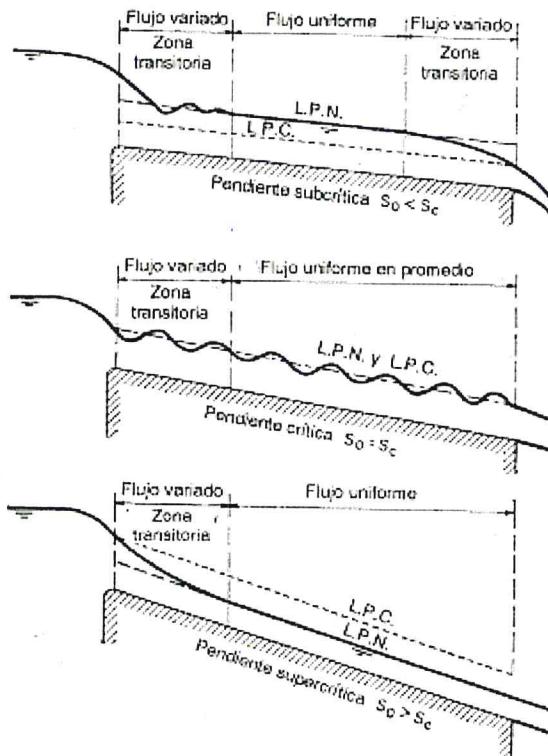


FIGURA 5 – Establecimiento del Flujo Uniforme en un Canal Largo

#### Expresión de la Velocidad en Flujo Uniforme

Para los cálculos hidráulicos la velocidad media de un flujo uniforme turbulento en canales abiertos por lo general se expresa aproximadamente por la llamada ecuación de flujo uniforme. La mayor parte de las ecuaciones prácticas de flujo uniforme pueden expresarse de la siguiente manera.

$$V = CR^X S^Y$$

Donde  $V$  es la velocidad media en pies/s;  $R$  es el radio hidráulico en pies;  $S$  es la pendiente de energía  $x$  y  $y$  son exponentes;  $C$  es un factor de resistencia al flujo, el cual varía con la velocidad media, el radio hidráulico, la rugosidad del canal, y la viscosidad y muchos otros factores.

#### Ecuación de Manning

En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, la cual se modificó más adelante hasta llegar a su bien conocida forma actual.

$$Q = A * \frac{R^{\frac{1}{3}}}{n} * \sqrt{S}$$

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos.

#### Selección del Coeficiente de Rugosidad de Manning

##### D. Corrientes naturales

###### D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)

###### a. Corrientes en planicies

1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes
6. Igual al 4, pero con más piedras
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos

0.025	<b>0.030</b>	0.033	
0.030	0.035	0.040	
0.033	0.040	0.045	
0.035	0.045	0.050	
0.040	0.048	0.055	
0.045	0.050	0.060	
0.050	0.070	0.080	
0.075	0.100	0.150	

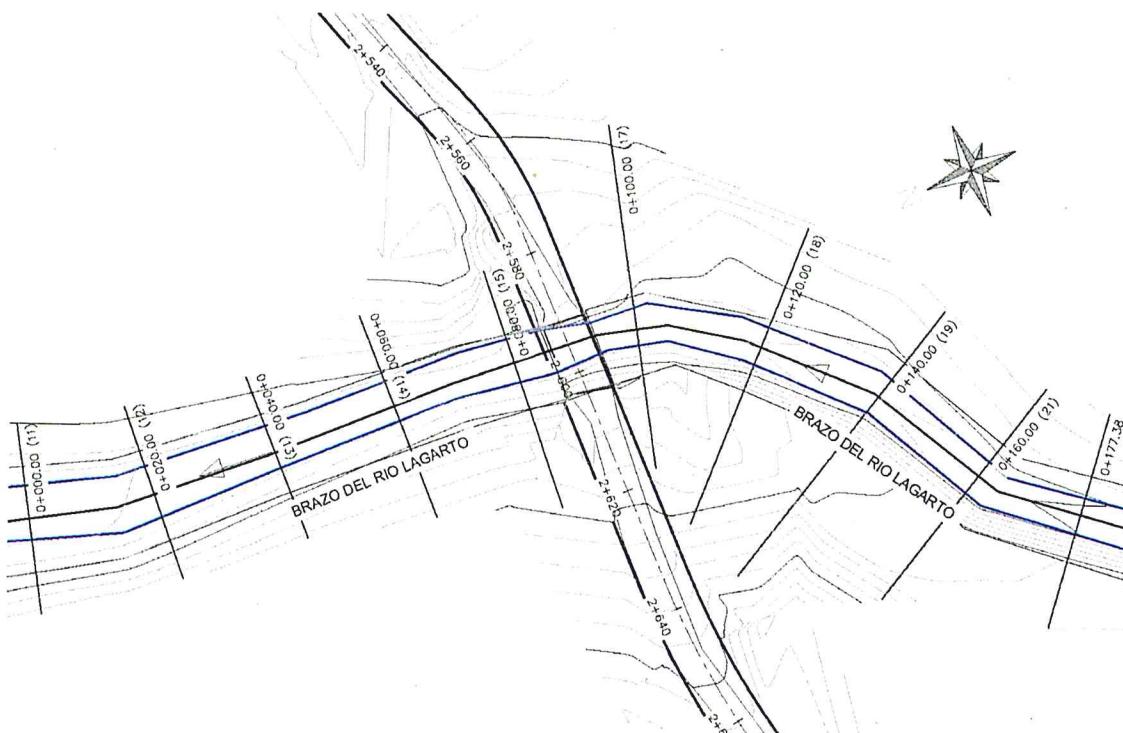
FIGURA 6 – Valores de Coeficiente de Rugosidad para Corriente Naturales, extraído de la Tabla 5-6. Valores del Coeficiente de rugosidad  $n$ , Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 1994.

#### PROGRAMA UTILIZADO PARA LA EVALUACION HIDRAULICA

En este capítulo se presentan los resultados del estudio hidráulico realizado para determinar el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) en el puente sobre Brazo del Río Lagarto.

### Metodología Utilizada

En el análisis hidráulico del puente fue utilizado el programa River Análisis System (HEC-RAS), versión 5.0.1, abril de 2016, del Hydrologic Engineering Center (HEC) del Cuerpo de Ingenieros de los E.E. U.U. Este programa permite la realización de los cálculos hidráulicos de una corriente unidimensional constante de agua. HEC- RAS es un paquete de análisis hidráulico con una interfaz de usuario (GUI).



