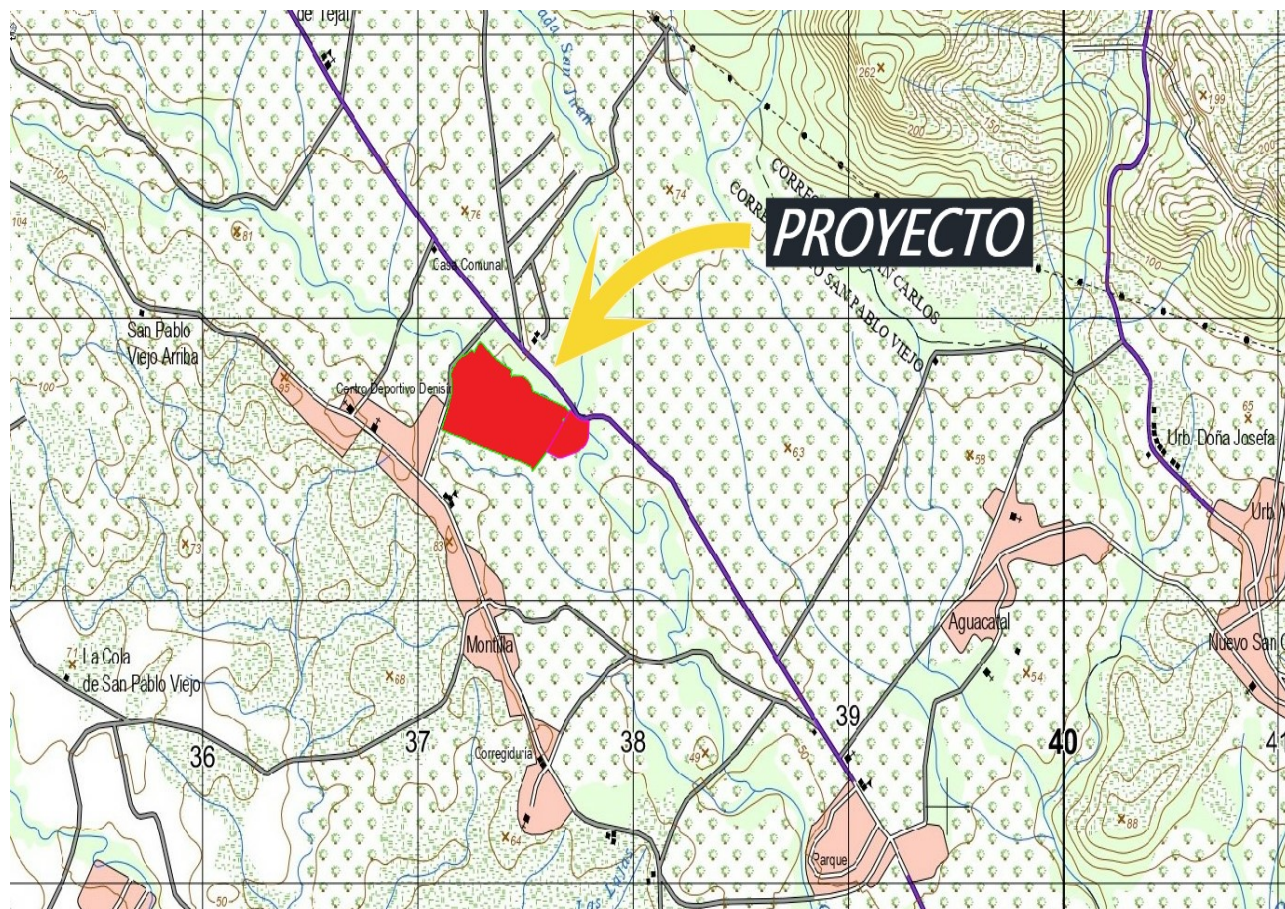


**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
QUEBRADA TEJAR. QUEBRADA SAN JUAN.
Adenda a Plano Servidumbre Pluvial Aprobado
No.Registro MOP 3696-19. Dic 2019.**



CUENCA 108 – RIO CHIRIQUI
Provincia de Chiriquí, Distrito de David, Corregimiento de San Pablo,
Lugar Aguacatal

Presentado por
CONSULTORES URBANOS S.A.

Mayo 2020

Contenido

1. Estudio Hidrológico.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Información Básica	1
1.3. Cuencas Hidrográficas.....	4
1.4. Crecidas de Diseño.....	8
1.4.1. Método del Análisis Regional de Crecidas Máximas	8
2. ESTUDIO HIDRÁULICO.....	10
2.1. Sección Natural	11
2.2. Parámetros Hidráulicos utilizados para Simulación de Hec-Ras	11
2.3. RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO.....	12
2.1 Análisis de Crecidas -Existente.....	13
3. Conclusiones y Recomendaciones Finales.....	21

Índice de Tablas

Tabla 1 - Características Físicas de la Cuenca Hidrográfica	3
Tabla 2 – Cuencas Hidrográficas en la zona de estudio.....	4
Tabla 3 – Intensidad-Duración-Frecuencia de Lluvias, MOP Pacífico	8
Tabla 4 – Crecidas de Diseño de 20, 50 y 100 años, Método Regional	10
Tabla 5 – Simbología de Resultados.....	12
Tabla 6 – Resultados condición existente Q50	14
Tabla 7 – Resultados condición existente Q100.....	15

Índice de Figuras

Figura 1 –Cuenca Hidrográfica	2
Figura 2 – Regiones Hidrológicamente Homogéneas –Cuenca 108	5
Figura 3 – Mapa de Escorrentía anuales (1971-2002)	6
Figura 4 – Áreas de aporte por subcuenca en la Cuenca 108.....	7
Figura 5 – Zona, Ecuaciones y tabla de distribución de frecuencia	9
Figura 6 – Factores para diferentes períodos de retorno en años	9
Figura 7 – Perfil de agua condiciones existentes Q_{20} , Q_{50} y Q_{100}	13
Figura 8 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE	16
Figura 9 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE	17
Figura 10 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE	18
Figura 11 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE	19
Figura 12 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE	20

Estudio Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Tejar

1. Estudio Hidrológico

1.1. Introducción

El análisis hidrológico presentado a continuación se concentra en la Quebrada Tejar. Esta desemboca en el Rio Platanal hasta desembocar en el Estero de Pedregal en el Océano Pacífico, en la Provincia de Chiriquí y es un aporte de la Cuenca 108, Rio Chiriquí.

El proyecto consiste en el análisis hidrológico de la quebrada en el sitio de desarrollo del proyecto para estimar su crecida de diseño para diferentes periodos de retorno sobre la base de las características de la topografía del terreno, características de la cuenca y por la previsión de probables de futuros niveles de terracería para desarrollos a futuros, de acuerdo a los reglamentos del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

1.2. Información Básica

Las características físicas de las cuencas hidrográficas se obtuvieron de los mosaicos topográficos a escala 1:50,000 preparados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Los mosaicos utilizados fueron las

- Hojas 3641 I – La Concepción,
- Hoja 3641 II – Alanje,
- Hoja 3741 III – David
- Hoja 3741 IV –Gualaca.

