



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO PIURA, EN EL TRAMO LOS EJIDOS - PUENTE INDEPENDENCIA

Jessica Maza-Sócola

Piura, marzo de 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Maza, J. (2019). *Análisis del comportamiento hidráulico del Río Piura, en el tramo Los Ejidos - Puente Independencia* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis del comportamiento hidráulico del Río Piura, en el tramo Los Ejidos –
Puente Independencia**

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil**

Jessica Paola Maza Sócola

Asesor: Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Piura, marzo 2019

*A Dios, a la Virgen y a mis padres
por darme sabiduría, energía y motivación
para culminar con éxito la presente investigación.*

Prólogo

Las inundaciones constituyen el principal fenómeno de geodinámica externa que afecta la cuenca baja del Río Piura, donde las áreas con cotas menores a 25 msnm son las más susceptibles a inundarse. El Fenómeno El Niño (FEN), principal causante de las inundaciones en nuestra región es un fenómeno oceanográfico controlado por la atmósfera, el cual se manifiesta con la presencia de aguas muy cálidas frente al litoral, lluvias torrenciales y el colapso del ecosistema marino.

De las últimas décadas, cabe destacar los FEN de carácter mundial ocurridos en los años 1982-1983, 1997-1998, y los denominados El Niño Costero acontecidos en la costa peruana con carácter más local y más corto, como el ocurrido en el 2017 y otros tales como 1925, 1972, 2002 y 2012. Sin embargo, a pesar de su menor volumen de precipitación y escorrentía, presentan características de muy alta intensidad.

El reciente FEN Costero ocurrido entre los meses de enero y marzo del año 2017, originó el desborde del río Piura especialmente en la zona media (Piura y Castilla) y baja de la cuenca (Bajo Piura), dejando como consecuencia graves pérdidas económicas. Ante esta situación se realizaron trabajos de rehabilitación mediante la descolmatación del río, rehabilitación del sistema de defensas, ensanchamiento del Puente Independencia, entre otros.

La presente tesis se justifica técnicamente por la necesidad de calibrar un modelo numérico que permita obtener parámetros hidráulicos característicos del Río Piura ante la presencia de cualquier caudal. Asimismo, permitirá evaluar el ensanchamiento del Puente Independencia y su implicancia en los puentes aguas arriba a éste. Y finalmente, analizar y caracterizar el FEN Costero 2017 en el tramo Presa Los Ejidos – Puente Independencia.

Se expresa el profundo agradecimiento al Dr. Ing. Jorge Reyes Salazar por su tiempo empleado en la asesoría de la presente investigación.

Resumen

La presente investigación evalúa el comportamiento hidráulico del río Piura mediante la modelación numérica con el software Hec-Ras, para ello se consideran tres escenarios diferenciados por las secciones transversales obtenidas con: topografía 2015, topografía 2015 considerando Puente Independencia ensanchado y sin dique fusible, y topografía 2017. La topografía 2015 simula el entorno en el que sucedió el FEN Costero 2017 por no presentarse eventos que modifiquen a gran escala la topografía entre los años 2015 y 2017.

El objetivo de la modelación es: Para el primer escenario, evaluar la eficacia del software al comparar los resultados in situ con los obtenidos en la modelación obteniéndose un modelo calibrado para obtener resultados predictivos con cualquier caudal; para el segundo escenario, evaluar la influencia del ensanchamiento del Puente Independencia; y para el tercer escenario, caracterizar el FEN Costero 2017 mediante la comparación de los resultados obtenidos con ambas topografías.

Se concluye la eficacia del software Hec-Ras al obtenerse tirantes de agua similares a los acontecidos; así mismo, se concluye que la influencia del ensanchamiento del Puente Independencia en los puentes aguas arriba de éste es nula, salvo en su misma sección hidráulica en la que el descenso del nivel de agua es de 0,91 m. Finalmente se obtienen las características del comportamiento hidráulico del río Piura en el tramo Presa Los Ejidos hasta aguas abajo del Puente Independencia, ante la presencia de un caudal de 3 468 m³/s.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
 Capítulo 1 El fenómeno El Niño.....	3
1.1. Definición.....	4
1.2. Impacto del FEN 1982 – 1983 en la región Piura.....	4
1.3. Impacto del FEN 1997 – 1998 en la región Piura.....	5
1.4. El FEN Costero 2017	8
1.4.1. Definición.....	8
1.4.2. Impactos del FEN Costero en los tramos en estudio.....	10
1.4.2.1. Impacto en puentes	12
1.4.2.2. Roturas en el dique izquierdo	14
1.4.3. Medidas tomadas post FEN Costero 2017	17
1.4.3.1. Rehabilitación de diques de defensa.....	18
1.4.3.2. Ensanchamiento del Puente Independencia.....	18
1.4.3.3. Descolmatación del cauce del Río Piura	20
 Capítulo 2 El río Piura	23
2.1. Ubicación	23
2.2. Zonificación de la cuenca del río Piura.....	23
2.3. Morfología del río Piura.....	25
2.3.1. Desarrollo del cauce principal.....	25
2.3.2. Características morfológicas	27
2.4. Descripción del área de estudio	28
2.4.1. Generalidades	28
2.4.2. Obras hidráulicas en el tramo de estudio	30

2.4.2.1.	Presa derivadora Los Ejidos	30
2.4.2.2.	Puentes.....	30
2.4.2.3.	Sistema de defensas contra inundaciones	30
Capítulo 3 Nociones básicas de Ingeniería Fluvial		35
3.1.	Morfología fluvial.....	35
3.1.1.	Tipos de ríos.....	36
3.1.2.	Formas en planta de los ríos.....	36
3.1.2.1.	Ríos rectos	37
3.1.2.2.	Ríos entrelazados o entrenzados.....	37
3.1.2.3.	Ríos meándricos	38
3.1.3.	Papel morfológico de la vegetación	39
3.1.4.	Morfología de las llanuras de inundación	39
3.2.	Nociones sobre erosión	40
3.3.	Encauzamientos	41
3.3.1.	Efectos de un encauzamiento	42
3.4.	Flujo en canales abiertos.....	44
3.4.1.	Tipos de flujo	44
3.4.1.1.	Flujo permanente y no permanente	44
3.4.1.2.	Flujo uniforme y variado	45
3.4.1.3.	Flujo laminar o turbulento	46
3.4.1.4.	Flujo crítico, subcrítico y supercrítico.....	46
3.5.	Modelación numérica	48
3.5.1.	Modelación numérica con Hec-Ras	48
3.5.1.1.	Datos geométricos	51
3.5.1.2.	Datos hidráulicos	51
Capítulo 4 Modelación numérica del río Piura con Hec-Ras		55
4.1.	Metodología	56
4.2.	Consideraciones para la modelación.....	56
4.3.	Datos geométricos.....	56
4.3.1.	Levantamiento topográfico del Año 2015	58
4.3.2.	Levantamiento topográfico del Año 2017	61

4.4.	Escenarios modelados	63
4.4.1.	Escenario 1: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia.....	63
4.4.2.	Escenario 2: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, considerando el ensanchamiento del Puente Independencia.....	63
4.4.3.	Escenario 3: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía posterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia.....	63
4.5.	Calibración del modelo	64
4.6.	Datos hidráulicos.....	64
4.6.1.	Caudal.....	64
4.6.2.	Coeficientes de rugosidad	64
4.6.3.	Coeficiente de expansión y contracción.....	65
4.6.4.	Condiciones de borde	66
4.6.4.1.	Known Water Surface (W.S).....	66
4.6.4.2.	Normal Depth	66
4.6.5.	Condiciones de flujo.....	66
Capítulo 5 Resultado de las modelaciones.....		67
5.1.	Escenario 1: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía 2015, anterior al FEN Costero, sin ensanchamiento del Puente Independencia.....	68
5.1.1.	Resultados por secciones transversales Presa Los Ejidos	69
5.1.2.	Niveles de agua	75
5.1.3.	Velocidades	79
5.1.4.	Caudales	83
5.1.5.	Número de Froude.....	84
5.2.	Escenario 2: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, considerando ensanchamiento del Puente Independencia a 362 m.....	87
5.2.1.	Resultados por secciones transversales de interés.....	88
5.2.2.	Niveles de superficie de agua.....	94
5.2.3.	Velocidades	97
5.2.4.	Caudales	101
5.2.5.	Número de Froude.....	102

5.3.	Escenario 3: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía posterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia.	105
5.3.1.	Resultados por secciones de interés	106
5.3.2.	Niveles de superficie de agua	112
5.3.3.	Velocidades	115
5.3.4.	Caudales	119
5.3.5.	Número de Froude	120
5.4.	Mapa de inundación.....	123
Capítulo 6	Análisis de los resultados	125
6.1.	Generalidades.....	125
6.2.	Eficacia de la modelación del Río Piura con Hec-Ras	126
6.2.1.	Niveles de superficie de agua en puentes	126
6.2.2.	Niveles de Superficie de agua en el dique izquierdo	128
6.2.3.	Zonas vulnerables a inundaciones	130
6.3.	Influencia del ensanchamiento del Puente Independencia	131
6.4.	Singularidades del FEN Costero 2017	135
6.4.1.	Características hidráulicas del río Piura.....	135
6.4.1.1.	Generalidades	135
6.4.1.2.	Tramo del cauce entre Presa Los Ejidos y Puente Bolognesi	136
6.4.1.3.	Tramo del cauce entre Puente Bolognesi y Puente Independencia.....	136
6.4.2.	Estado del río Piura post FEN Costero 2017	137
Conclusiones		143
Recomendaciones		147
Referencias bibliográficas		151
Apéndices		153
Apéndice A1.	Resultados de la modelación para el Escenario 1	155
Apéndice A2.	Resultados de la modelación para el Escenario 2	159
Apéndice A3.	Resultados de la modelación para el Escenario 3	163

Anexos.....	167
Anexo A. Plano de ubicación del área en estudio	169
Anexo B. Plano de ubicación de los puntos de rotura de los diques del Bajo Piura	171

Lista de tablas

Tabla 1.	Cotas de la superficie de agua el día 27 de marzo del 2017	13
Tabla 2.	Sectores del dique izquierdo afectados por avenidas máximas del Río Piura 2017.	15
Tabla 3.	Caracterización del río Piura por factores.....	28
Tabla 4.	Valores de coeficiente de Rugosidad de Manning (n)	52
Tabla 5.	Resultados de niveles de cota de agua el escenario 1.	75
Tabla 6.	Resultados de velocidades por sección para el escenario 1.	79
Tabla 7.	Resultados de caudales por sección para el escenario 1.	83
Tabla 8.	Resultados de niveles de cota de agua por sección para el escenario 2.	94
Tabla 9.	Resultados de velocidades por sección para el escenario 2	97
Tabla 10.	Resultados de caudales por sección para el escenario 2	101
Tabla 11.	Resultados de niveles de cota de agua por sección para el escenario 3	112
Tabla 12.	Resultados de velocidades por sección para el escenario 3	115
Tabla 13.	Resultados de caudales por sección para el escenario 3	119
Tabla 14.	Niveles máximos de superficie de agua para la avenida.....	126
Tabla 15.	Cotas de la superficie de agua con Hec-Ras para el escenario 1	127
Tabla 16.	Cuadro comparativo entre cotas de la superficie de agua para el escenario 1	127
Tabla 17.	Cotas de la superficie de agua para el escenario 1	128
Tabla 18.	Cuadro comparativo entre niveles de agua con y sin ensanchamiento del Puente Independencia	132
Tabla 19.	Cuadro comparativo entre niveles de agua con ensanchamiento del puente Independencia y nivel de corona de dique izquierdo	133
Tabla 20.	Cuadro comparativo entre velocidades con y sin ensanchamiento del puente Independencia.....	134
Tabla 21.	Cuadro comparativo entre caudales con y sin ensanchamiento del Puente Independencia.	135

Tabla 22.	Cuadro comparativo entre cotas de superficie de agua con topografía 2015 y 2017.	138
Tabla 23.	Cuadro comparativo entre velocidades con topografía 2015 y 2017	138
Tabla 24.	Cuadro comparativo entre áreas de flujo con topografía 2015 y 2017	139