La Figura 7 - Muestra la localización en planta de las secciones transversales del tramo del cauce de Brazo del Río Lagarto usadas en los cálculos hidráulicos.

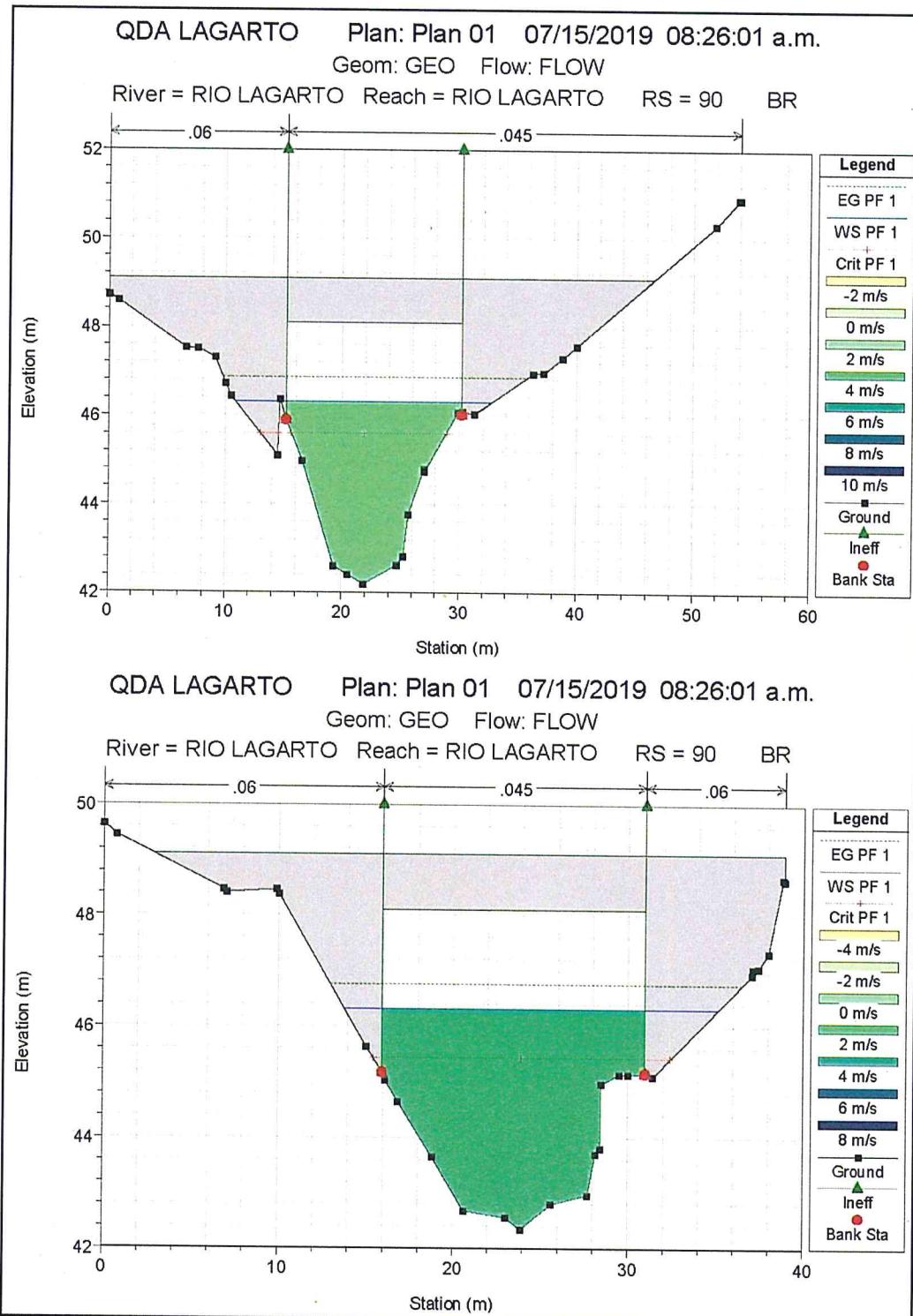


Figura 8 - Secciones transversales del tramo analizado de Brazo del Río Lagarto.