En las siguientes figuras se muestra la cuenca del área de estudio en una imagen tomada por el MAPS DE AUTODESK A TRAVES DE LA PLATAFORMA BING..

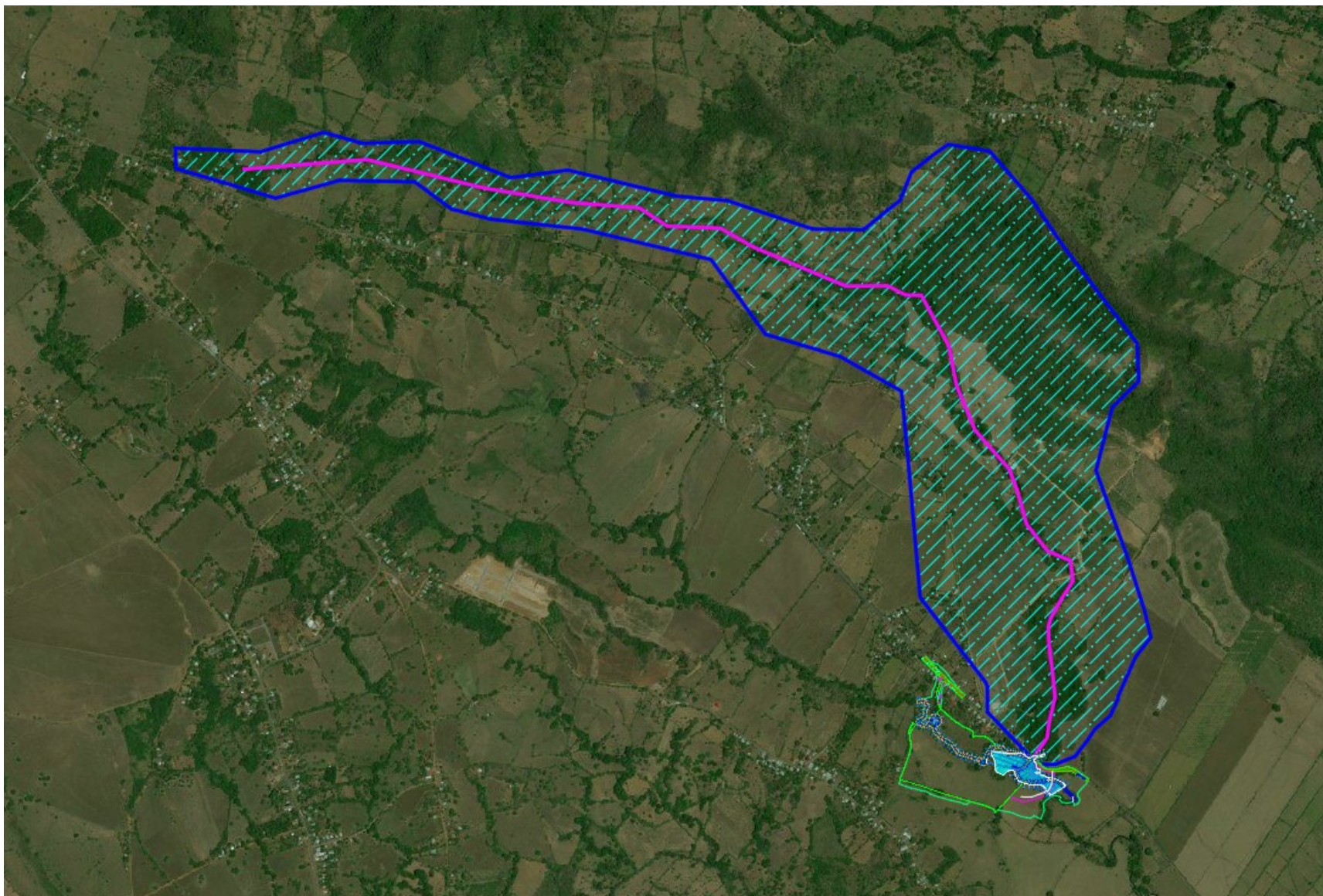


Figura 1 – Cuenca Hidrográfica

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

Numero de Cuenca	108	
Área de Drenaje	3.06	Km ²
Perímetro	3060.54	Km
Longitud del cauce	2.71	Km
Altura máxima	98.00	m
Altura mínima	48.71	m
Pendiente	0.0180	m/m
Tiempo de concentración	79.01	min

Tabla 1 – Características Físicas de la Cuenca Hidrográfica

La tabla anterior muestra el área de drenaje en kilómetros cuadrados (**Área**), la altura máxima (**H_{max}**) y mínima de la cuenca (**H_{min}**) en metros, la longitud del curso de agua (**L_c**) en kilómetros, el tiempo de concentración en minutos por el método de Bransby-Williams (**T_c**).

El método de Bransby-Williams define el tiempo de concentración como una función de las características físicas de la cuenca de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{14.6L A^{0.1}}{S^{0.2}}$$

de donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud de la trayectoria de flujo (km)

A = Área de drenaje (km²)

S = Pendiente de la trayectoria de flujo (m/m)

Estéríoformapartedelacuencanúmero146,identificadaporlaEmpresadeTransmisión Eléctrica (ETESA). Para este estudio utilizaremos las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia recomendadas por el MOP para la vertiente delPacífico.

1.3. Cuencas Hidrográficas

Con la ejecución del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA, 1967-1972) bajo la coordinación del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) y con el auspicio de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), apoyado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se acordó unificar criterios para el trazado y numeración de las cuencas hidrográficas principales en todos los países del istmo centroamericano (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá).

El Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, el territorio continental e insular de la república de Panamá, con un área de 75,524 km², se ha dividido en 52 cuencas hidrográficas. De estas cuencas, 18 están en la vertiente del mar Caribe (30% del territorio nacional) y le corresponden números impares comenzando desde la 87 hasta la 121; y 34 pertenecen a la vertiente del océano Pacífico (70% del territorio nacional), con números pares desde la 100 hasta la 166. Cabe destacar que las áreas de las cuencas de la república de Panamá varían entre 133.5 km² correspondiente al río Platanal (cuenca N° 107) y 4,984 km² del río Bayano (cuenca N° 148).

La zona de estudio forma parte de la cuenca número 108, identificada por la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA).