Lista de figuras

Figura 1.	Fallas presentadas en los diques durante los FEN de 1982-1983 y 1997-1998.	7
Figura 2.	Caudales comparativos durante El Niño Costero 2017 con otros FEN.	9
Figura 3.	Diferencias entre El Niño costero 2017 con FEN de 1982-1983 y 1997-1998.	9
Figura 4.	Plaza de Armas de la ciudad de Piura inundada el día 27 de marzo del 2017.	10
Figura 5.	Falla de muros de contención en el margen izquierdo del río Piura, inmediatamente aguas arriba del Puente Cáceres.	11
Figura 6.	Falla de muros de contención en el margen derecho del río Piura, Calle Huancavelica.	11
Figura 7.	Falla de muros de contención en el margen derecho del río Piura, inmediatamente aguas arriba del Puente Sánchez Cerro.	11
Figura 8.	Puente Cáceres el día 27 de marzo del 2017.	13
Figura 9.	Puente Sánchez Cerro en el FEN Costero 2017.	13
Figura 10.	Puente Bolognesi el día 27 de marzo del 2017.	14
Figura 11.	Puente Independencia en el FEN Costero 2017.	14
Figura 12.	Rotura del dique izquierdo en la localidad de Simbilá.	15
Figura 13.	Rotura del dique izquierdo en la localidad de Viduque.	16
Figura 14.	Rotura del dique izquierdo en la localidad de Narihualá.	16
Figura 15.	Rotura del dique izquierdo en la localidad de Molino Azul.	16
Figura 16.	Ubicación de las roturas en el dique izquierdo a causa del FEN Costero 2017.	17
Figura 17.	Puente Independencia antes de su ensanchamiento (con 227.50 m de longitud).	19
Figura 18.	Puente Independencia ensanchado a 362 m.	20
Figura 19.	Terrazas del margen izquierdo del río ubicadas aguas abajo del Puente Independencia ensanchado mediante puente modular.	20

Figura 20.	Zonificación de la Cuenca del Río Piura	24
Figura 21.	Desembocadura antigua del río Piura	26
Figura 22.	Desembocadura actual del río Piura	26
Figura 23.	Tramo en estudio	29
Figura 24.	Tipos de formas en planta de ríos.	39
Figura 25.	Sección transversal típica de un río colgado.	40
Figura 26.	Sección transversal típica de un río colgado.	40
Figura 27.	Analogía de la balanza.....	41
Figura 28.	Planta, perfil longitudinal y sección transversal de un río encauzado en vías de sedimentación y formación de un cauce colgado.	43
Figura 29.	Esquema del problema de surgencias.	44
Figura 30.	Tipos de flujo en canales abiertos.....	47
Figura 31.	Esquema de la Ecuación de la energía.....	49
Figura 32.	Subdivisión en áreas de la sección transversal de un canal.	50
Figura 33.	Ubicación del Puente Independencia.....	57
Figura 34.	Ubicación de las secciones aguas arriba del Puente Independencia.....	58
Figura 35.	Secciones transversales del Tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484,32 km)-Puente Bolognesi (16+550,00 km)	59
Figura 36.	Secciones transversales del Tramo 2: Puente Bolognesi (16+550,00 km)-Aguas abajo del Puente Independencia (0+000,00 km)	60
Figura 37.	Secciones transversales del Tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484,32 km)-Puente Bolognesi (15+750,00 km).....	61
Figura 38.	Secciones transversales del Tramo 2: Puente Bolognesi (15+750,00 km) – Puente Independencia (0+000,00 km).....	62
Figura 39.	Hidrograma de caudales del día 27 de marzo en la estación Presa Los Ejidos	64
Figura 40.	Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 1.....	68
Figura 41.	Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 1.....	68
Figura 42.	Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 1.....	69
Figura 43.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 1.	69
Figura 44.	Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 1.....	70
Figura 45.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 1.	70
Figura 46.	Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 1.	71
Figura 47.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez	

	Cerro, para el escenario 1.....	71
Figura 48.	Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 1.....	72
Figura 49.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 1.....	72
Figura 50.	Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 1.....	73
Figura 51.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 1.....	73
Figura 52.	Sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 1.....	74
Figura 53.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 1.	74
Figura 54.	Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 1.	77
Figura 55.	Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 1.	81
Figura 56.	Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 1.	85
Figura 57.	Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 1.....	86
Figura 58.	Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 2.	87
Figura 59.	Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 2.	87
Figura 60.	Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 2.	88
Figura 61.	Figura 5.22. Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 2.....	88
Figura 62.	Figura 5.23. Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 2.....	89
Figura 63.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 2.....	89
Figura 64.	Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 2.	90
Figura 65.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 2.....	90
Figura 66.	Figura 5.27. Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 2.	91
Figura 67.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi para el escenario 2.....	91
Figura 68.	Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 2.....	92
Figura 69.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 2.....	92
Figura 70.	Sección transversal del Puente Independencia con ensanchamiento, para el escenario 2.....	93
Figura 71.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente	

	Independencia con ensanchamiento, para el escenario 2.....	93
Figura 72.	Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 2.	95
Figura 73.	Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 2.	99
Figura 74.	Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 2.	103
Figura 75.	Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 2.	104
Figura 76.	Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 3.....	105
Figura 77.	Figura 5.38. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 3.	105
Figura 78.	Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 3.....	106
Figura 79.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 3.	106
Figura 80.	Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 3.....	107
Figura 81.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 3.	107
Figura 82.	Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 3.....	108
Figura 83.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 3.	108
Figura 84.	Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 3.....	109
Figura 85.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi para el escenario 3.	109
Figura 86.	Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 3.....	110
Figura 87.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 3.	110
Figura 88.	Sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 3.	111
Figura 89.	Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Independencia para el escenario 3.	111
Figura 90.	Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 3.	113
Figura 91.	. Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 3.	117
Figura 92.	Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 3.	121
Figura 93.	Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 3.	122
Figura 94.	Profundidades de inundación del tramo 1, obtenido del Arcgis.....	123
Figura 95.	Velocidades de flujo en el tramo 1, obtenido del Arcgis.....	124

Figura 96.	Perfil Longitudinal del dique izquierdo y nivel de superficie de agua con modelación.	129
Figura 97.	Zonas afectadas por la inundación desde la Presa Los Ejidos hasta el Puente Cáceres	130
Figura 98.	Zonas afectadas por la inundación desde el Puente Cáceres hasta el Puente Bolognesi	131
Figura 99.	Puente Independencia	132
Figura 100.	Sección del Puente a 362 m	132
Figura 101.	Existencia de terraza natural aguas abajo del Puente Independencia	134
Figura 102.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 de la Presa Los Ejidos	140
Figura 103.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Cáceres.....	140
Figura 104.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Sánchez Cerro	140
Figura 105.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Bolognesi	141
Figura 106.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Grau.....	141
Figura 107.	Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Independencia	141

Introducción

El día 27 de marzo del 2017, Piura sufrió el desborde del río Piura al pasar un caudal de 3 468 m³/s como consecuencia del Niño Costero, originando inundaciones en las zonas cercanas al río en Piura y Castilla por alcanzarse valores de nivel de agua por encima de los tableros de los puentes Sánchez Cerro, Cáceres e Independencia, así como la falla del dique izquierdo por desbordamiento en el Bajo Piura. Mediante la ampliación del puente Independencia y retiro del dique fusible se pretendió devolver al río parte de su cauce natural, así como evitar el represamiento del flujo del agua por la existencia del dique fusible.

La presente investigación analiza el comportamiento hidráulico del río Piura en el tramo comprendido entre La Presa Los Ejidos y el Puente Independencia, mediante la simulación de escenarios ante la presencia del FEN Costero 2017; permitiendo caracterizar el fenómeno ocurrido, así como evaluar el ensanchamiento del Puente Independencia y su implicancia en los puentes aguas arriba a éste.

Los resultados obtenidos se han exportado al Arc-Gis permitiendo su visualización en un mapa de inundación, siendo esta una herramienta encaminada a la prevención y planeación del territorio.

Los primeros tres capítulos de la investigación contextualizan el entorno de la investigación abordando temas de caracterización del Fenómeno El Niño, el río Piura y definiciones básicas de ingeniería fluvial.

Los siguientes tres capítulos abordan el tema de la modelación, la presentación de sus resultados mediante gráficas y mapas de inundación, y su correspondiente análisis de los resultados.

Finalmente, se emiten las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis realizado.

Capítulo 1

El fenómeno El Niño

El Fenómeno El niño (FEN), constituye el fenómeno natural más importante que sufre el norte del Perú, de manera especial el departamento de Piura, ya que por su ubicación geográfica se encuentra expuesta a lluvias estacionales entre los meses de enero a marzo, principalmente en las zonas alta y media de la cuenca; sin embargo, esta condición climática cambia ante la presencia del FEN al producirse lluvias en toda la región.

La zona del Bajo Piura es la que recibe mayor impacto ante las inundaciones producidas por el FEN, ya que constituye la parte más baja de la cuenca en donde se depositan todos los sedimentos que trae consigo el flujo del río, originando la elevación del nivel de agua y con ello los desbordes que afectan grandes áreas de cultivo, infraestructura y la vida de sus pobladores.

Las avenidas máximas que se han producido de manera recurrente en las últimas décadas han provocado inundaciones de manera reiterada en los distritos de Catacaos, Cura Mori, El Tallán, Bernal, Cristo Nos Valga, y Sechura, destruyendo grandes tramos del sistema de diques de encauzamiento existentes a lo largo del río Piura. Así mismo, las ciudades de Piura y Castilla también han sido afectadas negativamente por estas avenidas, dejando al descubierto la falta de un buen sistema de drenaje pluvial urbano.

Los FEN identificados con mayor impacto negativo entre los siglos XVIII y XX son los correspondientes a los años: 1578-1579, 1720, 1728, 1791, 1828, 1877-1878, 1891, 1925-1926, 1982-1983, 1997-1998 y el FEN Costero ocurrido en el año 2017. Es decir, FEN presentados cada vez con mayor frecuencia (Azurín, 2010).

En 1578, la población piurana se trasladó a Paita, en 1728 Sechura sufrió un maremoto e intensas lluvias, en 1791 y 1828 el río Piura destruyó parte de la ciudad, en 1891 la inundación ingresó a la plaza de Armas y las lluvias en Piura se prolongaron a 60 días alcanzando a tener el río Piura 150 m de ancho y 7 m de profundidad (el resto del año no pasaba de 30 m y 1 m respectivamente). Y en 1925 se obtuvo información meteorológica precisa registrándose 1200 mm de lluvias. Las avenidas máximas originaron grandes procesos de erosión en las partes altas y medias, y de sedimentación en la parte baja de la cuenca, bajando la pendiente, elevando el lecho del cauce y produciendo por consiguiente cambios en el curso del cauce e inundaciones de los pueblos y cultivos aledaños (Azurín, 2010).

1.1. Definición

El Fenómeno El Niño (FEN) es una alteración oceánico-atmosférica, la cual surge por la elevación de la temperatura del mar generado por el ingreso de aguas cálidas del Pacífico Occidental hacia el Pacífico Ecuatorial, por alteraciones de la presión atmosférica. Esto ocurre cuando los vientos alisios se debilitan, provocando que desde Indonesia y Australia lleguen a Sudamérica las aguas cálidas del Pacífico, desplazando de esta manera a las aguas tibias de la corriente peruana.

El término “El Niño” comprende los cambios en la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial central, así como los cambios de la presión atmosférica en el Pacífico, desde Australia (Darwin) hasta Tahití (Pacífico tropical central – oriental). Se declara FEN cuando existe un incremento de la temperatura del mar en 0,5 °C, por lo menos durante 5 meses consecutivos (SENHAMI, 2014).

El nombre "El Niño" tiene su origen en el siglo pasado, cuando los pescadores del puerto de Paíta, al norte del Perú, observaron el calentamiento de las aguas frías provenientes de la Corriente Peruana en fechas cercanas a las fiestas de navidad y los cardúmenes de peces huían hacia el sur, debido a una corriente caliente procedente del Golfo de Guayaquil. A este fenómeno le denominaron Corriente del Niño por el niño Jesús.

Entre las principales características que dan indicio a la gestación del fenómeno destacan:

- Incremento de la temperatura superficial del mar peruano.
- Incremento de la temperatura del aire en zonas costeras.
- Disminución de la presión atmosférica en zonas costeras.
- Vientos débiles.
- Disminución del afloramiento marino.
- Incremento del nivel del mar frente a la costa peruana.

Entre las consecuencias que trae consigo la ocurrencia de un FEN, destacan impactos negativos (inundaciones, desborde de ríos, migración de especies marinas, aumento de plagas, alteración de los ecosistemas marinos y costeros) y positivos (aumento de vegetación, aumento del volumen de agua en reservorios del norte, incremento del nivel de las aguas subterráneas).

1.2. Impacto del FEN 1982 – 1983 en la región Piura

El FEN de 1982-1983 hizo su aparición en diciembre de 1982 y se prolongó hasta junio de 1983. El incremento de la temperatura fue de 7,7 °C más de la temperatura normal.

En la parte baja de la cuenca del Río Piura, en los veinte años anteriores a 1983, la lluvia media anual era de 47 mm; sin embargo, con el Fenómeno El Niño de 1982-1983 la lluvia anual fue de 2 273 mm.

La descarga máxima registrada en la estación hidrométrica del Puente Sánchez Cerro fue de 3 200 m³/s, originando la destrucción del aliviadero fijo de la presa Los Ejidos en el mes de mayo de 1983, el desborde parcial del cauce e inundación de terrenos agrícolas y centros poblados en ambas márgenes del río a causa de la destrucción de 15,2 km de los diques construidos con materiales sueltos ubicados a orillas de la ciudad, ya que en aquel entonces el cauce no se encontraba protegido como en la actualidad por taludes revestidos de concreto (Alvarado & Ettmer, 2007).