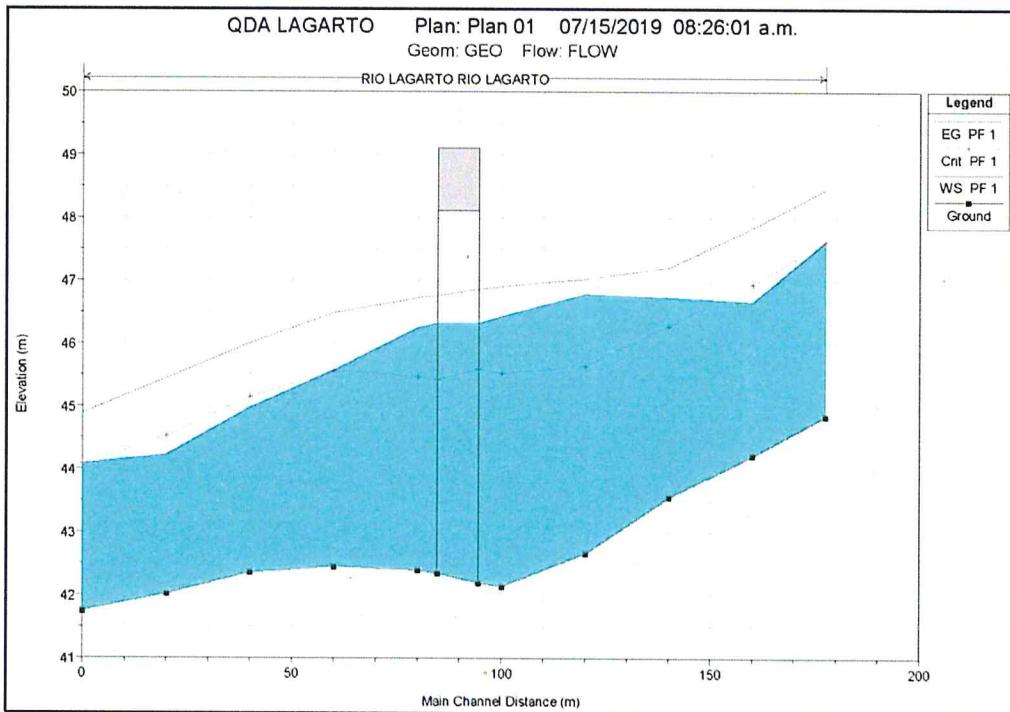


Figura 9 - Perfil longitudinal de Brazo del Rio Lagarto

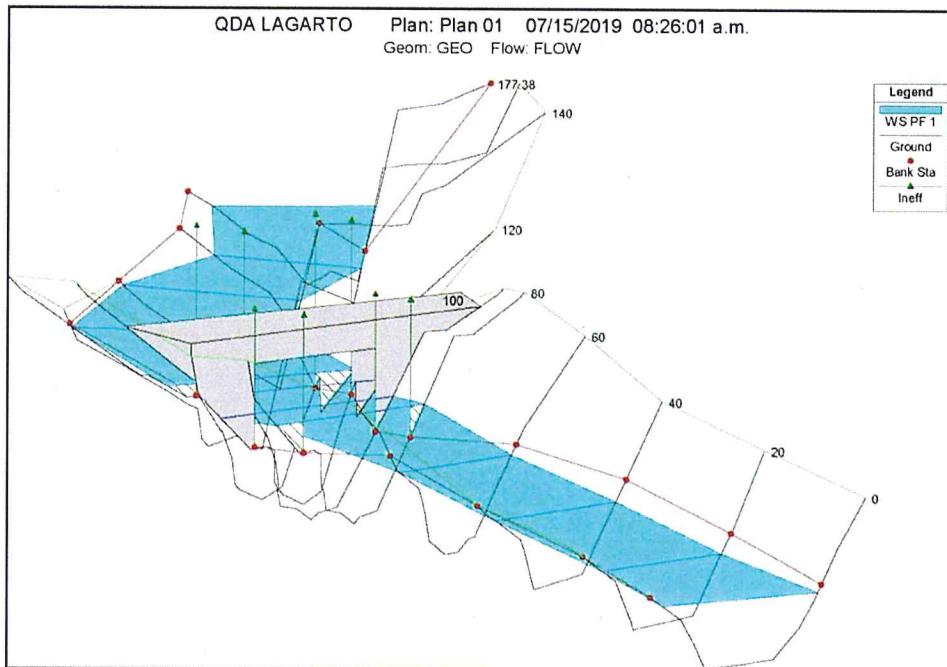


Figura 10 – Muestra el comportamiento del modelo en 3D de Brazo de Rio Lagarto

Plan: Plan 01 RIO LAGARTO RIO LAGARTO RS: 90 BR U Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	46.87	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.55	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	46.32	Reach Len. (m)	9.80	9.80	9.80
Crit W.S. (m)	45.59	Flow Area (m2)		38.05	
E.G. Slope (m/m)	0.008189	Area (m2)		38.05	
Q Total (m3/s)	124.74	Flow (m3/s)		124.74	
Top Width (m)	15.00	Top Width (m)		15.00	
Vel Total (m/s)	3.28	Avg. Vel. (m/s)		3.28	
Max Chl Dpth (m)	4.12	Hydr. Depth (m)		2.54	
Conv. Total (m3/s)	1378.5	Conv. (m3/s)		1378.5	
Length Wtd. (m)	9.80	Wetted Per. (m)		18.28	
Min Ch El (m)	42.20	Shear (N/m2)		167.16	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		548.04	
Frcn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)	0.01	2.96	0.03
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	0.02	1.57	0.05

El Cuadro 2, Resumen de Cálculos Hidráulicos del Puente sobre Brazo del Rio Lagarto, muestra los resultados de los cálculos hidráulicos realizados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La finalidad de este estudio es evaluar la capacidad de descarga del puente sobre Brazo del Rio Lagarto, para la Licitación por Mejor Valor 2018-0-09-0-03-LV-005486 "DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CAMINO LA ENCANTADITA – EL LIMON".

La Información disponible para este estudio es adecuada y consistió en:

- Plano topográficos 1:50000, del Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia".
- Información topográfica del sitio del puente.

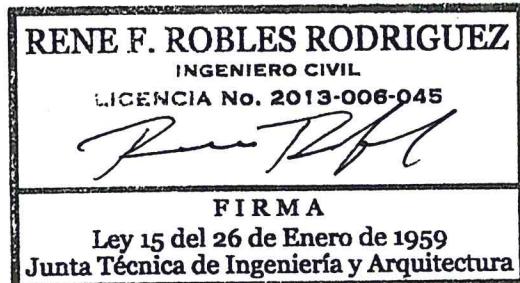
### Conclusiones

- El caudal manejado en este puente tiene un valor significativo 124.99m<sup>3</sup>/s lo que nos indica que el material de lecho cercano al puente debe tener una gradación correspondiente a D50 para disminuir la probabilidad de socavación.

- El rango de velocidades manejadas aguas abajo y aguas arriba esta entre 3.07m/s y 3.08m/s en la sección críticas del puente donde se produce contracción del flujo, nos indica que es necesario realizar una mejora en el lecho del cauce que disminuya el efecto de socavación.
- De acuerdo a los análisis realizados, el NAME en el sitio del puente proyectado fue estimado en 46.32 msnm.
- Se deberá colocar una protección en los taludes de la sección a optimizar con un zampeado de hormigón armado que cubra una longitud de por los menos 40m aguas abajo y 40m aguas arriba.
- Los resultados obtenidos en el análisis hidráulico con el programa HEC RAS son satisfactorios para un puente de 15m de largo.

### Recomendaciones

- Se recomienda colocar una protección de zampeados para los elementos del puente.
- Se recomienda para la ubicación final del puente que el mismo se coloque lo más transversalmente posible a la dirección del flujo para disminuir los fenómenos de socavación en pilas y estribos.
- Utilizar los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME) estimados en este estudio en el diseño final del puente proyectado.
- Se recomienda tomar en consideración la cota presenta (NAME) y considerar que las zonas por debajo de este dato posiblemente pueden sufrir de inundaciones.
- Se recomienda la construcción de un puente vehicular sobre Brazo de Rio Lagarto según lo indican los planos correspondientes del proyecto para una longitud de 15m, tomando en cuenta las recomendaciones presente en este informe.