Nombre del Río	Área Total de la Cuenca	Río Principal de la Cuenca
	Km ²	
Cuenca 108: Río Chiriquí	1905.00	Río Chiriquí

Tabla 2 – Cuencas Hidrográficas en la zona de estudio

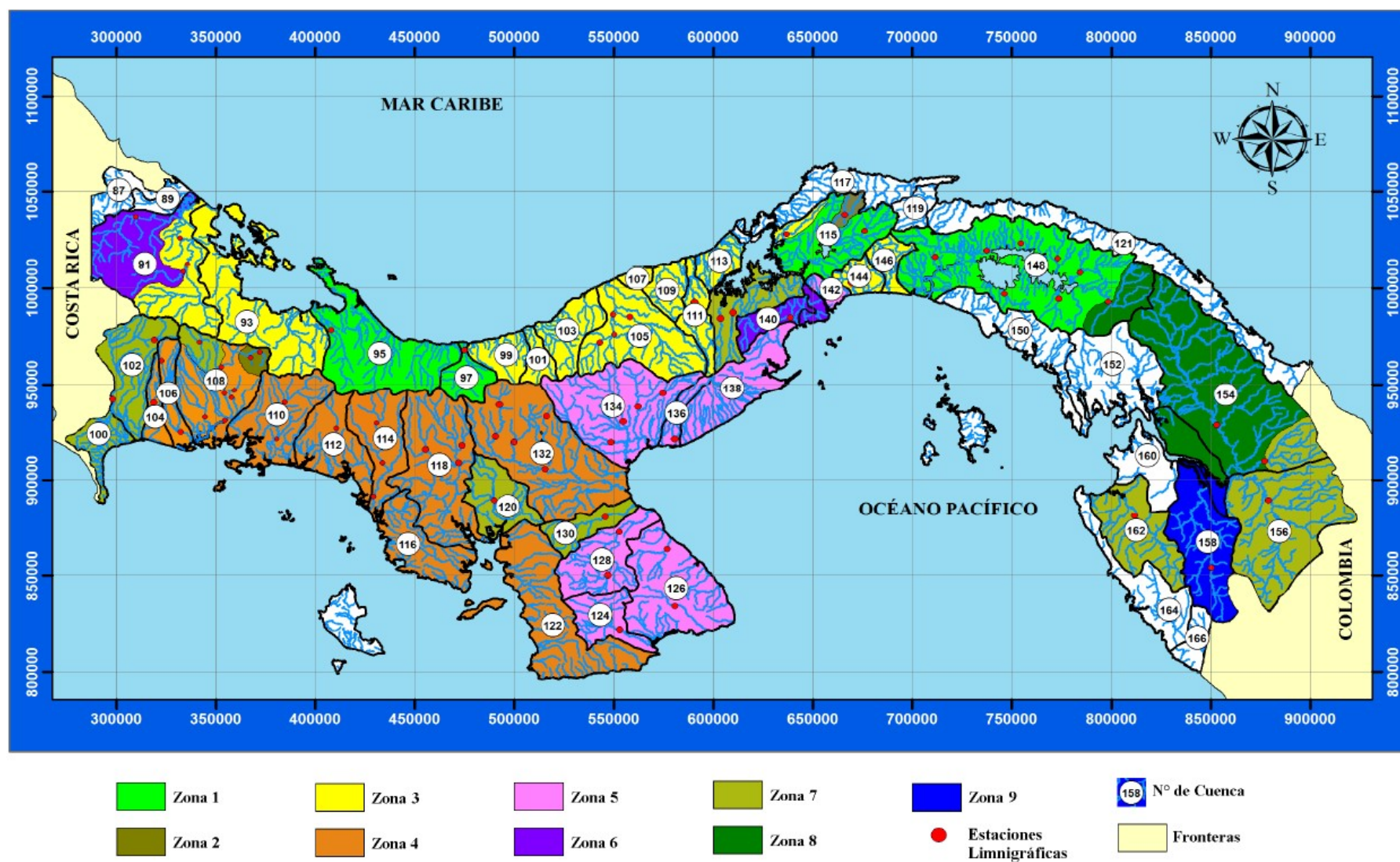


Figura 2 – Regiones Hidrológicamente Homogéneas – Cuenca 108

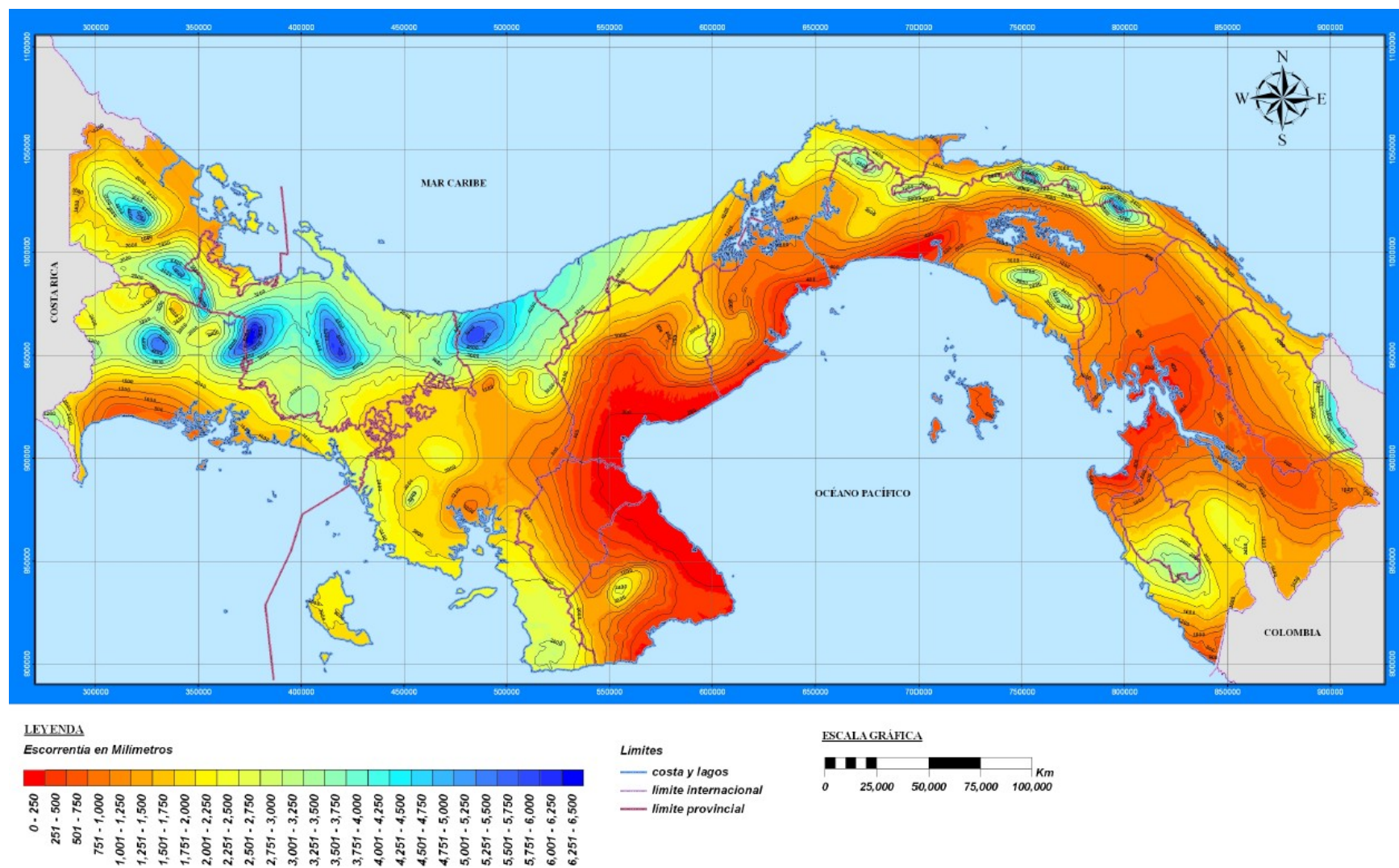


Figura 3 – Mapa de Escorrentía anuales (1971-2002)