La falla de los diques de encauzamiento se debió a la socavación del pie del talud y por socavación del fondo del río, se originó el ensanchamiento del cauce aumentando naturalmente su capacidad hidráulica y haciendo posible el paso del caudal máximo de 3 200 m³/s, cambiando de esta manera su topografía. Posterior a ello, se iniciaron los trabajos de reconstrucción de 1983 con un cauce hidráulicamente formado (UDEP-UNP, 2001).

En 1986 se reconstruyen los diques, otorgándoles protecciones contra socavación mediante un sistema de enrocado de protección de pie y espigones, puesto que el fenómeno de socavación o erosión local había sido la causa principal de la falla de los diques en aquel entonces (Alvarado & Ettmer, 2007).

1.3. Impacto del FEN 1997 – 1998 en la región Piura

El FEN de 1997-1998 hizo su aparición entre diciembre de 1997 y se prolongó hasta abril de 1998. El incremento de la temperatura fue de 5 °C más de la temperatura normal.

En la parte baja de la cuenca del Río Piura, la lluvia media anual era de 47 mm., en los veinte años anteriores a 1983. Sin embargo, con el Fenómeno El Niño de 1997-1998 la lluvia anual fue de 1 850 mm.

La descarga máxima registrada el 12 de marzo de 1998 en la estación hidrométrica del Puente Sánchez Cerro fue de 4 424 m³/s, descarga del río Piura nunca registrada superando a la de 3 200 m³/s registrada en el FEN de 1982-1983; sobrepasando de manera significativa los caudales de diseño de la protección contra inundaciones correspondiente a las zonas urbana y baja del río Piura. (UDEP-UNP, 2001).

El daño ocasionado por el FEN de 1997-1998 es mucho mayor al daño del FEN 1982-1983, a pesar de que este último fue de menor duración, debido probablemente a la presencia de un pico de avenida más alto, que sobrepasó todos los pronósticos, y a la creencia de que, con los trabajos de prevención efectuados se podía controlar el desastre. (Azurín, 2010).

Se puede afirmar por inspección ocular y por los datos de la topografía del cauce del río Piura en la zona urbana, antes y después del FEN 1998, que en la zona urbana el fenómeno principal presentado fue de erosión, mientras que en la zona aguas abajo de la zona urbana ocurrió sedimentación. (Azurín, 2010).

Debido a la existencia de la protección ribereña y las edificaciones en el tramo urbano, es que las orillas del río prácticamente no pueden ser erosionadas por lo que el río erosiona el fondo del cauce. Así también la característica de que en el tramo urbano existe un estrechamiento del río que provoca la existencia de velocidades mucho más altas en comparación con las velocidades aguas abajo y aguas arriba de este tramo. La combinación de estos parámetros provocó la erosión generalizada en el tramo urbano, respecto de otros tramos del río, mientras que el material erosionado en el tramo urbano fue depositado aguas abajo, en el tramo donde las velocidades y las fuerzas hidráulicas del río son menores y se establecen condiciones para la sedimentación (Azurín, 2010).

La Figura 1, muestra las zonas de falla de los diques en ambas márgenes durante las avenidas máximas de los FEN 1982-1983 y FEN 1997-1998, así mismo se puede observar el antiguo recorrido del río Piura con desembocadura en Sechura.

Los caudales ocurridos crecieron de manera paulatina durante el período que duró el FEN, permitiendo que cada caudal provoca una erosión correspondiente en el tramo urbano y forma la sección del flujo de agua en la zona urbana, cada vez más grande. Comparando los niveles del río Piura en ambos FEN: 1998 ($3\,500\text{ m}^3/\text{s}$) y en 1983 ($3\,200\text{ m}^3/\text{s}$), se puede concluir que el río tuvo los niveles de superficie de agua menores durante 1998 que 1983, lo que solamente puede explicarse como consecuencia de la erosión generalizada en el tramo urbano (Azurín, 2010).

El río Piura, además de la erosión generalizada en 1998, también soportó erosión local de manera especial aguas abajo de los puentes. Según las mediciones en la zona aguas abajo de los pilares del puente Cáceres, se detectaron zonas de erosión alta de varios metros de profundidad, que pusieron en peligro la seguridad del mismo puente. Estos impactos, junto con otros impactos hidrodinámicos, provocaron la caída de los puentes Bolognesi y Puente Viejo actualmente, conocido como Puente Sánchez Cerro (Azurín, 2010).

En el tramo urbano, una de las zonas más afectadas con estas inundaciones fue la correspondiente a la franja central de la ciudad a lo largo de las cuencas Ignacio Merino, El Chilcal y Japón, zonas donde las lluvias originaron que las viviendas se encuentren totalmente cubiertas por agua, así como sus principales vías de acceso ya que estas se encuentran emplazadas a lo largo de las cuencas naturales sin la debida protección y un sistema de evacuación adecuado, lo que las convierte en altamente vulnerables en períodos lluviosos (Azurín, 2010).

Luego de la ocurrencia del FEN de 1998, se busca una solución a la problemática de las inundaciones, por lo que por encargo de INADE junto al PECHP, el consorcio Class - Salzgitter elabora en el año 2001 el “Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura”, el cual plantea el mejoramiento de la capacidad hidráulica del río aguas abajo de la ciudad de Piura mediante la sobreelevación del sistema de diques existentes en el Bajo Piura,

teniendo en cuenta criterios internacionales aceptados cuando se trata de proteger áreas urbanas las obras de protección se diseñan con caudales para periodos de retorno de 100 años ($3\,750\text{ m}^3/\text{s}$) y para áreas agrícolas con caudales para periodos de retorno entre 10 y 25 años ($1\,700\text{ m}^3/\text{s}$ y $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$) (Azurín, 2010).

De acuerdo con el informe de Class – Salzgitter, la sedimentación afecta directamente la capacidad hidráulica del río Piura y conducirá en un futuro a un remanso aguas arriba de éste, originando que de los diques de defensa se sobreeleven de manera continua.

La capacidad máxima del cauce del río en el tramo Piura – Castilla es de $3\,900\text{ m}^3/\text{s}$. Por otro lado, el río Piura no cuenta en su cuenca alta con un sistema de control de avenidas que permita el control de estas antes de que lleguen a la ciudad de Piura. La represa Los Ejidos no tiene una capacidad reguladora y solo transporta los mismos caudales que llegan de la parte alta. (UDEP-UNP, 2001).

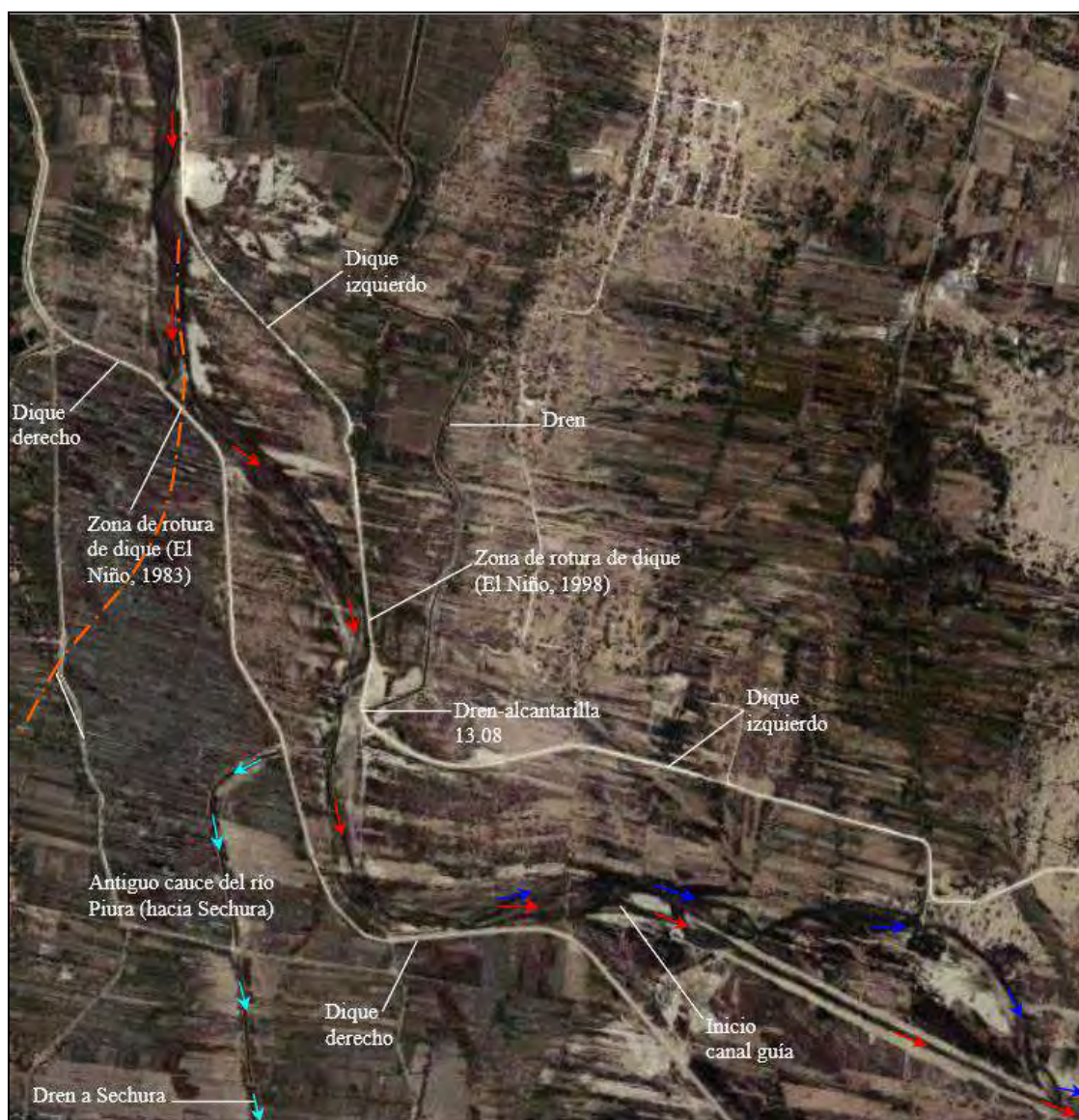


Figura 1. Fallas presentadas en los diques durante los FEN de 1982-1983 y 1997-1998.
Fuente: (Alvarado & Ettmer, 2007)

1.4. El FEN Costero 2017

1.4.1. Definición

El término FEN Costero tiene su origen formal en el año 2012 por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

Tal como se menciona en el Apartado 2.1, cuando ocurre un FEN extraordinario, la temperatura del agua del mar aumenta en toda la franja ecuatorial del Océano Pacífico hasta la costa norte de los Estados Unidos y los efectos se sienten en diversas partes del mundo; sin embargo cuando el calentamiento del mar se da solamente en las costas de Perú y Ecuador, las lluvias fuertes se restringen a esta zona, denominando a este evento como “El Niño Costero” (INGEMET, 2017).

La gestación del FEN Costero 2017 se registró de manera progresiva por el ENFEN, siendo emitido el primer comunicado el día 16 de enero en el que se manifestaba la probabilidad del 30% de existir un “Niño Costero débil” al producirse un aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) por encima de lo normal frente a la costa peruana. La condición de un Niño Costero débil continuó hasta la quincena de febrero, con la probabilidad de ocurrencia de lluvias fuertes; esta condición cambia en la quincena del mes de marzo otorgándose la denominación de “Niño Costero moderado” con alta probabilidad de la presencia de lluvias fuertes en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque hasta el mes de abril. Finalmente, en abril se da un último comunicado en el que se anuncia su presencia hasta fines del mes de mayo con lluvias de menor intensidad con respecto a la sucedidas en marzo (INGEMET, 2017).

El evento duró oficialmente entre los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Sin embargo, por sus impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento climático extremo se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú (ENFEN, 2017).

La Figura 2, muestra la comparación entre los caudales ocurridos durante FEN Costero 2017 y los de 1983-1984 y 1997-1998 registrados en la estación Puente Sánchez Cerro. En este se evidencia que los máximos caudales que ha soportado el río Piura han ocurrido durante el FEN de 1982-1983.

La Figura 3, ilustra las principales diferencias entre los FEN ocurridos en 1983-1984 y 1997-1998, y el FEN Costero 2017, entre las que destacan el proceso de calentamiento de las aguas superficiales del mar, las variaciones de temperatura a lo largo del año, las duraciones de las lluvias y las cifras de los impactos.