REPÚBLICA DE PANAMÁ  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO  
LA ENCANTADITA – EL LIMÓN**

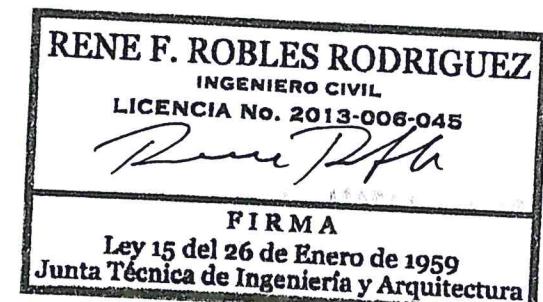
PROVINCIA DE COLÓN

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL  
PUENTE SOBRE QUEBRADA LA ENCANTADITA**

PRESENTADO POR:



JULIO DE 2019



## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCION .....</b>	2
<b>LOCALIZACION Y CARACTERIZACION .....</b>	2
<b>METODOLOGIA DE DISEÑO .....</b>	3
<b>Análisis Hidrológico .....</b>	3
Método Regional .....	3
Determinación del Caudal de Diseño .....	4
Delimitación del Cuenca de Drenaje .....	7
Resultado del Análisis Hidrológico .....	9
<b>Análisis Hidráulico .....</b>	9
Condiciones de Flujo Uniforme .....	9
<b>PROGRAMA UTILIZADO PARA LA EVALUACION HIDRAULICA .....</b>	11
<b>Metodología Utilizada .....</b>	12
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	15
<b>Conclusiones .....</b>	15
<b>Recomendaciones .....</b>	16

## INTRODUCCION

Como parte de los trabajos de construcción del Camino La Encantadita – El Limón se tiene contemplado la inclusión de un puente vehicular de 50m sobre la Quebrada La Encantadita, el cual que vendría en reemplazo del vado que actualmente es utilizado como estructura de paso, la cual está conformada por 19 tubos transversales de 0.90m de diámetro y con una longitud aproximada de 9m.

El presente informe tiene por objetivo presentar la metodología, los datos y los resultados mostrados en el estudio Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada la Encantadita para la Licitación por Mejor Valor 2018-0-09-0-03-LV-005486 “DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CAMINO LA ENCANTADITA – EL LIMON”.

## LOCALIZACION Y CARACTERIZACION

El área del proyecto está localizada en la vertiente del atlántico, provincia de Colón, 40,25 kilómetros al noroeste del centro de la ciudad de Colón. El área de la cuenca se caracteriza por tener una topografía bastante uniforme y extensa.

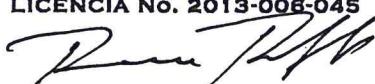
Está conformado por un conjunto de afluentes secundarios dentro de los cuales podemos mencionar: Quebrada la Arenosa, Quebrada Arenosita, Quebrada Basaltito, Quebrada La Jota, Quebrada del Duende, Quebrada el Congo, Quebrada Los Muertos, Quebrada Las Vigas y Quebrada Bejucos; los cuales en conjunto aportan caudal al afluente principal.

El comportamiento geológico de la cuenca está caracterizado por un suelo del periodo Terciario, del grupo Caimito, formación Caimito (TO-CAI), conformado por arenisca tobácea, lutita tobácea, toba, caliza foraminífera características de formaciones sedimentarias.

Su formación vegetal predominante está dada por bosque primario y secundario, con formaciones altas, medias y bajas, con una densidad de cubierta vegetal densa y abierta.



FIGURA 1 – Localización Regional para la Quebrada la Encantadita, se muestra su ubicación, el comportamiento topográfico, su vegetación característica y el recorrido del cauce principal desde el punto más lejano de la cuenca. Esta imagen fue extraída de Google Earth Pro /Image@2018DigitalGlobe /@2018Google /ImageLandSAT/Copernicus.

**RENE F. ROBLES RODRIGUEZ**  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA NO. 2013-006-045  
  
**FIRMA**  
Ley 15 del 26 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## METODOLOGIA DE DISEÑO

### Análisis Hidrológico

#### Método Regional

El procedimiento adecuado para el cálculo de crecida sugiere que para cuencas mayores de 250 hectáreas se utilice el método regional de crecidas, elaborado por el IRHE actualmente actualizado por ETESA.

Para establecer los límites de las regiones con igual comportamiento de crecidas, se tomó en consideración el área de drenaje que, de acuerdo a las investigaciones, está relacionada con el indicador de crecidas y puede utilizarse como base confiable para la estimación de la magnitud de crecidas en cuencas no aforadas. Para esto, se relacionó el área de drenaje de la cuenca promedio de todas las crecidas máximas anuales registradas durante un periodo de 1972-2007, en las 58 estaciones hidrológicas limnográficas convencionales operadas por ETESA.

#### Determinación del Caudal de Diseño

El procedimiento a seguir para establecer el caudal de diseño se realiza siguiendo los lineamientos presentes en el "Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006" presentado por ETESA en 2008.

- **Determinación de la Zona del Proyecto**

Se procede a ubicar el proyecto en el mapa de Regiones Hidrológicamente Homogéneas para establecer la zona de la cuenca características más cercanas al cauce por analizar.