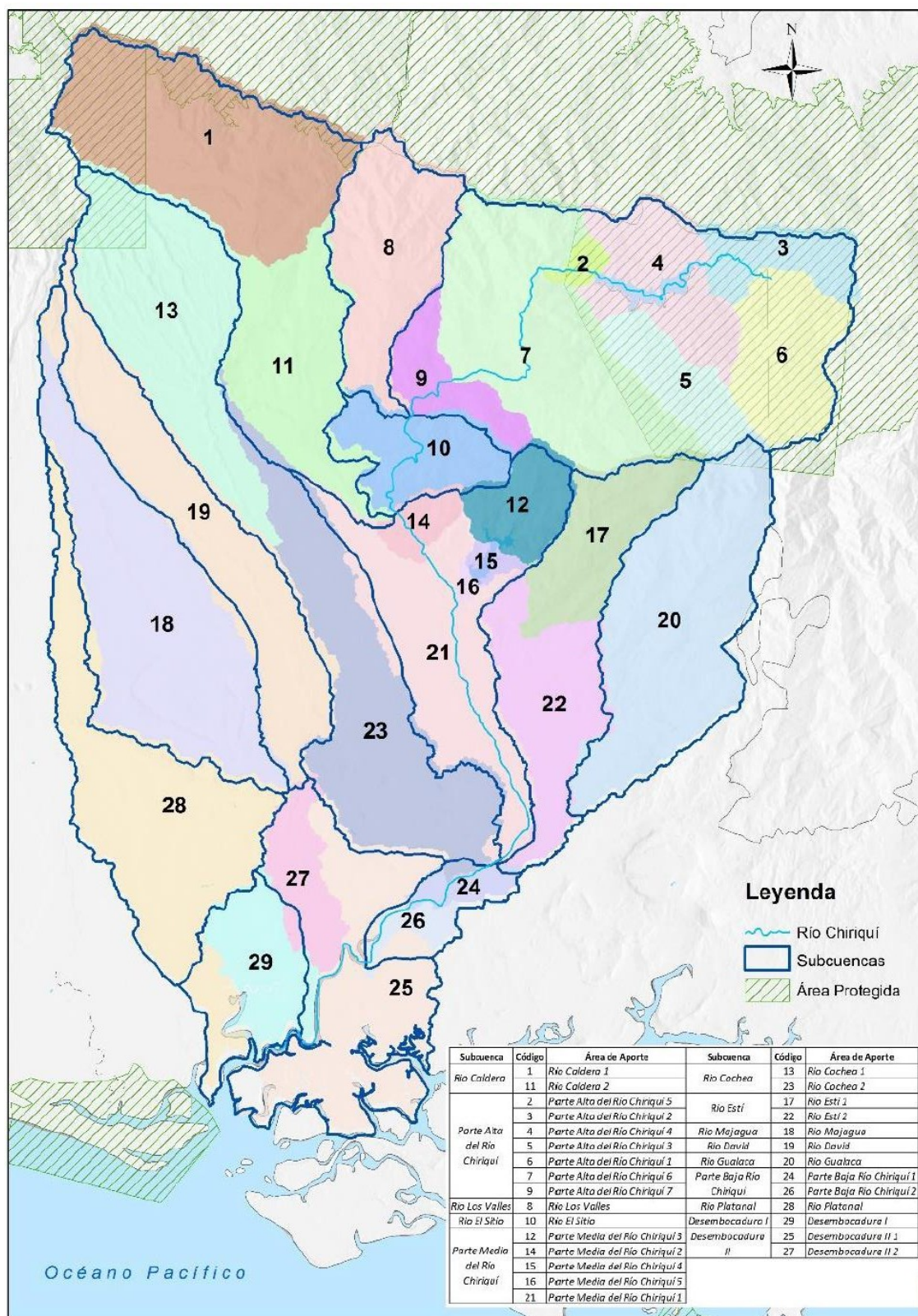


Figura 4 – Áreas de aporte por subcuenca en la Cuenca 108

La data de lluvias recomendada por el MOP cuenta con información útil de precipitaciones máximas estimadas en milímetros para varias duraciones y frecuencias y se presenta a continuación:

MOP-Pac	Períodos de Retorno							
Duración	2	5	10	20	25	30	50	100
5	169.58	182.14	200.10	215.90	223.76	229.22	247.32	258.12
10	147.84	162.34	178.35	192.93	199.96	204.30	218.56	230.62
20	117.67	133.35	146.50	159.08	164.88	167.82	177.32	190.06
30	97.73	113.15	124.31	135.34	140.27	142.39	149.17	161.59
60	64.78	77.79	85.46	93.48	96.89	97.90	101.05	111.47
120	38.70	47.87	52.59	57.76	59.86	60.24	61.42	68.77
240	21.43	27.06	29.73	32.74	33.93	34.05	34.42	38.93
800	6.96	8.93	9.81	10.83	11.23	11.24	11.28	12.87

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

1.4. Crecidas deDiseño

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

1.4.1. Método del Análisis Regional de Crecidas Máximas

Este método se basa en el informe hecho por el Departamento de Hidrometeorología de ETESA en septiembre de 2008 denominado “Resumen Técnico – Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá – Período 1971 – 2006 ”. Este se basa en la estadística de caudales máximos instantáneos en una región del país, agrupados por zonas similares hidrológicamente. Debido a que este método está basado en estadística real de crecidas en todo el país, su uso y aplicación son muy valiosos y confiables. Sobre la base de la aplicación de este método la cuenca 146 y pertenece a la Zona 4.

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

Figura 5 – Zona, Ecuaciones y tabla de distribución de frecuencia¹

Factores $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{prom.máx}}$ 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 6 – Factores para diferentes períodos de retorno en años²

La Quebrada El Tejar pertenece a la cuenca 108, Zona 4 donde el número de Ecuación es 2

$$Q_{\text{MAX}} = 25A^{0.59}$$

de donde:

Q_{MAX} = Caudal Máximo (m^3/s)

A = Área de drenaje (km^2)

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

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

Número de Cuenca	108
Número de Ecuación	2
Caudal Máximo Instantáneo, Q (m ³ /s)	48.36
Distribución de frecuencia	Tabla #4
Factores Qmax/qprom para tr 1 en 20	1.78
Factores Qmax/qprom para tr 1 en 50	2.10
Factores Qmax/qprom para tr 1 en 100	2.33
Caudales para tr 1 en 20, Q ₂₀ (m ³ /s)	86.08
Caudales para tr 1 en 50, Q ₅₀ (m ³ /s)	101.56
Caudales para tr 1 en 100, Q ₁₀₀ (m ³ /s)	112.68
Caudal Total para tr 1 en 20, Q ₂₀ (m ³ /s)	264.64
Caudal Total para tr 1 en 50, Q ₅₀ (m ³ /s)	312.222
Caudal Total para tr 1 en 100, Q ₁₀₀ (m ³ /s)	364.414

Tabla 4 – Crecidas de Diseño de 20, 50 y 100 años, Método Regional

Lastablasanterioresmuestranlascrecidasdediseñode20,50y100añosmediante el Método del Análisis Regional de Crecidas (**Q**). Este método es recomendado por el MOP para cuencas hidrográficas que excedan los 2.5 km² en su área dedrenaje.