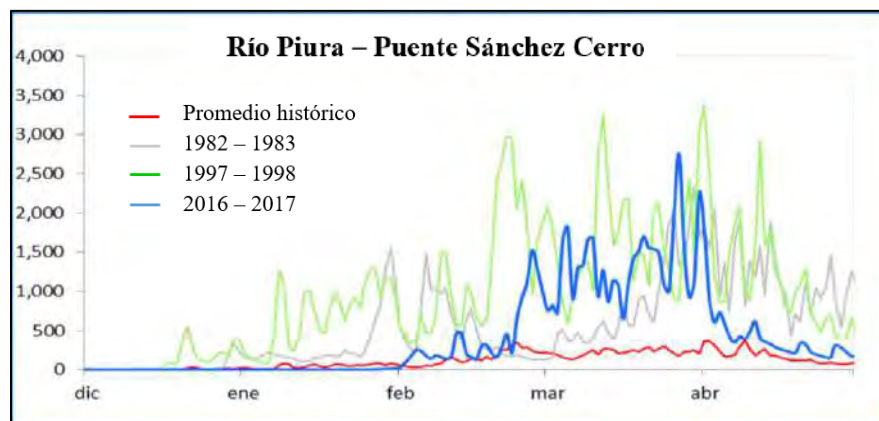


Figura 2. Caudales comparativos durante El Niño Costero 2017 con otros FEN.
Fuente: (ENFEN, 2017)

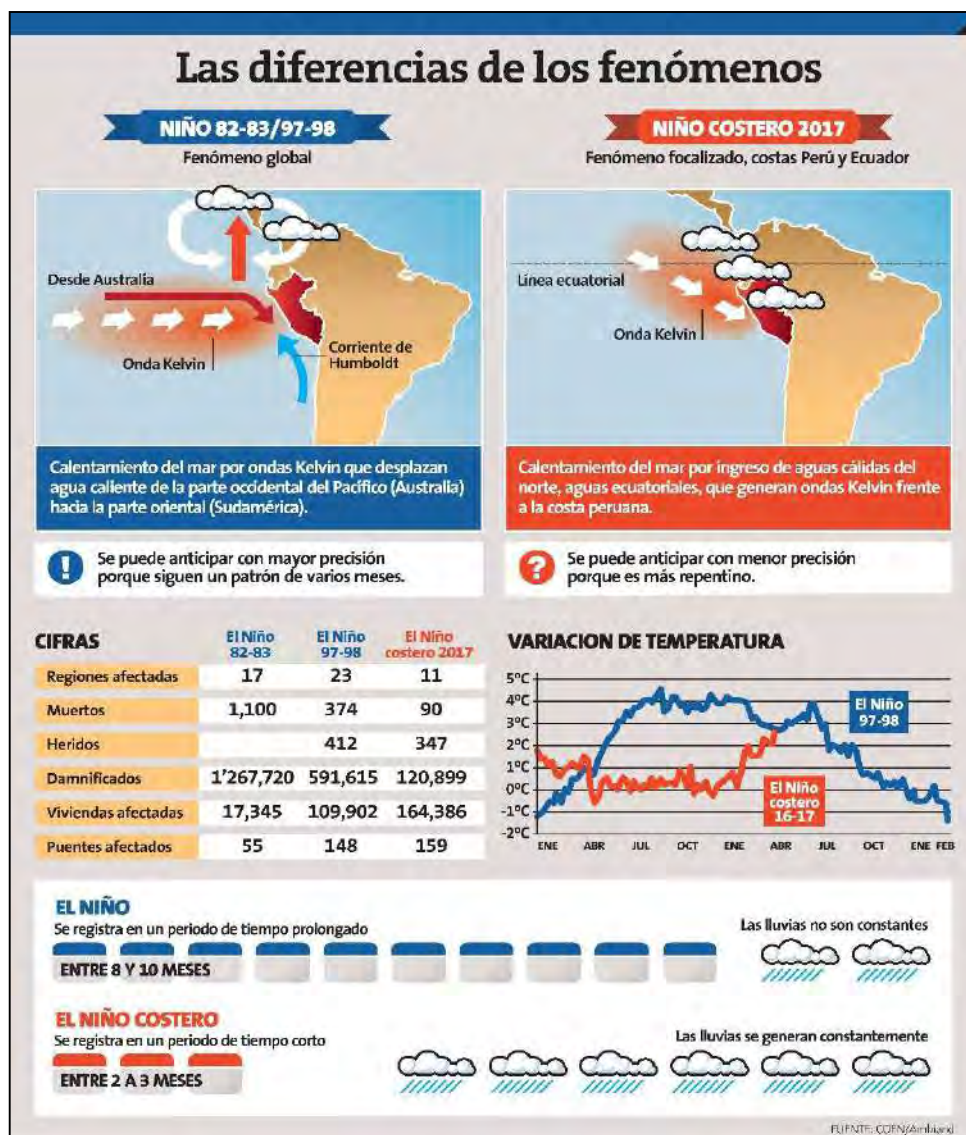


Figura 3. Diferencias entre El Niño costero 2017 con FEN de 1982-1983 y 1997-1998.
Fuente: (Diario Perú 21, 2017)

1.4.2. Impactos del FEN Costero en los tramos en estudio

Las lluvias de mayor intensidad en Piura se dieron en el mes de marzo, de manera especial la sucedida el 26 de marzo, con una duración de 15 horas de lluvia, es decir se prolongó hasta el 27 de marzo, día en el que al transcurrir un caudal de $3\,016\text{ m}^3/\text{s}$ se desborda el río Piura inundando gran parte de las ciudades de Piura y Castilla, y centros poblados del Bajo Piura, así como grandes hectáreas de cultivo. El máximo caudal registrado en la Presa Los Ejidos fue el de $3\,468\text{ m}^3/\text{s}$, cifra muy lejana a los caudales registrados en los FEN de 1983-1984 y 1997-1998 en los que se registraron $3\,200\text{ m}^3/\text{s}$ y $4\,424\text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

En el tramo urbano se inundaron de las principales calles del centro de Piura, así como las calles cercanas a los márgenes del río (Urb. Los Cocos del Chipo, Urb. Quinta Ana María, Urb. Santa Isabel, Urb. Santa María del Pinar, Urb. Miraflores, El Indio), en algunos casos por la falla de los muros de contención en ciertas zonas (Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7).

En el Bajo Piura, se inundaron las localidades de Catacaos, Cura Mori y Sechura por la rotura del dique izquierdo en 7 puntos.



Figura 4. Plaza de Armas de la ciudad de Piura inundada el día 27 de marzo del 2017.
Fuente: (Saucedo, 2017)



Figura 5. Falla de muros de contención en el margen izquierdo del río Piura, inmediatamente aguas arriba del Puente Cáceres.
Fuente: (Ortega, 2017)



Figura 6. Falla de muros de contención en el margen derecho del río Piura, Calle Huancavelica.
Fuente: (Ortega, 2017)



Figura 7. Falla de muros de contención en el margen derecho del río Piura, inmediatamente aguas arriba del Puente Sánchez Cerro.
Fuente: (Ortega, 2017)

El FEN Costero se caracteriza por presentar lluvias de moderada intensidad en un período corto de tiempo, por lo que en el año 2017 el río Piura no fue capaz de erosionar paulatinamente el fondo de su cauce como naturalmente sucede ante la presencia de FEN extraordinarios; por lo tanto, los niveles de sedimentación en el Bajo Piura generaron una obstrucción en el cauce, la cual se manifestó hasta el tramo urbano, y en consecuencia el nivel de agua fue mayor para el caudal de 3 468 m³/s en comparación con los niveles de agua registrados para los caudales de FEN anteriores.

Las causas que originaron el desborde del río según especialistas de la región fueron los siguientes:

- Con el transcurso de los años, el río Piura ha perdido pendiente por la sedimentación y el coeficiente de rugosidad se ha modificado, por lo que el río ha cambiado de cotas desde el año 1998 en el que su fondo se ubicaba en la cota 16,52 msnm y la altura de la superficie del agua en 28,20 msnm; mientras que, en el año 2017, la cota del fondo se ubicó en 20,82 msnm y la superficie del agua en la cota 31,60 msnm.
- A causa de la sedimentación, el río perdió su capacidad hidráulica. Además, en su cauce principal y llanuras de inundación, se presentó densificación de la vegetación riparia especialmente de la especie Tamarix.
- Incremento del coeficiente de rugosidad que generó la disminución de la velocidad, elevación del tirante y disminución del transporte de sólidos.
- Deficientes trabajos de prevención, que priorizaron la descolmatación del tramo puente Bolognesi – Los Ejidos y Puente independencia – Laguna Ramon, dejando un tramo central puente Bolognesi - Puente Independencia sin limpiar ni descolmar.
- La protección de cable concreto ubicada en ambos márgenes del Puente San Miguel, impidió que el río erosione completamente el cauce aguas arriba y abajo del mismo.
- No se hizo mantenimiento del sistema de protección contra inundaciones en los tramos críticos.

1.4.2.1. Impacto en puentes

En el tramo urbano, el agua se desbordó por el Puente Cáceres al superar la cota de su tablero (30,50 msnm) en 1,80 m aproximadamente, lo mismo ocurrió con el Puente Sánchez Cerro e Independencia en el que la superficie del agua logró sobrepasar su tablero.

La Tabla 1, muestra los niveles de superficie de agua medidos in situ en ciertos puentes del tramo urbano, el día de la avenida máxima de 3 468 m³/s,

y las Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11, muestran a los puentes del tramo urbano en estudio el mismo día del desborde.

Tabla 1. Cotas de la superficie de agua el día 27 de marzo del 2017

Puentes	Cota de agua el 27/03/2017 (msnm)
Puente Cáceres	32,30
Puente Bolognesi	29,70
Puente Independencia	24,55

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Ing. Jorge Reyes Salazar.

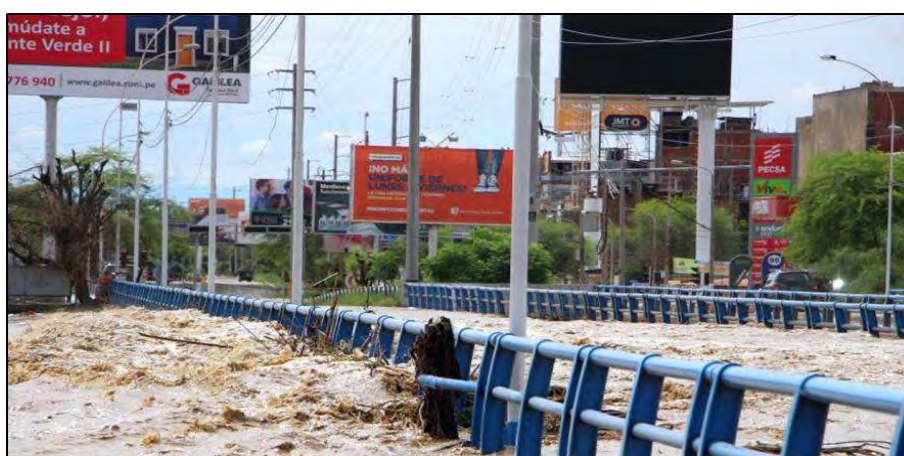


Figura 8. Puente Cáceres el día 27 de marzo del 2017.

Fuente: (Diario El Comercio, 2017)



Figura 9. Puente Sánchez Cerro en el FEN Costero 2017.

Fuente: (Diario El Comercio, 2017)



Figura 10. Puente Bolognesi el día 27 de marzo del 2017.
Fuente: (Diario El Comercio, 2017)



Figura 11. Puente Independencia en el FEN Costero 2017.
Fuente: (Diario El Comercio, 2017)

1.4.2.2. Roturas en el dique izquierdo

El día 27 de marzo del 2017, en el que sucedió la avenida máxima, los diques de encauzamiento fallaron por desborde e inundaron grandes áreas de poblados y cultivos. Las roturas sucedieron en varias localidades de los distritos de Catacaos (Simbilá, Viduque, Narihualá, Pedregal Chico, Molino Azul) y Cura Mori (Chato Chico, La Bruja, San Antonio). En la Figura 1.16, se puede visualizar la ubicación de las roturas identificadas con erosión a lo largo de ambos diques.

La Tabla 1.2 muestra la ubicación de los puntos de rotura en progresivas con respecto al eje del dique izquierdo, así como la forma en la que fueron reparados temporalmente.

Tabla 2. Sectores del dique izquierdo afectados por avenidas máximas del Río Piura 2017.

PUNTOS DE ROTURA DEL DIQUE IZQUIERDO						
Ubicación	Progresiva con respecto al eje del dique (km)	Coordenada UTM		Tipo de Falla	Longitud (m)	Observación
		N	E			
Simbilá	6+400,00	538056	9420062	Falla controlada	150	Se pudo controlar con rocas y sacos de arena
Viduque	8+120,00	536769	9419195	Rotura por desborde	80	Sellada con relleno, geomembrana, roca y sacos de arena
Narihualá	13+450,00	533671	9415159	Rotura por desborde	80	Sellada con arena limosa compactada
Pedregal	14+620,00	533458	9414256	Rotura por desborde	80	Sellada con arena limosa compactada y geobolsas
Molino Azul	16+100,00	533586	9412867	Rotura por desborde	80	Rotura abierta

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el PECHP.