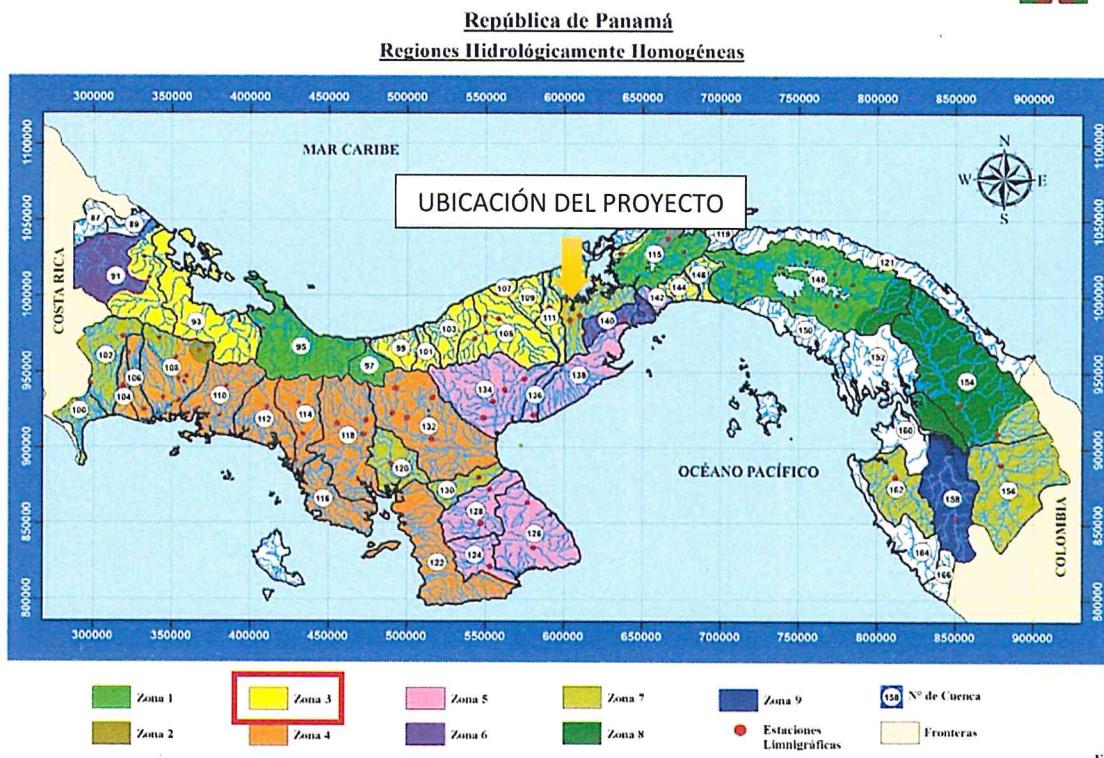


Figura 2, Regiones Hidrológicamente Homogéneas (Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá – Figura 73), se muestra el mapa de zonas, con las regiones hidrológicamente homogéneas para la evaluación de las crecidas de diseño en diferentes cuencas.

- Ecuación de Diseño y Periodo de Retorno

Una vez definida la zona característica del proyecto “ZONA 3”, se procede a seleccionar la ecuación y la tabla para establecer el caudal y periodo de retorno en 100 años como lo exige la presente licitación.

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

Factores $Q_{máx}/Q_{prom.máx}$ para distintos Tr.				
Tr, años	Tabla # 1	Tabla # 2	Tabla # 3	Tabla # 4
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

Figura 3, Muestra cuadro resumen de selección (ETESA - Cuadro 7), permite la selección según la zona del número de ecuación, ecuación, distribución de frecuencia y los factores de los caudales máximos para distintos períodos de retorno.

La ecuación de diseño para la crecida máxima de diseño adecuada según la zona es  $Q_{max} = 25A^{0.59}$ , introduciendo el área en  $\text{Km}^2$ .

## Delimitación de la Cuenca de Drenaje

La divisoria de agua es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marcando así el límite de una cuenca hidrográfica con otras cuencas aledañas. El agua que precipita a cada lado de la línea divisoria generalmente desemboca en ríos distintos, de ahí la importancia de marcar correctamente dicha línea.

Es costumbre realizar la delimitación de la cuenca mediante la interpretación de los mapas topográficos o las cartografías. Aunque es normal también seguir tres reglas sencillas y prácticas para la delimitación de la cuenca hidrográfica.

- Identificar la red de drenaje, o corrientes superficiales, realizar un esbozo muy general de su posible delimitación
- Invariablemente, la línea de divisoria debe cortar perpendicularmente a las curvas de nivel y pasar por el punto de mayor elevación topográfica.
- Cuando la divisoria va incrementando su elevación. Corta a las curvas de nivel en su parte convexa.

El área de drenaje hasta el puente proyectado es de 36.02Km<sup>2</sup> y la longitud de la Quebrada desde el punto más alto de la cuenca hasta el eje del puente es de 19483.77m. La elevación máxima y mínima que presenta la cuenca es de 352m y 21.91m respectivamente, por lo que posee una pendiente longitudinal media aproximada de 1.70%.

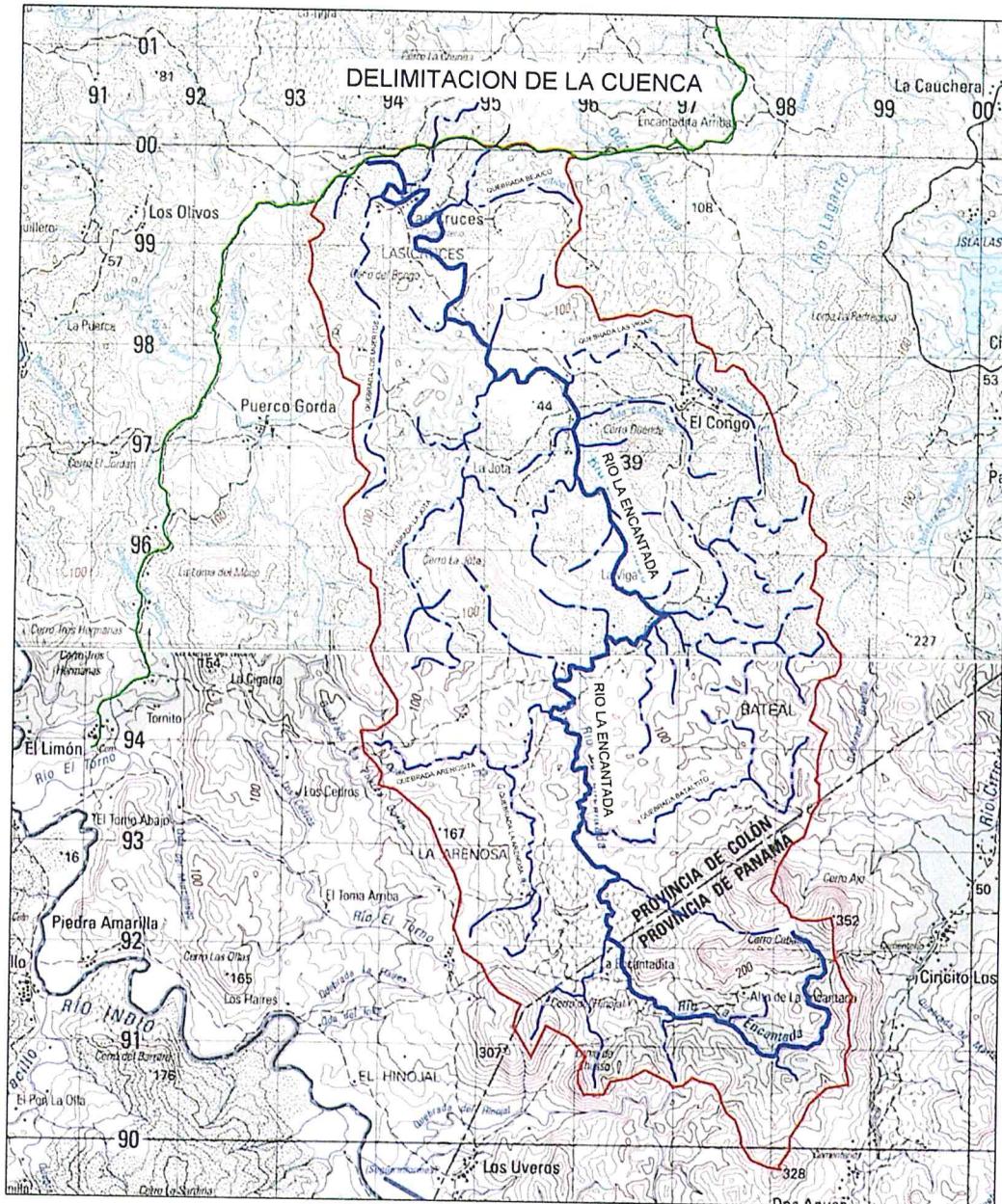


FIGURA 4 – Delimitación de la Cuenca de la Quebrada la Encantadita, fueron obtenidas a través de los mosaicos topográficos del IGNTG; escala 1:50000, con curvas de nivel a intervalos de 20m, con curcas suplementarias a cada 10m.