2. ESTUDIO HIDRÁULICO

El análisis de la hidráulica de esta quebrada se llevó a cabo mediante el uso del modelo matemático por computadoras HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. La aplicación del modelo se basó en la data hidrológica de los caudales descritos anteriormente, en topografía levantada en el campo, características físicas del terreno y condiciones de flujo

El modelo topográfico levantado en campo y descrito anteriormente junto con el modelo hidrológico ya explicado fue utilizado de insumo para la simulación matemática con la herramienta HEC-RAS. Los resultados de esta simulación se muestran a continuación en forma de esquemáticos los perfiles de agua que demuestra el comportamiento esperado del río considerando un periodo de retorno de 50 y 100 años, un régimen de flujo mixto y condiciones de contorno de profundidad crítica.

2.1. Sección Natural

La metodología es realizar una simulación con las secciones naturales para estimar las zonas de inundaciones.

En el área de estudio la sección presenta:

- ✚ Fondos variables: diferentes pendientes por tramos.
- ✚ Ancho de secciones variables: diferentes áreas y perímetros hidráulicos por secciones.
- ✚ Amplias zonas de inundaciones: el borde natural son elevaciones muy bajas.

2.2. Parámetros Hidráulicos utilizados para Simulación de Hec-Ras

Los parámetros utilizados para la simulación hidráulica del modelo son:

- ✚ **Coefficiente de rugosidad de 0.035:** Este aplica para las condiciones de canal natural, pendientes laterales algo irregulares, fondo más o menos nivelado, limpio y regular, muy poca variación en la sección transversal.
- ✚ **Coefficiente de Expansión o Contracción:** Los coeficientes de contracción y expansión se definieron para evaluar la cantidad de energía a las variaciones del flujo entre dos secciones consecutivas, estudiadas hacia aguas abajo. Estos coeficientes están afectados por el cambio de velocidad del flujo entre dos secciones y por la geometría de los segmentos que comprenden las contracciones y expansiones; donde se determinó los siguientes valores:
 - ✚ **En Secciones naturales:** Contracción= 0.1 – Expansión= 0.3
 - ✚ **Caudal para un periodo de recurrencia:** 20 años, 50 años y 100 años
 - ✚ **Secciones transversales:** cada 20.00m en tramos donde no exista cambio de dirección y con ancho variable, se considera toda la sección área de inundación.
 - ✚ **Condición de contorno aguas arriba:** profundidad crítica. El programa calcula la profundidad crítica para cada uno de los perfiles.
 - ✚ **Tipo de régimen de Flujo:** Mixto, ambos regímenes: subcrítico (lento) y supercrítico (rápido)

2.3. RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO

Los resultados obtenidos de la simulación hidráulica del río que están intervenida en la zona donde se ejecutara los caminos obtendremos los siguientes valores con las abreviaturas mostrados en la siguiente tabla:

Abreviaturas	Descripción
<i>Estaciones</i>	<i>Estaciones de la Quebrada</i>
<i>Tiempo de Retorno</i>	<i>Tiempo de Retorno de Lluvia</i>
<i>Q</i>	<i>Caudal Máximos Extraordinarios</i>
<i>COEF DE MANNING</i>	<i>Coeficiente de Manning de la Sección</i>
<i>EL FDO</i>	<i>Elevación de Fondo del Cauce</i>
<i>EL N.A.M. E</i>	<i>Elevación de Nivel de Agua Máximo Extraordinario</i>
<i>EL CRIT</i>	<i>Elevación de Nivel de Agua Crítico</i>
<i>EL NMT</i>	<i>Elevación de Nivel Mínimo de terracería</i>
<i>y_{max}</i>	<i>Tirante Máximo de la Sección</i>
<i>AM</i>	<i>Área Mojada de la Sección</i>
<i>T</i>	<i>Anchura Máxima de Agua de la Sección</i>
<i>PM</i>	<i>Perímetro Mojados de la Sección</i>
<i>RH</i>	<i>Radio Hidráulico de la Sección</i>
<i>Vel</i>	<i>Velocidad Máxima de la Sección</i>
<i>N Froude</i>	<i>Numero Hidráulico de Froude de la Sección</i>

Tabla 5 – Simbología de Resultados

2.1 Análisis de Crecidas - Existente

A continuación, se muestran los análisis de las crecidas para las condiciones existentes.