Figura 12. Rotura del dique izquierdo en la localidad de Simbilá.

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Rotura del dique izquierdo en la localidad de Viduque.
Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Rotura del dique izquierdo en la localidad de Narihualá.
Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Rotura del dique izquierdo en la localidad de Molino Azul.
Fuente: Elaboración propia

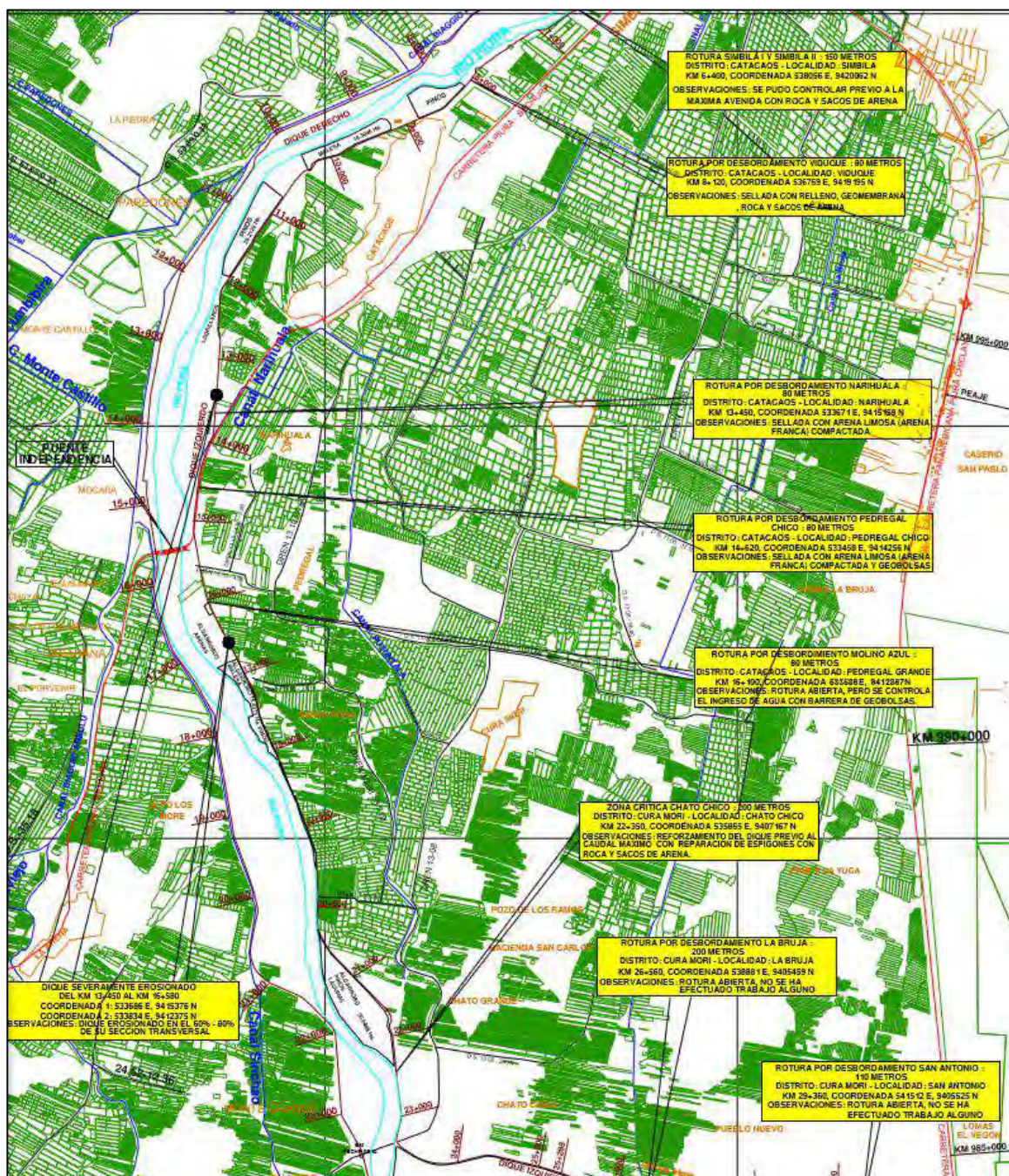


Figura 16. Ubicación de las roturas en el dique izquierdo a causa del FEN Costero 2017.

Fuente: (PECHP, 2017)

1.4.3. Medidas tomadas post FEN Costero 2017

Posterior al FEN Costero 2017, se iniciaron los trabajos de reconstrucción principalmente en el Bajo Piura, de manera especial destacan los siguientes:

1.4.3.1. Rehabilitación de diques de defensa

Los trabajos de rehabilitación de los diques de defensa del Bajo Piura comprenden:

a) La rehabilitación del dique derecho del río Piura, entre el km 0+000 al km 38+500.

Corresponde a los distritos de Piura, Catacaos, La Arena, El Tallán, Bernal, Cristo Nos Valga, en las localidades de La Legua, Alto Los More, Canizal el Tallán, Sinchao, Piedral, Pozo Oscuro, Cristo Nos Valga.

b) La rehabilitación del dique izquierdo, entre el km 0+000 al km 30+400.

Corresponde a los distritos de Castilla, Catacaos y cura Mori, en las localidades de Castilla, Simbilá, Catacaos, Narihualá, Pedregal y Chato Chico.

La rehabilitación de los diques consiste principalmente en:

- Desbroce y eliminación de la vegetación en los taludes del dique.
- Reconformación del dique con material de cantera (impermeable) y perfilado de los taludes.
- Reposición de la roca en las zonas erosionadas y reposición de espigones con roca.
- Reposición de la corona del dique con afirmado.
- La rehabilitación de los diques no comprende subir la cota de la corona, mantienen sus características anteriores a la inundación y desborde.

1.4.3.2. Ensanchamiento del Puente Independencia

El Puente Independencia se encuentra ubicado en la red vial nacional PE-001NK, que conecta con las provincias de Piura, Sechura y Bayóvar, la longitud del puente es de 227,50 m comprendida en 9 tramos. El puente se encuentra ubicado, con respecto a la dirección del flujo del río Piura en un lugar extremadamente vulnerable, sobre todo por la margen izquierda por donde se han evidenciado desbordes ante la presencia de máximas avenidas.

La superestructura está conformada por vigas de concreto postensado con tramos simplemente apoyados, la subestructura está conformada por pilares y estribos de concreto armado de cimentación profunda.

Durante el FEN Costero 2017, la capacidad hidráulica del Puente Independencia quedó insuficiente, como consecuencia de ello las aguas del

río Piura sobrepasaron el tablero del puente. Por tal motivo durante la reconstrucción se realizaron trabajos de ampliación del puente en la margen izquierda, colocando para ello tres tramos de puente modular logrando un ancho total de 362 metros.

El estrangulamiento del río en la margen izquierda del sector del puente Independencia tuvo un efecto importante para la magnitud de los daños en ese sector. El terraplén de acceso al puente se encuentra en el cauce del río por lo que obstaculiza el flujo, restando capacidad de descarga en ese sector. Esto produjo un remanso aguas arriba que influyó en el aumento de los niveles de agua y altas velocidades en los vanos del puente creando efectos laterales y fenómenos de erosión sobre el dique izquierdo.

En las Figura 17 y Figura 18 se muestra un antes del Puente Independencia con un ancho de 227,50 m y un después con un ensanchamiento a 362 m con la instalación del puente modular. Así mismo, se logra visualizar en la Figura 1.17 la existencia del dique fusible en el margen izquierdo del mismo puente, y en la Figura 1.18 el retiro de este.

La Figura 19 corresponde al estado del margen izquierdo del río pocos meses después de haberse instalado el puente modular. Como se evidencia, la terraza que se encuentra aguas abajo del mismo Puente Independencia no ha sido retirada; por lo tanto, aún existe estrangulamiento del cauce.



Figura 17. Puente Independencia antes de su ensanchamiento (con 227.50 m de longitud).

Fuente: (ARCC, 2018)



Figura 18. Puente Independencia ensanchado a 362 m
Fuente: (Diario El Comercio, 2018)



Figura 19. Terrazas del margen izquierdo del río ubicadas aguas abajo del Puente Independencia ensanchado mediante puente modular.
Fuente: Elaboración propia

1.4.3.3. Descolmatación del cauce del Río Piura

Los trabajos de descolmatación del río Piura, comprenden 117 km de río dotándole de un desnivel al cauce hacia la Pampa Las Salinas (ubicada en la cota 0 msnm).

Se distinguen los siguientes tramos:

- Tramo I: Desde laguna La Niña hasta la Laguna Ramón.
- Tramo II: Desde la Laguna Ramón hasta el Sector Cordillera.
- Tramo III: Desde el Sector Cordillera hasta el Puente Independencia
- Tramo IV: Desde el Puente Independencia hasta el Puente Bolognesi.

- Tramo V: Desde el Puente Bolognesi hasta la Presa Los Ejidos.
- Tramo VI: Desde la caída Curumuy hasta Cahapairá.
- Tramo VII: De los sectores La Peñita – Tambogrande – Curvan – Malingas.
- Tramo VIII: De los sectores Puente Nácara, Puente Carrasquillo, Puente Buenos Aires, Puente Salitral.

Las actividades de descolmatación consisten en la excavación, extracción y eliminación del material colmatado y sedimentado en el cauce del río, con maquinaria pesada para el arrimado del material sedimentado o excavado hacia las márgenes derecha e izquierda desde el eje del río, en una distancia mínima de 50 m respectivamente. El material, sobrante deberá ser eliminado en botaderos o lugares que se permita dicha acción.

Del mismo modo, los trabajos de reconstrucción incluyen:

- Rehabilitación – Descolmatación del Dren DS-13-08 en el Valle del Bajo Piura (desde el km 0+000 hasta el km 54+700).
- Descolmatación del Dren Sechura en el Valle del Bajo Piura (desde el km 0+000 hasta el km 67+500).
- Reconstrucción de las defensas ribereñas en ambas márgenes del río, entre la Presa Los Ejidos y el futuro Puente Integración (a ubicarse a la altura de la Av. Don Bosco de la ciudad de Piura).

Capítulo 2

El río Piura

2.1. Ubicación

La cuenca del río Piura pertenece a la región Piura, al norte del Perú. Comprende políticamente 5 provincias con 29 distritos: provincia de Huancabamba (Huarmaca, San Miguel del Faique, Canchaque y Lalaquiz), provincia de Morropón (San Juan de Bigote, Salitral, Buenos Aires, Chalaco, Santo Domingo, Yamango, Santa Catalina de Mossa, Morropón, La Matanza y Chulucanas), Ayabaca (Frías), provincia de Piura (Tambogrande, Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena, La Unión y El Tallán), provincia de Sechura (Bernal, Vice, Rinconada Llicuar, Bellavista, Cristo Nos Valga y Sechura).

Geográficamente, se encuentra ubicada entre los paralelos 4°42' y 5°45' de latitud Sur, y entre los meridianos 79°29' y 81°00' de longitud Oeste. Su espacio geográfico corresponde a la zona 17 del Esferoide Internacional, con coordenadas UTM: 9'351,196.25 a 9'477,038.59 Norte y 493,547.49 a 676,699.89 Este.

Tiene una longitud total de 280 km y una superficie aproximada de la cuenca de 12,216 km², desde su nacimiento a 3 700 msnm y su desembocadura en la laguna Ramón (Pampa Las Salinas) a 5 msnm.

2.2. Zonificación de la cuenca del río Piura

La cuenca del río Piura está determinada por dos grandes áreas fisiográficas (INGEMMET, 1994):

- a) **Zona Medio y Bajo Piura**, la de mayor extensión y de pendiente muy suave. Comprende pequeños cauces erráticos de quebradas secas que se activan únicamente ante la presencia del fenómeno “El Niño” y por un curso amplio del río principal que con el tiempo ha cambiado su lugar de desembocadura.
- b) **Zona Alto Piura**, conformada por el macizo de la Cordillera Occidental, con valles interandinos de topografía accidentada, con fácil definición del divortium aquarum o la divisoria de aguas, constituida por las cuencas de los ríos Huancabamba, Quiroz y Chipillico.

De acuerdo con la percepción para la gestión de los recursos hídricos, se ha convenido en zonificar a la cuenca de la siguiente manera:

Zona Baja, desde la desembocadura en el mar hasta el territorio comprendido en la cota 50 msnm. Es caracterizada por la presencia de escasas precipitaciones (menores a 100 mm anuales). Con vegetación típica de un bosque seco, de relieve plano y de clima cálido y seco.

Zona Media, corresponde al territorio comprendido entre las cotas 50 y 350 msnm. De relieve ondulado. Caracterizada por la presencia de precipitaciones que oscilan entre 100 y 500 mm anuales. Con vegetación típica de un bosque seco, y de clima seco.