Resultado del Análisis Hidrológico

<b>Cuadro 1- Resumen del Análisis Hidrológico</b>	
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	36.02
<b>Longitud (m)</b>	19483.77
<b>Elev. Max.</b>	351
<b>Elev. Min.</b>	21.91
<b>Pendiente (%)</b>	1.70
<b>Zona</b>	3
<b>Ecuación</b>	$25A^{0.59}$
<b>Tabla</b>	1
<b>Coeficiente para Tr=100 Años</b>	2.68
<b>Caudal Max (m<sup>3</sup>/s)</b>	207.19
<b>Caudal Max a 100 Años (m<sup>3</sup>/s)</b>	555.25

**Análisis Hidráulico**Condiciones de Flujo Uniforme

Se considere que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales:

1) la profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección son constantes; y 2) la línea de energía, la superficie de agua y el fondo del canal son paralelos; es decir, sus pendientes son todas iguales.

Para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse libremente como el requerimiento de que el flujo posee una velocidad media constante en cada punto de la sección del canal dentro del tramo del flujo uniforme.

En otras palabras, las distribuciones de velocidades a través de la sección del canal no se alteran dentro del tramo. Este patrón estable de la distribución de velocidades puede obtenerse cuando una llamada "capa límite" se encuentra desarrollada por completo.

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluyen aguas abajo. Esta resistencia por lo general es contrarrestada por componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento.

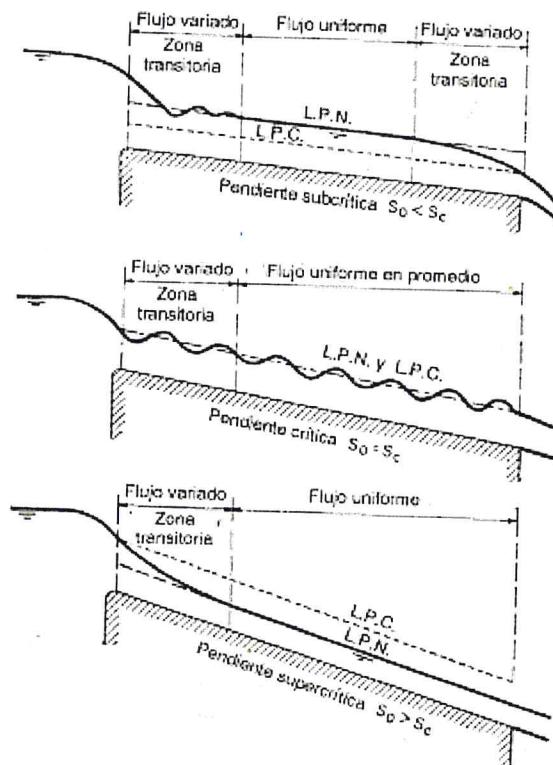


FIGURA 5 – Establecimiento del Flujo Uniforme en un Canal Largo

#### Expresión de la Velocidad en Flujo Uniforme

Para los cálculos hidráulicos la velocidad media de un flujo uniforme turbulento en canales abiertos por lo general se expresa aproximadamente por la llamada ecuación de flujo uniforme. La mayor parte de las ecuaciones prácticas de flujo uniforme pueden expresarse de la siguiente manera.

$$V = CR^x S^y$$

Donde  $V$  es la velocidad media en pies/s;  $R$  es el radio hidráulico en pies;  $S$  es la pendiente de energía  $x$  y  $y$  son exponentes;  $C$  es un factor de resistencia al flujo, el cual varía con la velocidad media, el radio hidráulico, la rugosidad del canal, y la viscosidad y muchos otros factores.

#### Ecuación de Manning

En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, la cual se modificó más adelante hasta llegar a su bien conocida forma actual.

$$Q = A * \frac{R^{\frac{1}{3}}}{n} * \sqrt{s}$$

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos.

#### Selección del Coeficiente de Rugosidad de Manning

##### D. Corrientes naturales

###### D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)

###### a. Corrientes en planicies

1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	<b>0.030</b>	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de creciente con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

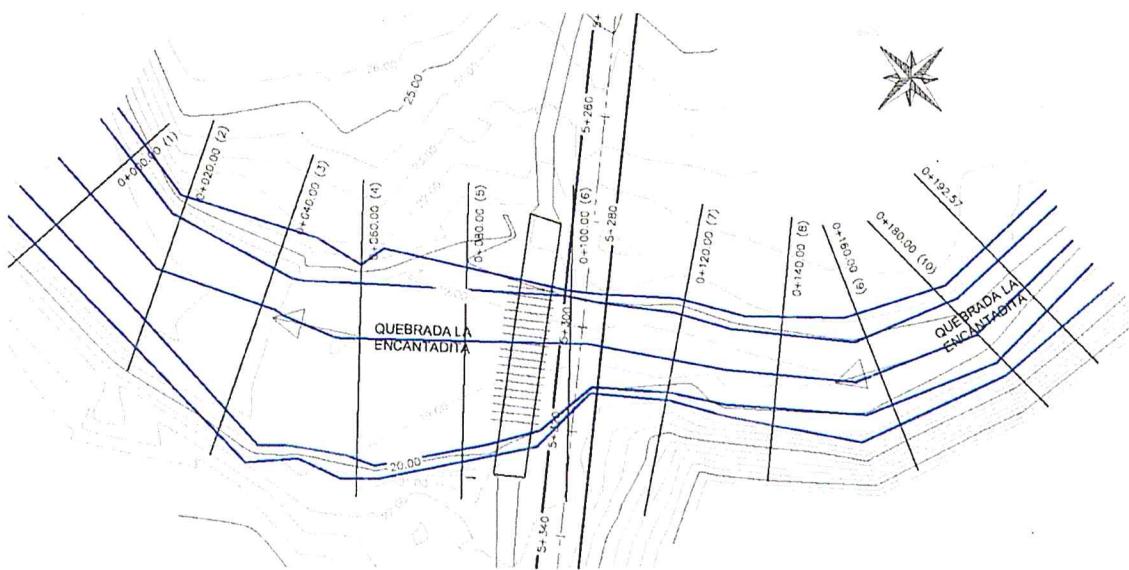
FIGURA 6 – Valores de Coeficiente de Rugosidad para Corriente Naturales, extraído de la Tabla 5-6. Valores del Coeficiente de rugosidad  $n$ , Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 1994.