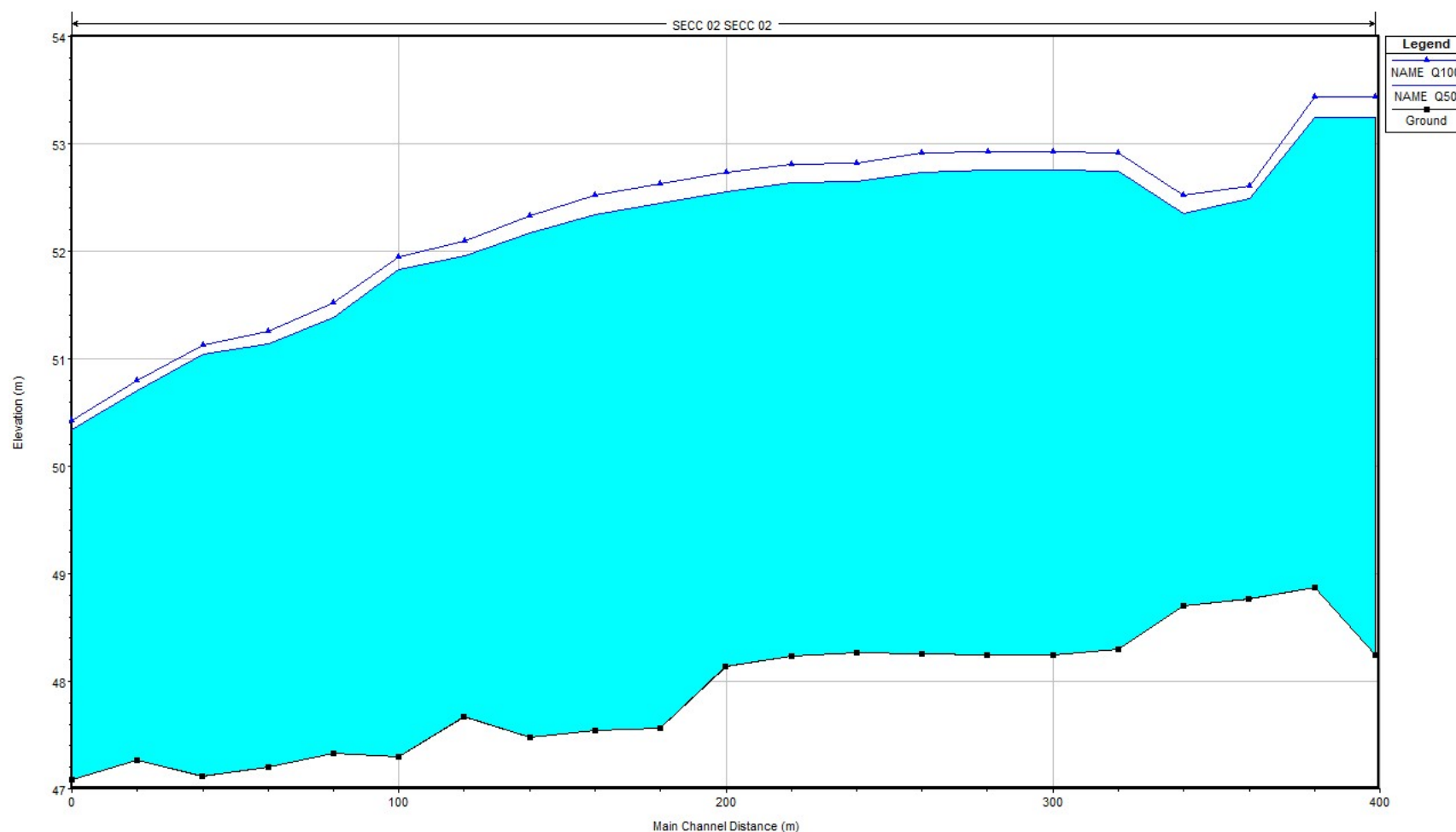


Figura 7 – Perfil de agua condiciones existentes Q_{50} y Q_{100}

Estacion	Q. total	Coeficiente de Manning	EL Min CH (m)	EL NAME (m)	EL NAME crit (m)	y _{max} (m)	Am (m ²)	Pm (m)	T (m)	Rh (m)	Vel (m/s)	N.froude
0	312.22	0.035	47.09	50.34	50.337	3.25	94.26	86.96	85.15	1.08	3.31	1.01
20	312.22	0.035	47.26	50.71	50.705	3.44	89.63	75.66	73.83	1.18	3.48	1.01
40	312.22	0.035	47.12	51.05		3.93	101.96	73.54	71.29	1.39	3.06	0.82
60	312.22	0.035	47.20	51.14	51.142	3.94	84.97	63.8	61.52	1.33	3.67	1
80	312.22	0.035	47.33	51.38	51.384	4.06	78.91	51.87	49.88	1.52	3.96	1
100	312.22	0.035	47.30	51.83		4.54	97.85	48.53	46.11	2.02	3.19	0.7
120	312.22	0.035	47.67	51.96		4.30	101.35	47.09	44.84	2.15	3.08	0.65
140	312.22	0.035	47.48	52.17		4.69	117.39	55.64	53.74	2.11	2.66	0.57
160	312.22	0.035	47.55	52.34		4.80	138.45	77.29	74.89	1.79	2.26	0.53
180	312.22	0.035	47.56	52.45		4.89	153.95	89.05	85.49	1.73	2.03	0.48
200	312.22	0.035	48.14	52.56		4.42	182.08	103.27	99.16	1.76	1.71	0.4
220	312.22	0.035	48.23	52.64		4.41	226.11	106.32	102.46	2.13	1.38	0.3
240	312.22	0.035	48.27	52.65		4.38	219.48	105.26	101.9	2.09	1.42	0.31
260	312.22	0.035	48.26	52.74		4.48	376.81	199.16	192.02	1.89	0.83	0.19
280	312.22	0.035	48.25	52.75		4.50	435.24	222.55	216.79	1.96	0.72	0.16
300	312.22	0.035	48.25	52.75		4.51	378.62	221.76	214.95	1.71	0.82	0.2
320	312.22	0.035	48.30	52.74		4.44	282.03	130.67	123.64	2.16	1.11	0.23
340	312.22	0.035	48.70	52.35	52.257	3.65	86.57	61.28	55	1.41	3.61	0.92
360	312.22	0.035	48.77	52.49		3.73	84.97	41.44	37.48	2.05	3.67	0.78
380	101.56	0.035	48.87	53.24		4.37	135.21	45.69	40	2.96	0.75	0.13
398.68	101.56	0.035	48.24	53.24		5.00	127.84	45.85	40	2.79	0.79	0.14
Promedio			47.90	52.17	51.17	4.27	171.13	92.98	89.05	1.87	2.26	0.55
Maxima			48.87	53.24	52.26	5.00	435.24	222.55	216.79	2.96	3.96	1.01
Minima			47.09	50.34	50.34	3.25	78.91	41.44	37.48	1.08	0.72	0.13

Tabla 6 – Resultados condición existente Q50

Estacion	Q. total	Coeficiente de Manning	EL Min CH	EL NAME	EL NAME crit	y max	Am	Pm	T	Rh	Vel	N.froude
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	
0	346.41	0.04	47.09	50.43	50.43	3.35	102.34	89.18	87.36	1.15	3.38	1
20	346.41	0.04	47.26	50.80	50.80	3.54	96.62	76.64	74.77	1.26	3.59	1.01
40	346.41	0.04	47.12	51.13		4.02	108.12	74.68	72.41	1.45	3.2	0.84
60	346.41	0.04	47.20	51.25	51.25	4.05	91.77	65.31	63.01	1.41	3.77	1
80	346.41	0.04	47.33	51.52	51.52	4.20	85.87	54.07	52.04	1.59	4.03	1
100	346.41	0.04	47.30	51.95		4.65	103.4	50.4	47.96	2.05	3.35	0.73
120	346.41	0.04	47.67	52.09		4.43	107.28	48.66	46.3	2.2	3.23	0.68
140	346.41	0.04	47.48	52.33		4.86	126.34	58.87	56.89	2.15	2.74	0.59
160	346.41	0.04	47.55	52.52		4.98	152.24	80.06	77.41	1.9	2.28	0.52
180	346.41	0.04	47.56	52.63		5.07	169.46	92.08	88.24	1.84	2.04	0.47
200	346.41	0.035	48.14	52.73		4.60	199.48	103.7	99.34	1.92	1.74	0.39
220	346.41	0.035	48.23	52.81		4.58	243.74	106.77	102.69	2.28	1.42	0.29
240	346.41	0.035	48.27	52.82		4.55	236.94	105.74	102.15	2.24	1.46	0.31
260	346.41	0.035	48.26	52.91		4.65	410.61	200.86	193.22	2.04	0.84	0.18
280	346.41	0.035	48.25	52.93		4.68	473.62	226.87	220.73	2.09	0.73	0.16
300	346.41	0.035	48.25	52.93		4.68	416.29	222.11	214.95	1.87	0.83	0.19
320	346.41	0.035	48.30	52.91		4.61	303.33	131.02	123.64	2.32	1.14	0.23
340	346.41	0.035	48.70	52.53	52.366	3.83	96.15	61.62	55	1.56	3.6	0.87
360	346.41	0.035	48.77	52.60		3.84	89.25	42.14	38.06	2.12	3.88	0.81
380	112.68	0.035	48.87	53.44		4.57	143.16	46.09	40	3.11	0.79	0.13
398.68	112.68	0.035	48.24	53.44		5.20	135.8	46.25	40	2.94	0.83	0.14
Promedio			47.90	52.32	51.27	4.42	185.32	94.43	90.29	1.98	2.33	0.55
Maxima			48.87	53.44	52.37	5.20	473.62	226.87	220.73	3.11	4.03	1.01
Minima			47.09	50.43	50.43	3.35	85.87	42.14	38.06	1.15	0.73	0.13