Zona Alta, corresponde al territorio comprendido entre los 350 y 3 650 msnm. De topografía abrupta, con ríos de altas pendiente y valles en forma de “V”. Caracterizada por la presencia de precipitaciones que oscilan entre 500 y 1 200 msnm. Con vegetación propia de un bosque seco en las partes bajas y vegetación con arbustos en los páramos, con clima que varía de templado a sub-húmedo.

La Figura 20 se muestra la zonificación de la cuenca del río Piura, tal como ha sido descrita anteriormente.

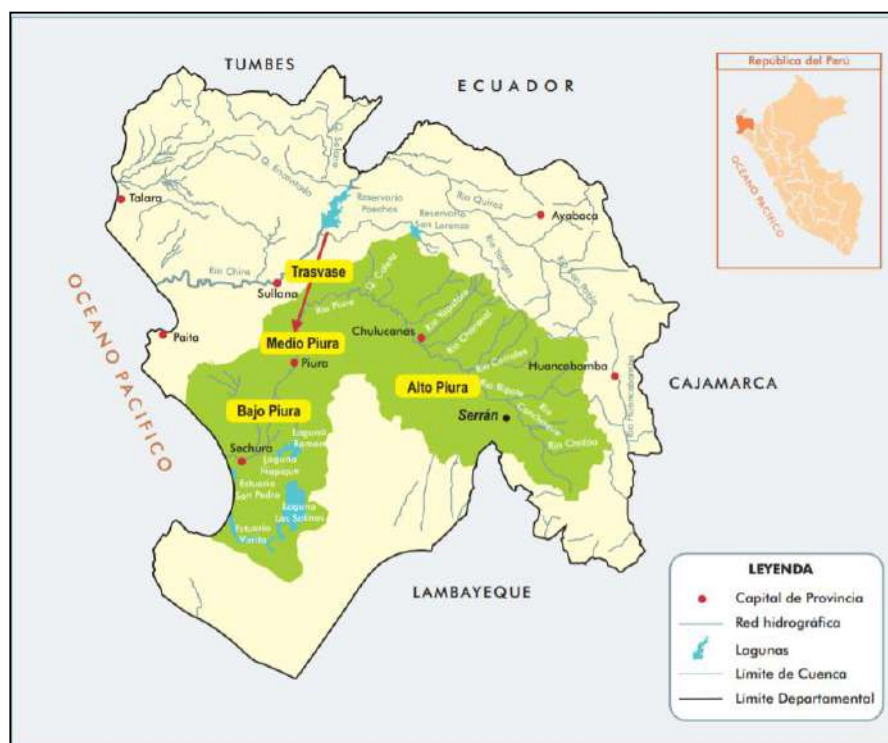


Figura 20. Zonificación de la Cuenca del Río Piura
Fuente: (ANA, 2009)

2.3. Morfología del río Piura

2.3.1. Desarrollo del cauce principal

En el pasado, el río Piura no tenía un solo cauce definido, sino que existían varios cauces con dirección oeste y convergían cerca de la ciudad de Sechura desembocando en el Pacífico, lo cual era un indicativo que la salida principal del río era en esa dirección.

Hacia el siglo XX, al existir la necesidad de asegurar las áreas de riego contra inundaciones en el Bajo Piura, el cauce principal del río Piura fue dirigido paulatinamente hacia la denominada Laguna Ramón. Este proceso fue acelerado a partir del año 1954, cuando se concluyen las obras de derivación del río Quiroz hacia el río Chipillico, para derivarlas al río Piura por medio de la quebrada San Francisco, mientras se llevaba a cabo la irrigación de San Lorenzo.

En el año 1976, como parte del desarrollo de la primera etapa del Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), se reforzaron los diques existentes con la finalidad de disminuir los riesgos de inundación en las zonas bajas de la cuenca, y posteriormente en 1985 como parte de la tercera etapa del Proyecto se ejecutaron los diques de encauzamiento, que con un distanciamiento entre ellos de 500 m a 800 m, permiten que las aguas excedentes y de avenidas se dirijan a la Laguna Ramón, que en su cauce final no corresponde a la condición natural de salida del río Piura modificando su morfología.

Posteriormente, después de la ejecución de los diques con distanciamientos definidos entre ambos márgenes, se presentaron avenidas siendo las mayores las ocurridas en el FEN 1998, las que originaron nuevas condiciones morfológicas en el río.

La laguna Ramón se conecta con la Laguna Ñapique, cuando ambas lagunas se llenan durante el fenómeno de El Niño, el agua rebasa y se dirige hacia el oeste mediante un cauce natural, el cual conecta con la Laguna Las Salinas o “La Niña”, la cual se conecta finalmente con el Estuario de Virrilá.

La laguna “La Niña” se forma excepcionalmente en presencia de FEN como los ocurridos en 1997-1998, 2008 y 2017. Actualmente, con la ocurrencia del FEN Costero 2017 la laguna se encuentra colmatada.

En la Figura 21 se observa de color rojo el recorrido del río Piura desde su cuenca altoandina, formando las lagunas Ramón, Ñapique y La Niña en la zona baja de la cuenca, hasta el estuario de Virrilá como parte del recorrido de su antiguo cauce por la ciudad de Sechura, actualmente convertido en un dren.

En la Figura 22 se observa de color verde el recorrido del río Piura en la zona baja de la cuenca, hasta la laguna La Niña como parte del recorrido actual.



Figura 21. Desembocadura antigua del río Piura
Fuente: (Alvarado & Ettmer, 2001)



Figura 22. Desembocadura actual del río Piura
Fuente: (Alvarado & Ettmer, 2001)

2.3.2. Características morfológicas

Las características morfológicas del río Piura están influenciadas por el alineamiento de los diques de defensa, presentándose condiciones de un río aluvial con presencia de meandros cambiantes.

Aguas abajo de la Presa derivadora Los Ejidos, la que sirve para derivar las aguas requeridas para el riego y poblaciones en el Bajo Piura, el régimen del río es en toda su longitud hasta la desembocadura de la Laguna La Niña antropogénico, influido, no sólo por el encauzamiento, sino también por los cambios en el régimen hidrológico.

En la zona urbana, el cauce del río se encuentra canalizado no teniendo libertad lateral siendo el fondo su única forma de desarrollo. Aguas abajo de la zona urbana hasta el Puente Independencia, el río forma un cauce principal el cual es limitado en algunas zonas por terrazas laterales, las cuales en su mayoría tienen desarrollo agrícola.

En cuanto al cauce en planta del río Piura, éste llega con un ancho de 210 m en la sección de la Presa Los Ejidos, después de 2,8 km de recorrido llega al Puente Cáceres con un ancho aproximado de 140 m, observándose un estrangulamiento del río al ingreso a la ciudad. Recorre una longitud de 1,2 km hacia el Puente Sánchez Cerro en donde tiene un ancho de 118 m y después de 0.8 km hacia el Puente Bolognesi donde posee un ancho de 145 m.

Aguas abajo del Puente Bolognesi, se tiene un ancho promedio entre los diques de la margen derecha y margen izquierda de alrededor de 600 m; sin embargo, existen zonas características y anchos diferentes que modifican la morfología de cierta manera.

Se produce un estrechamiento en el sifón del cruce con el canal Biaggio Arbulú en donde se alcanza un ancho de 306,50 m para luego continuar con el Puente Grau y mantener el ancho promedio de 600 m hasta 2 km aguas abajo del Puente Independencia, para posteriormente abrirse nuevamente en un ancho de 800 m, hasta el final del dique izquierdo. En este último puente, se reduce el cauce de 262 m hasta 168 m de ancho inmediatamente aguas abajo del mismo puente por la existencia de terrazas en el margen izquierdo.

La zona del río Piura corresponde desde el punto de vista geomorfológico a un valle aluvial, perteneciente al cuaternario reciente y pleistocénico, conformado por materiales areno-limo-arcilloso, depositados en el transcurso del tiempo por los diferentes cauces que discurrían en el área. Fuera de las terrazas aluviales, predominan también los depósitos eólicos.

Se considera un relieve casi plano al poseer pendientes que varían entre 0% y 3%.

En la Tabla 3 se caracteriza al cauce del río Piura de acuerdo con los factores propuestos por Lagasse “Stream Stability of Highway Structures” en 1995.

Tabla 3. Caracterización del río Piura por factores

Factor	Características
Tipo de valle	Casi ningún relieve, prácticamente plano
Áreas de inundación	Amplias, mayor que 10 veces el ancho del cauce.
Sinuosidad	1,4
Variabilidad del ancho	Irregular.
Material de las orillas	Aluvial (arena, limo y arcilla).
Material del fondo	En general aluvial (arena, limo y arcilla), en pocas secciones material más grueso y duro.
Entrelazamiento del cauce	Debido al encauzamiento, impedido en la parte superior; desarrollado en la parte media e inferior.

Fuente: (PECHP - Class-Salzgitter, 2001)

2.4. Descripción del área de estudio

Para la presente investigación se estudiará el tramo comprendido entre La Presa Los Ejidos y 700 m aguas abajo del Puente Independencia, perteneciente a la zona baja, en una extensión de 21 km de río; tal como se muestra en la Figura 23 y en el Anexo A.

2.4.1. Generalidades

En relación con las progresivas que se mencionan en la presente investigación, se ha aplicado la siguiente nomenclatura:

- Si las progresivas se refieren a un dique de una sola margen; es decir, al dique izquierdo o al derecho, las progresivas significan las distancias desde el eje del dique siendo su origen en 0+000,00 km correspondiente al Puente Bolognesi, y la ubicación en cuestión.
- Si las progresivas se refieren a una sección transversal del río, se ha dividido el tramo total del estudio en:

Tramo 1: Presa Los Ejidos – Puente Bolognesi, o tramo urbano del río Piura.

Tramo 2: Puente Bolognesi – aguas abajo del Puente Independencia (0+000,00 km), o tramo encauzado del río Piura.

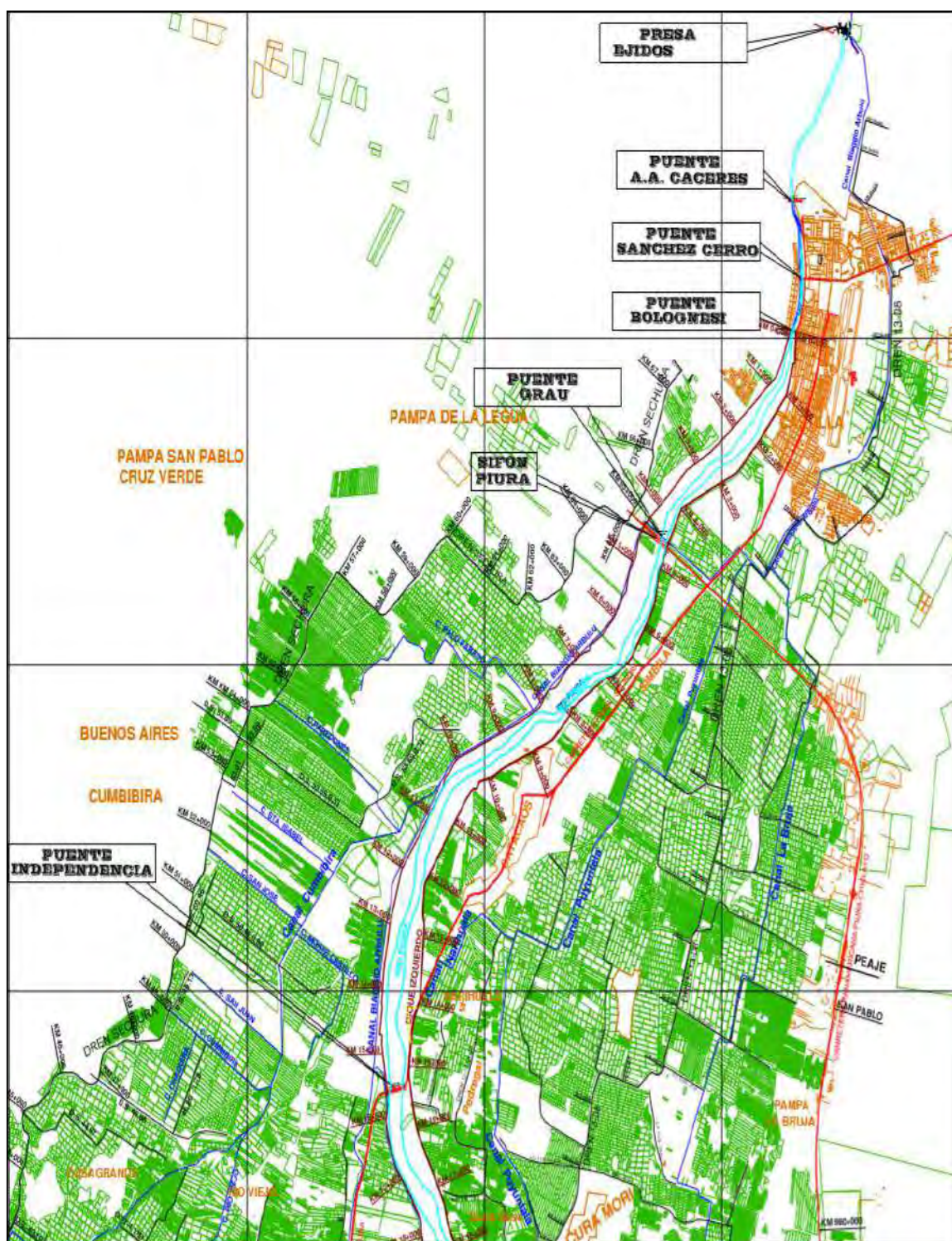


Figura 23. Tramo en estudio
Fuente: (PECHP, 2017)

2.4.2. Obras hidráulicas en el tramo de estudio

Entre las obras que abarca el tramo en estudio destacan:

2.4.2.1. Presa derivadora Los Ejidos

Es una obra ejecutada en la segunda etapa del Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), concluida en el año 1985, con la finalidad de captar las aguas provenientes de Poechos y del río Piura para derivarlas por el canal Biaggio Arbulú, y poder irrigar el Valle del Bajo Piura.