#### PROGRAMA UTILIZADO PARA LA EVALUACION HIDRAULICA

En este capítulo se presentan los resultados del estudio hidráulico realizado para determinar el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) en el puente sobre Quebrada la Encantadita.

### Metodología Utilizada

En el análisis hidráulico del puente fue utilizado el programa River Análisis System (HEC-RAS), versión 5.0.1, abril de 2016, del Hydrologic Engineering Center (HEC) del Cuerpo de Ingenieros de los E.E. U.U. Este programa permite la realización de los cálculos hidráulicos de una corriente unidimensional constante de agua. HEC- RAS es un paquete de análisis hidráulico con una interfaz de usuario (GUI).



La Figura 7 - Muestra la localización en planta de las secciones transversales del tramo del cauce de la Quebrada la Encantadita usadas en los cálculos hidráulicos.

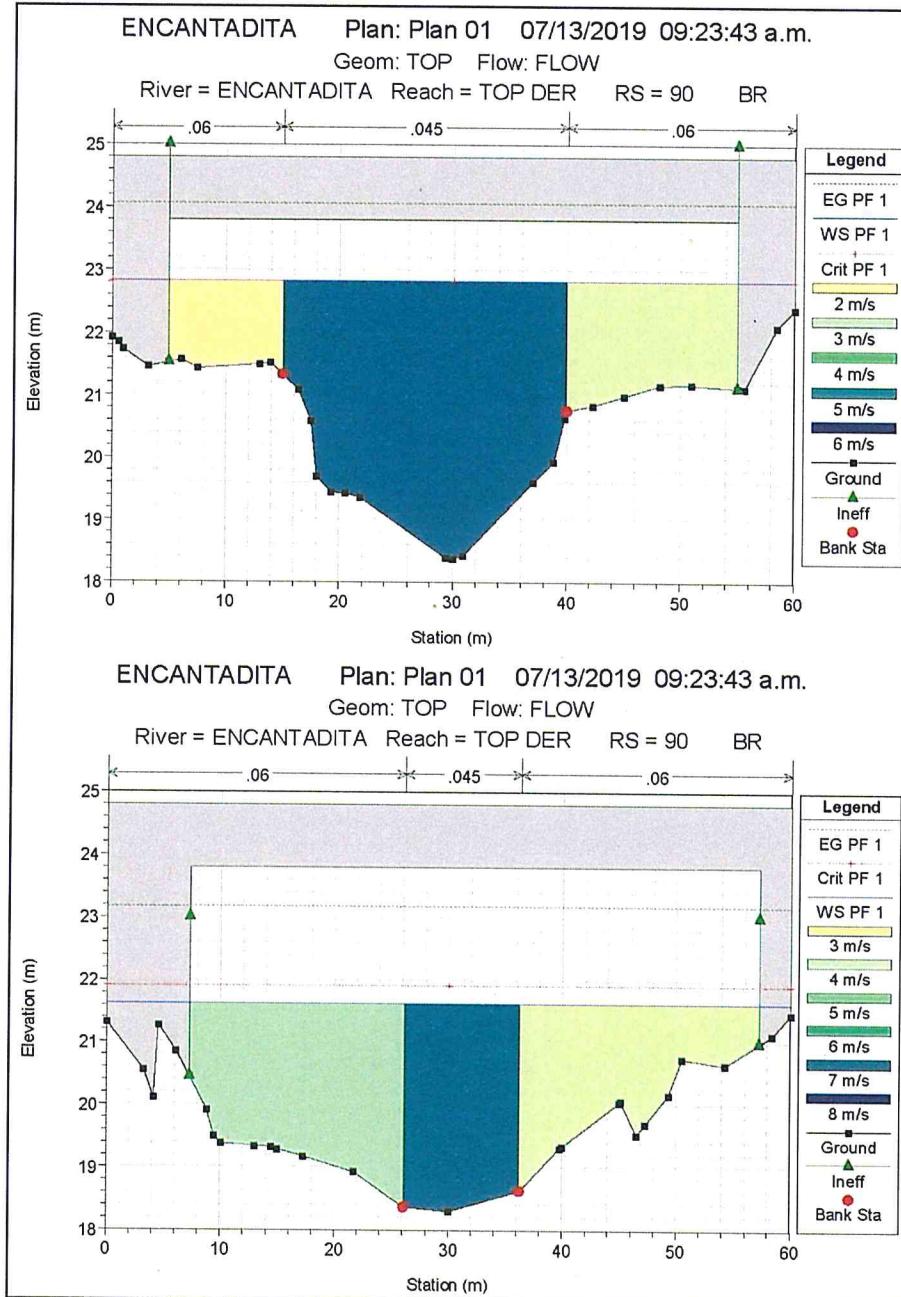


Figura 8 - Secciones transversales del tramo analizado de Quebrada la Encantadita.