Tabla 7 – Resultados condición existente Q100

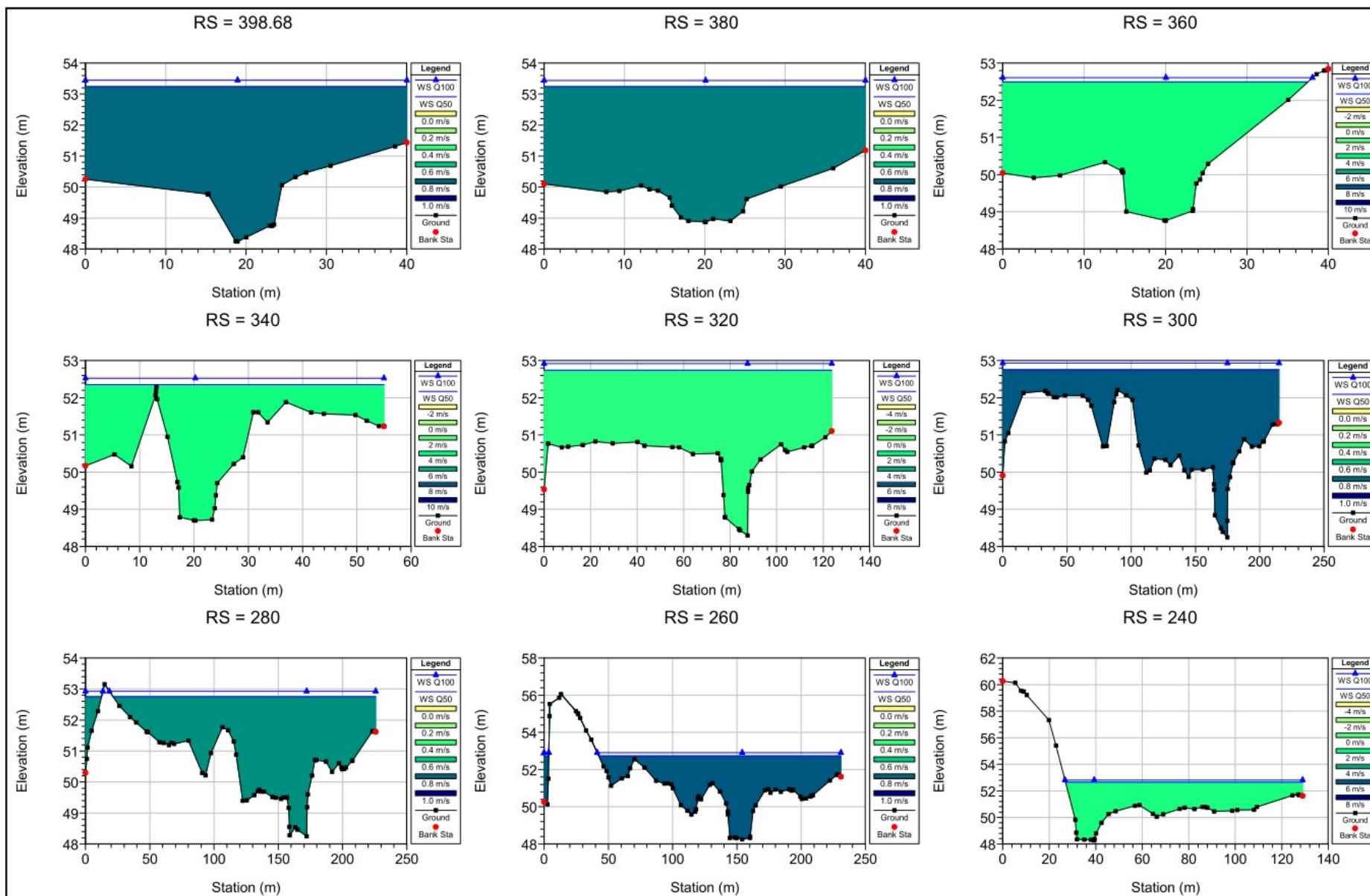


Figura 8 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE

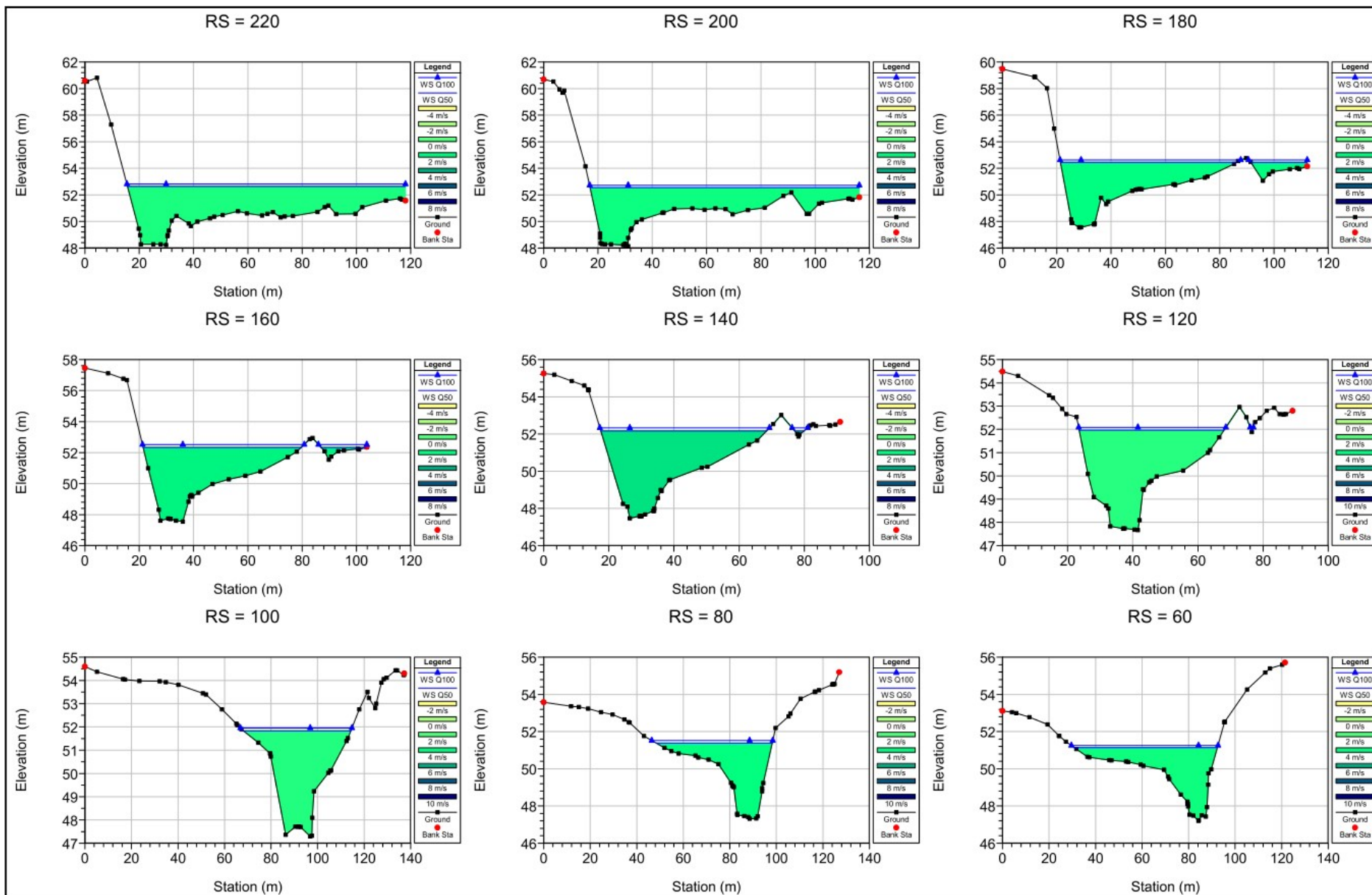


Figura 9 – SECCIONES CONDICIÓN EXISTENTE

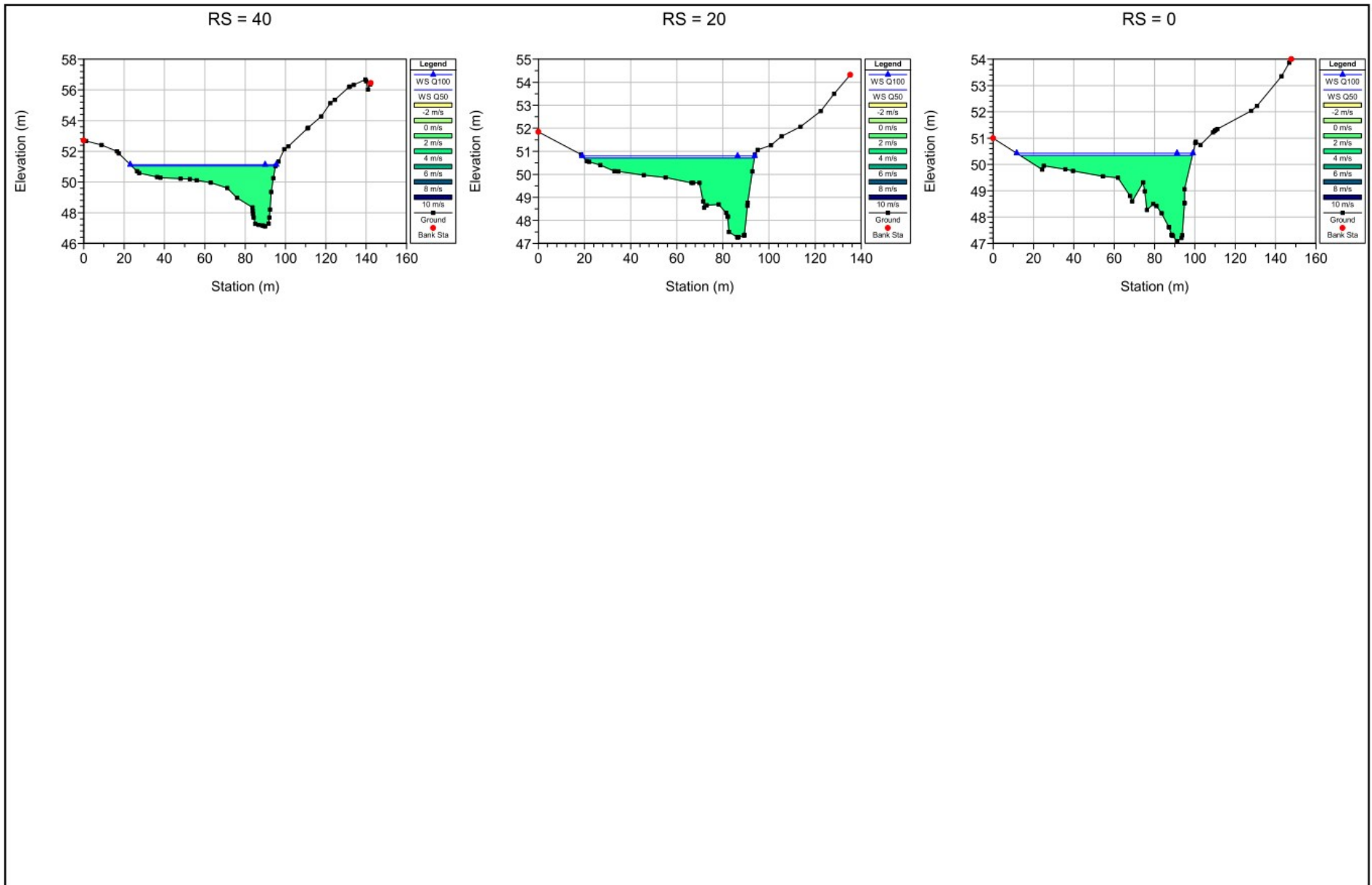


Figura 10 – SECCIONES CONDICI3N EXISTENTE

3. Conclusiones y Recomendaciones Finales

1. El análisis muestra los niveles de aguas máximas esperadas en cada estación de los perfiles de la quebrada. Por lo anterior es necesario que cualquier desarrollo en ese sector sea evaluado bajo las condiciones de niveles mostrados, lo cual puede representar la necesidad de rellenos y terracerías a niveles apropiados a 1.50m como mínimo del nivel de agua máximo extraordinario para un periodo de retorno de 1 en 50 años.
2. El estudio Hidráulico e Hidrológico fue realizado tomando en cuenta niveles de topografía los cuales fueron modelados para determinar el Nivel de Aguas Máximas Esperados (N.A.M.E.), si estos niveles varían de acuerdo a lo modelado mediante el Hec-ras, es necesario realizar una nueva simulación con el objetivo de garantizar niveles seguros de terracerías y sistemas de protección para evitar inundaciones en las barriadas adyacentes.
3. El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito del caudal de diseño correspondiente al período de retorno de 50 y 100 años.