A causa del FEN de 1983 el vertedero fijo fue erosionado y su caudal de diseño posterior a ello fue el de 3 200 m³/s, correspondiente a la avenida máxima presentada; sin embargo, en el año 1998 soportó un caudal de 3 500 m³/s y en el año 2002 un caudal de 3 645 m³/s, estimándose que la capacidad máxima a soportar es de 3 750 m³/s, con una cota máxima de abertura de las compuertas de 33 msnm. (UDEP-UNP, 2001).

2.4.2.2. Puentes

- Puente Cáceres
- Puente Sánchez Cerro
- Puente Bolognesi
- Puente Grau
- Puente Independencia

2.4.2.3. Sistema de defensas contra inundaciones

La finalidad de las obras de defensa es la de proteger contra las inundaciones del río Piura durante las avenidas, las áreas urbanas y el área agrícola del Bajo Piura en una extensión total de alrededor de 40 400 ha, la misma que incluye toda la infraestructura de canales de riego, caminos y sistema de drenaje.

Entre 1981 y 1986 se ejecutaron las obras de defensa del Bajo Piura, las cuales en su mayoría sufrieron daños, principalmente por las avenidas ocurridas en los FEN de 1997-1998, por lo que se llevó a cabo un estudio integral de rehabilitación y reconstrucción de las defensas para su implementación.

El sistema de defensa contra inundaciones en el Bajo Piura consiste en los siguientes sectores:

a) Entre la Presa derivadora Los Ejidos y la salida del río de la zona urbana de Piura aguas arriba del puente Bolognesi.

Las protecciones ribereñas de la zona urbana de Piura y Castilla fueron construidas en 1984 debido al impacto socioeconómico que originaron las inundaciones de tal época.

Antes a 1983, solo se contaba con un sistema de diques provisionales ubicados en ambas márgenes del río, con una altura no mayor a dos metros y diseñadas para un período de retorno de cinco años. Con un caudal máximo de 3 200 m³/s en el FEN de 1983, sufrieron erosión y socavación, ensanchando el cauce y destruyéndolos.

A causa de lo anteriormente descrito, en 1984 se elabora el Estudio Definitivo para la reconstrucción del Sistema de defensas contra inundaciones en el Bajo Piura, incluyendo el tramo aguas abajo de la presa derivadora Los Ejidos hasta el puente Bolognesi, en una longitud aproximada de 5 km.

El estudio define las acciones de reconstrucción en:

- Elevación de los niveles de las orillas del cauce del río, mediante la construcción de un sistema de diques y estructuras como muros de contención.
- Revestimiento de taludes de la orilla del cauce y de los diques con losas de concreto.
- Protección del talón del revestimiento de taludes con losas de concreto contra la erosión y socavación, con tablestacas de concreto en los tramos donde el fondo del cauce sea de material aluvial (arenas y limos, sujetos a erosión y socavación); generalmente a lo largo de la orilla derecha. En los tramos con formación zapallal en el fondo del cauce, el talón de revestimiento se ha apoyado directamente en este material; generalmente a lo largo de la orilla izquierda.
- Colocación de parapetos de concreto en borde superior de los taludes de defensa para separar el cauce del río de las pistas, y del tránsito peatonal y vehicular.

El tramo aguas arriba del puente Cáceres hasta la Presa Derivadora Los Ejidos, carece de cualquier tipo de defensa contra inundaciones, debido a que el proyecto no lo consideró.

b) Entre el tramo comprendido aguas abajo del puente Bolognesi hasta la desembocadura del río Piura a la laguna La Niña

El sistema de defensas contra inundaciones del Bajo Piura consiste en diques longitudinales de tierra ubicados en ambos márgenes del río, desde el Puente Bolognesi hasta la Laguna Ramón; dispuestos de la siguiente manera:

- El dique de la margen izquierda tiene aproximadamente 30,4 km (25,5 km construidos en la I Etapa del Proyecto Especial Chira Piura y 5,9 km construido por el Ministerio de Agricultura y Riego) iniciando en el puente Bolognesi hasta la Panamericana Norte. Los diques fueron construidos entre los años 1972 -1978 y tras los FEN de 1983 y 1998 se reconstruyeron y reforzaron las defensas ribereñas buscando encauzar el río y proteger contra inundaciones en el Bajo Piura.
- El dique de la margen derecha inicia en la progresiva 0+000,00 ubicada en el Puente Bolognesi y continúa hasta la progresiva 37+880, en el centro poblado de Guadalupe, empalmando a una zona de terreno natural alto.
- 5 km de diques de cierre al borde de las lagunas Ramón y Ñapique.
- 11,24 km de protecciones de talud en el dique derecho y 4,50 km. en el dique izquierdo.
- 309 espigones para la protección del dique derecho y 204 para el dique izquierdo.

Fueron construidos como parte de la segunda etapa del Proyecto Especial Chira Piura entre los años 1981 y 1985; sin embargo, con la ocurrencia de avenidas máximas se han ido deteriorando y finalmente colapsado por fallas de socavación o erosión local de manera importante en el FEN de 1983, por lo que en 1986 fueron reconstruidos, dotándoles de protecciones contra la socavación mediante enrocados de protección de pie y espigones.

Constan de una pantalla impermeable, con uña antisocavante en la cara húmeda que sirve además como protección de pie de talud y un terraplén de material común en la cara seca, tienen protecciones en los tramos críticos con espigones de gaviones.

De acuerdo con el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas contra Inundaciones en el Bajo Piura (2001), los diques existentes han sido diseñados con los siguientes parámetros:

- Entre el Puente Bolognesi y aproximadamente el Puente Grau con un caudal de 2 800 m³/s correspondiente a un período de retorno de 50 años, para determinar la cota de la corona de los diques en ambas márgenes.
- Entre el puente Grau y la toma Shaz (aguas abajo de la ciudad de Catacaos), con un caudal de 2 300 m³/s correspondiente a un período de retorno de 25 años.
- Aguas abajo de la toma Shaz hasta la desembocadura del río en la Laguna Ramón, con un caudal de 1 700 m³/s, correspondiente a un período de retorno de 10 años.
- Para el dique izquierdo se adoptó un borde libre de 0,60 m y para el dique derecho el mismo borde libre que el izquierdo hasta la altura del dique fusible Narihualá. Aguas abajo de éste, se adoptó un borde libre de 0,90 m, es decir 0,30 m sobre elevado respecto al dique izquierdo, con la finalidad de proteger adecuadamente las áreas de riego en las zonas bajas.
- Para el dique fusible Narihualá, ubicado en la margen izquierda, se tiene un nivel de rasante de 1,00 m más bajo que la corona del dique en el tramo inmediato aguas abajo.
- La corona de los diques está conformada por una capa de 0,25 m de espesor de material de afirmado compactado y con un ancho de 4,50 m, que la habilita para el tránsito de maquinaria pesada para el caso de trabajos de emergencia.
- La pendiente del talud aguas arriba es de 1:2,5 (V:H), y la del talud aguas abajo es de 1:2,0 (V:H).
- El cuerpo del dique se encuentra conformado con rellenos compactados de materiales según la clasificación SUCS: GC, GW, GP, SW, SM, SP, con pantalla impermeable de materiales compactados GC, CL, ML, SC y SM, previa excavación mínima de 0.40 m y cimentación sobre material impermeable.
- Para el caso de materiales de cimentación permeable, se incluye un dentellón de cimentación de la pantalla, también con material impermeable con un ancho de 1,50 m en la base y profundidad entre 1,00 m a 2,00 m.
- También en tramos cortos se construyeron diques con cuerpo homogéneo, en base a rellenos de material impermeable, sobre una cimentación permeable, o sea con dentellón y otros sobre cimentación impermeable.

Las avenidas máximas de los años 1972, 1983, 1998 y 2002, demuestran que el sistema de protección con diques es parcial, porque fueron rebasados y se inundaron extensas áreas del valle, produciendo grandes pérdidas económicas, de vidas humanas y la destrucción de infraestructura, iniciándose luego de cada evento extraordinario tareas de reconstrucción y rehabilitación, que siempre han quedado inconclusas. (UDEP-UNP, 2001).

La avenida de 3 645 m³/s de abril del 2002, destruyó completamente el dique izquierdo aguas abajo del Puente Independencia, alcanzando la inundación hasta la carretera panamericana que fue cortada en 3 tramos y causó la rotura del dique en el sector La Joya; sin embargo, el rápido descenso del pico de la avenida evitó mayores daños en este dique.

Capítulo 3

Nociones básicas de Ingeniería Fluvial

La ingeniería fluvial trata de las intervenciones humanas en los ríos para su adecuación al aprovechamiento de los recursos o a la reducción de riesgos de daño. Pero el río no es en sí mismo objeto de la ingeniería civil, como puede ser una carretera o un ferrocarril. El río es un elemento natural que recoge las aguas de una cuenca y las transporta en lámina libre hasta su desembocadura. (Vide, 2003, p.21)

Un río es un medio con un flujo bifásico de agua y sedimento (procedente del cauce o de la cuenca). Cuando este flujo no presenta ningún cambio espacial o temporal, simplemente el río da un aporte de agua y una de sedimentos. La importancia de la primera es evidente; la de la segunda no puede olvidarse en problemas que tocan al ingeniero civil como la sedimentación, ... Pero, además un desequilibrio temporal o espacial implica variaciones de la cota del fondo que pueden ser graves para las obras cimentadas en el río o cerca de él, ya sean obras varias (puentes, ...) como obras específicamente fluviales (encauzamientos, ...). Las variaciones temporales pueden ser erosiones durante una avenida y las espaciales erosiones en una curva o en una caída. (Vide, 2003, p.23)

El presente capítulo contiene terminología básica relacionada con la Ingeniería fluvial, la cual permitirá entender los conceptos utilizados para el desarrollo del tema de la presente investigación. Para ello, se ha tomado como referencia la bibliografía de los especialistas en el tema.

Del mismo modo, desarrollará terminología relacionada con la modelación numérica, de manera especial las consideraciones que utiliza el software Hec-Ras para el desarrollo de sus modelos hidráulicos.

3.1. Morfología fluvial

La morfología fluvial o fluviomorfología es el estudio de las formas, es decir de la apariencia o características físicas de los ríos, y el mecanismo por el cual ha llegado a adquirir dicha forma. De acá se puede inferir el comportamiento futuro del río. Las formas que puede adoptar un río pueden originarse en su propio comportamiento, ser una consecuencia de determinadas acciones externas, principalmente humanas, o una combinación de dichas posibilidades (Rocha, 1998-a).

Los ríos no tienen la misma forma a lo largo de todo su recorrido, por lo que ésta se refiere a un tramo en específico en un determinado tiempo; ya que los caudales que se presentan en época de estiaje o avenidas en el transcurso del tiempo influyen en ella.

Los problemas relacionados a la morfología fluvial constituyen un reto permanente para la ingeniería; sin embargo, la comprensión de las variadas formas que adoptan los ríos es indispensable para el diseño de las obras que estén en contacto con un río o cerca de él.

3.1.1. Tipos de ríos

Vide (2003), distingue a los ríos de acuerdo con:

El régimen hidrológico, determinado por las características de la cuenca y de las precipitaciones (lluvia o nieve). En grandes ríos de climas tropicales el régimen hidrológico tiene una fuerte y regular estacionalidad, es decir hay un largo período de aguas altas que puede esperarse cada año. Las aguas subterráneas explican la permanencia del caudal base de un río durante un período seco y a la inversa la infiltración a través de un cauce permeable explica que los ríos se sequen; respecto a ello se llaman ríos efímeros, por oposición a los ríos perennes, aquellos que sólo llevan agua en episodios de fuertes precipitaciones, mientras que el resto de año se mantienen secos, siendo típicos de climas áridos y semiáridos.