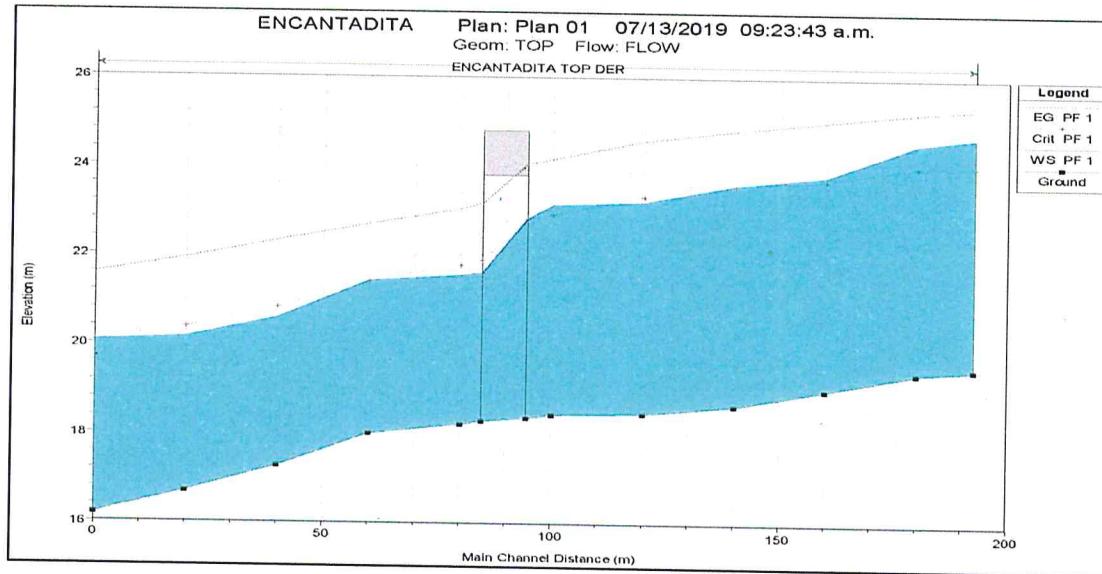


Figura 9 - Perfil longitudinal

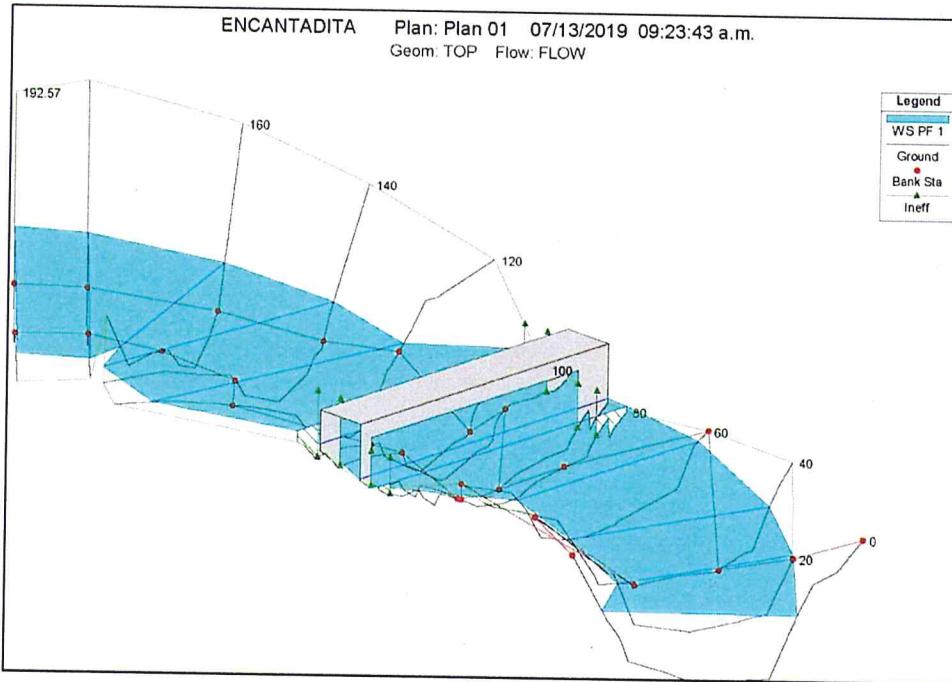


Figura 10 – Muestra el comportamiento del modelo en 3D

Plan: Plan 01 ENCANTADITA TOP DER RS: 90 BR U Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	24.06	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.24	Wt. n-Val.	0.060	0.045	0.060
W.S. Elev (m)	22.82	Reach Len. (m)	9.80	9.80	9.80
Crit W.S. (m)	22.82	Flow Area (m2)	13.49	86.88	26.66
E.G. Slope (m/m)	0.011480	Area (m2)	13.49	86.88	26.66
Q Total (m3/s)	555.25	Flow (m3/s)	28.17	460.60	66.48
Top Width (m)	50.00	Top Width (m)	10.00	25.00	15.00
Vel Total (m/s)	4.37	Avg. Vel. (m/s)	2.09	5.30	2.49
Max Chl Dpth (m)	4.44	Hydr. Depth (m)	1.35	3.48	1.78
Conv. Total (m3/s)	5182.4	Conv. (m3/s)	262.9	4298.9	620.5
Length Wtd. (m)	9.80	Wetted Per. (m)	11.32	26.15	16.71
Min Ch El (m)	18.38	Shear (N/m2)	134.07	374.06	179.63
Alpha	1.27	Stream Power (N/m s)	280.07	1983.14	448.01
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)	1.09	7.72	1.27
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)	0.56	2.72	0.72

El Cuadro 2, Resumen de Cálculos Hidráulicos del Puente sobre Quebrada la Encantadita, muestra los resultados de los cálculos hidráulicos realizados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La finalidad de este estudio es evaluar la capacidad de descarga del puente sobre Quebrada la Encantadita, para la Licitación por Mejor Valor 2018-0-09-0-03-LV-005486 "DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CAMINO LA ENCANTADITA – EL LIMON".

La Información disponible para este estudio es adecuada y consistió en:

- Plano topográficos 1:50000, del Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia".
- Información topográfica del sitio del puente.

### Conclusiones

- El caudal manejado en este puente tiene un valor significativo 555.25m<sup>3</sup>/s lo que nos indica que el material de lecho cercano al puente debe tener una gradación correspondiente a D50 para disminuir la probabilidad de socavación.

- El rango de velocidades manejadas aguas abajo y aguas arriba esta entre 4.92m/s y 5.89m/s en la sección críticas del puente donde se produce contracción del flujo, nos indica que es necesario realizar una mejora en el lecho del cauce que disminuya el efecto de socavación.
- De acuerdo a los análisis realizados, el NAME en el sitio del puente proyectado fue estimado en 22.82 msnm.
- Se deberá colocar una protección en los taludes de la sección a optimizar con un zampeado de hormigón armado que cubra una longitud de por los menos 40m aguas abajo y 40m aguas arriba.
- Los resultados obtenidos en el análisis hidráulico con el programa HEC RAS son satisfactorios para un puente de 50m de largo.

### Recomendaciones

- Se recomienda colocar una protección de zampeados para los elementos del puente.
- Se recomienda para la ubicación final del puente que el mismo se coloque lo más transversalmente posible a la dirección del flujo para disminuir los fenómenos de socavación en pilas y estribos.
- Utilizar los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME) estimados en este estudio en el diseño final del puente proyectado.
- Se recomienda tomar en consideración la cota presenta (NAME) y considerar que las zonas por debajo de este dato posiblemente pueden sufrir de inundaciones.
- Se recomienda la construcción de un puente vehicular sobre Quebrada la Encantadita según lo indican los planos correspondientes del proyecto para una longitud de 50m, tomando en cuenta las recomendaciones presente en este informe.