Los ríos aluviales son aquellos que discurren por materiales sedimentarios modernos, generalmente aportados por el propio río. El lecho de estos ríos tiene un cierto espesor de material granular prácticamente suelto. Asimismo, es muy común que los materiales aluviales ocupen mucha más extensión horizontal que la del cauce actual, formando llanuras ocasionalmente inundables llamadas llanuras de inundación. Estos ríos pueden evolucionar a través de estas llanuras y causar cambios importantes de los cauces. Los problemas más importantes que afronta la ingeniería fluvial se refieren a los ríos de estas características, porque frecuentemente en sus valles aluviales se asienta la mayor densidad de actividades humanas. Según la composición del material aluvial, se diferencia entre ríos de grava y ríos de arena.

La pendiente del río, la cual establece la diferencia más importante en cuanto al régimen hidráulico. Se llaman ríos torrenciales a los que tienen una pendiente mayor del 1,5% y torrentes los cursos de agua de pendiente mayor que el 6%, ... Se usan mucho los términos ríos de montaña y ríos de llanura para aludir al contexto geográfico y a la pendiente del río, aunque sin una definición precisa.

El papel geológico de un río es, a muy grandes rasgos, la erosión en la cabecera de la cuenca donde la pendiente es mayor y el material del cauce más grueso, el transporte en el tramo medio y la sedimentación en el tramo bajo donde la pendiente es menor y el material del cauce más fino. Esto da un perfil longitudinal típicamente cóncavo y una distribución del tamaño del material granular menguante en la dirección de aguas abajo.

3.1.2. Formas en planta de los ríos

Para fines prácticos, la Morfología Fluvial considera tres formas fundamentales mostradas en función a la sinuosidad del río (Ver Figura 24).

3.1.2.1. Ríos rectos

Se les suele considerar como un estado transitorio de los ríos meándricos. Sin embargo; Leopold (1957) afirma que, según su experiencia, en la naturaleza los cursos de agua rectos se pueden considerar como inexistentes.

En algunos ríos se presentan pequeños tramos rectos, o casi rectos (semirrectos), cuya longitud podría estar, de manera referencial, en el orden de 10 veces el ancho del río. Esta aparición circunstancial de pequeños tramos rectos puede deberse a la presencia de determinadas estructuras geológicas. Por tanto, un río recto podría definirse como aquel cuya sinuosidad al ser pequeña se puede despreciar. En un tramo rectilíneo el Índice de Sinuosidad es teóricamente igual a 1, o de manera referencial, se puede decir que usualmente recibe el nombre de “río recto” aquel cuyo Índice de Sinuosidad es menor que 1,05 (Rocha, 1998-b).

Por otro lado, se tiene aparentemente un río recto en aquellas situaciones en las que las construcciones de obras viales requieren la ejecución de encauzamientos formados por diques paralelos. En este caso, el río se comporta como recto cuando el caudal es lo suficientemente grande como para ocupar toda la caja fluvial, recibiendo el nombre de “caudal de no desborde”; para caudales menores el río formará dentro del encauzamiento, un cauce sinuoso. Es por eso que a veces la situación más peligrosa en un encauzamiento de esta naturaleza se produce cuando el río, sin alcanzar la avenida de diseño, desarrolla su recorrido y debido a su sinuosidad ataca frontalmente las defensas (Rocha, 1998-b).

3.1.2.2. Ríos entrelazados o entrenzados

Son aquellos que tienen un cauce muy ancho, el cual está compuesto por varios cauces menores entrelazados o entrenzados que dejan islas sumergibles entre sí al unirse y separarse. Son cauces inestables al cambiar debido a la aparición de crecidas considerables, pudiendo encontrarse un brazo principal en un lugar tan rápido como en otro, recibiendo de esta manera el nombre de “divagantes” (Vide, 2003).

Un cauce trenzado está asociado a la presencia de gran carga de sedimentos (Vide, 2003). Se origina cuando en una corriente existe gran cantidad de transporte sólido y líquido, pero que al disminuir prontamente el caudal líquido, los sólidos no pueden ser transportados, depositándose en el lecho formando islas o bancos (Rocha, 1998-b).

Los ríos anastomosados se consideran una variante de los ríos entrelazados, ya que se presentan cuando los brazos se separan del curso principal pero que luego de cierto recorrido regresan al cauce principal, a diferencia de los ríos entrenzados en los que las islas o bancos tienen un carácter variable, inestable y transitorio (Rocha, 1998-b).

3.1.2.3. Ríos meándricos

El cauce es único, pero forma curvas. Su ondulación vista en planta se acompaña de una asimetría en la sección transversal, ya que el calado es mayor junto a la orilla cóncava o exterior, y menor junto a la orilla convexa o interior. El lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad recibe el nombre de thalweg (Vide, 2003).

La tendencia a formar meandros es característica de los ríos aluviales, ya que tienden de manera natural a no seguir un curso rectilíneo, lo que constituye una expresión de su inestabilidad. Un río aluvial es tortuoso en la medida en la que tiene muchas curvas y tiene meandros en la medida en la que estas curvas (es decir, las tortuosidades) se desplazan.

Un río puede ser meándrico y entrelazado a la vez. Con respecto a ello, Vide (2003) señala:

El carácter trenzado y el meándrico pueden verse como dos ingredientes presentes en distintas proporciones en un mismo río real. Es frecuente que un río sea trenzado en su tramo alto y luego pase a ser meandriforme aguas abajo, donde la pendiente es menor, aunque el caudal es mayor.

Los ríos meándricos están formados por una sucesión de curvas cuyo Índice de Sinuosidad es superior a 1,5.

Los meandros se caracterizan por tener una morfología dinámica al presentar una evolución, siendo esta la combinación de dos movimientos: una progresión o desplazamiento aguas abajo y una profundización a costa de las orillas, en dirección perpendicular a la anterior. La evolución depende de la resistencia de las orillas a la erosión; así pues, los ríos se mueven grandes distancias cuando discurren por llanos aluviales poco resistentes, donde no existe restricción de la libertad de su evolución (Vide, 2003).

Los meandros pueden ser regulares o irregulares, es decir deformados, debido a la heterogeneidad en la resistencia de las orillas; también pueden ser simples si presentan una frecuencia o longitud de onda dominante, o bien compuestos con más de una frecuencia dominante. El punto final de la evolución “libre” de un meandro es su estrangulamiento, es decir el encuentro en el cuello para formar un atajo y el abandono de los lóbulos que quedan como lagos (Vide, 2003).

Según Rocha (1998-b), los ríos que forman meandros poseen generalmente las siguientes características:

- Márgenes (orillas) erosionables.
- Sección transversal variable.
- Baja pendiente.

- Transporte sólido no muy grande, de granulometría fina.
- En muchos casos, variación de caudales no muy marcada.
- Flujo característico en las curvas.
- Corren sobre amplias áreas de inundación que les permiten sus desarrollos laterales.

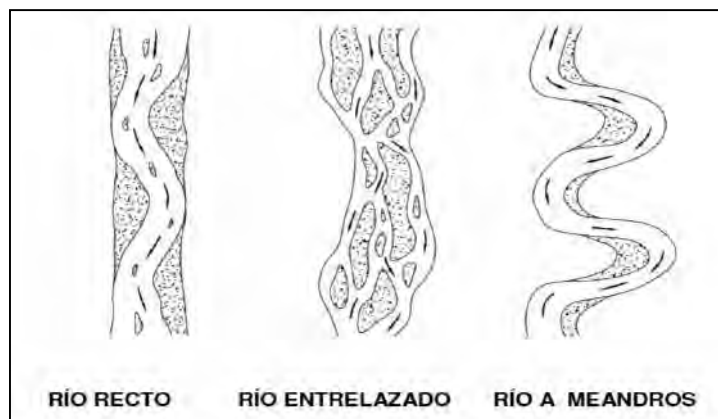


Figura 24. Tipos de formas en planta de ríos.
Fuente: (Rocha, 1998-b)

3.1.3. Papel morfológico de la vegetación

El papel morfológico de la vegetación se explica por su acción sobre el suelo. Las raíces de las plantas fijan el material suelto en lugares como las orillas del cauce principal, en el interior del cauce o en las llanuras de inundación. Esto influye en las secciones fluviales que resultan de la interacción del agua, los sólidos y la resistencia dada por la vegetación; en el sentido de la resistencia al flujo como en la resistencia al arrastre del material aluvial.

La vegetación se desarrolla de acuerdo a factores físicos, climáticos e hídricos; de estos últimos se puede decir que tres son destacables: la humedad en la zona de las raíces determinada por los niveles ordinarios del río, la acción mecánica de las aguas altas y avenidas, y la calidad del agua. Un cambio de los factores hídricos podría llevar a alteraciones del desarrollo normal de las poblaciones (marchitamiento al haber un bajo nivel freático o viceversa, sustitución de especies al variar la calidad del agua, arranque de plantas en crecidas). Tales cambios en la vegetación influyen en la forma y en la dimensión del cauce mismo (Vide, 2003).

3.1.4. Morfología de las llanuras de inundación

Reciben el nombre de llanuras de inundación las áreas próximas al cauce que resultan ocasionalmente inundadas. En los ríos de baja pendiente y de forma meándrica, las llanuras de inundación son terrenos llanos, pero con distintas formaciones; por lo que una sección transversal puede aparecer plano, ligeramente cóncavo o ligeramente convexo; de manera que se presenta convexo cuando las orillas del cauce principal son más altas que el terreno circundante formando diques, los ríos presentados de esta manera se denominan “colgados” (Ver Figura 25).

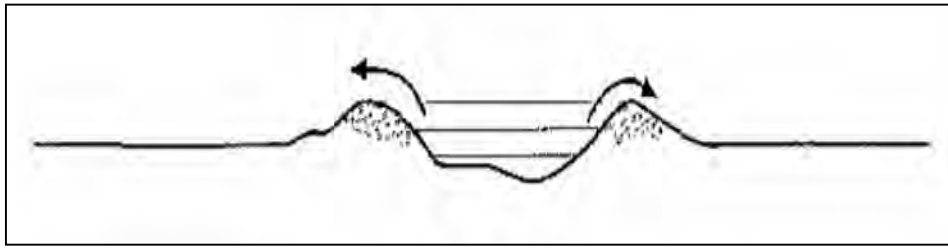


Figura 25. Sección transversal típica de un río colgado.
Fuente: (Vide, 2003)

En los ríos de llanura, se tienen suelos variados debido al modo en que han sido depositados los sedimentos. En los lugares donde ocurren las menores velocidades, se depositan los materiales finos (arcillas). En efecto, la sedimentación es el proceso dominante al tender a crecer la cota de la llanura recibiendo el nombre de acreción vertical; por otro lado, la acreción lateral tiene su origen en el crecimiento de las barras en las partes interiores de las curvas. Por tanto, en un sondeo se encuentran materiales más gruesos y más finos hacia la superficie (Ver Figura 26).

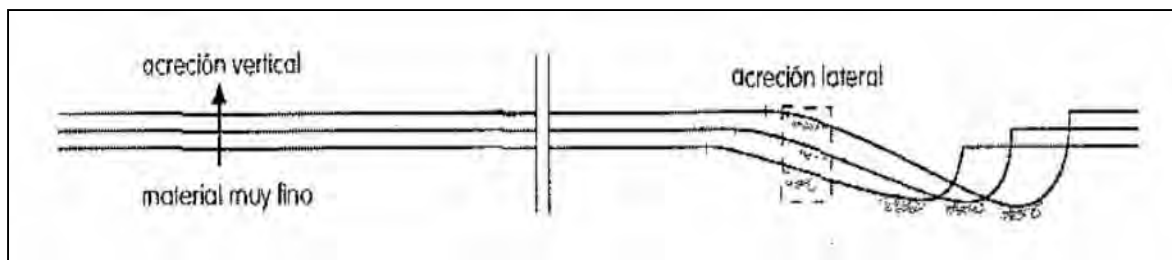


Figura 26. Sección transversal típica de un río colgado.
Fuente: (Vide, 2003)

3.2. Nociones sobre erosión

Se denomina erosión al descenso del fondo o el retroceso de las orillas a causa de la ocurrencia de fenómenos de dinámica fluvial naturales o suscitados por obras del hombre (Vide, 2003).

Según Lane (1955), de acuerdo con la analogía de la balanza (Figura 27) en el que menciona que ésta permite determinar el comportamiento de un río si se varían sus condiciones de equilibrio natural de manera que, una variación en el peso (caudales unitarios líquido o sólido) o una variación en el brazo de palanca, pendiente o tamaño de la partícula, conducirá a un desequilibrio erosivo o de sedimentación. Cuando los caudales líquido y sólido de un río no están equilibrados se tendrá un exceso de transporte de fondo (“sobrealimentación”) o un defecto (“subalimentación”), y por eso se producirá una sedimentación o erosión respectivamente.

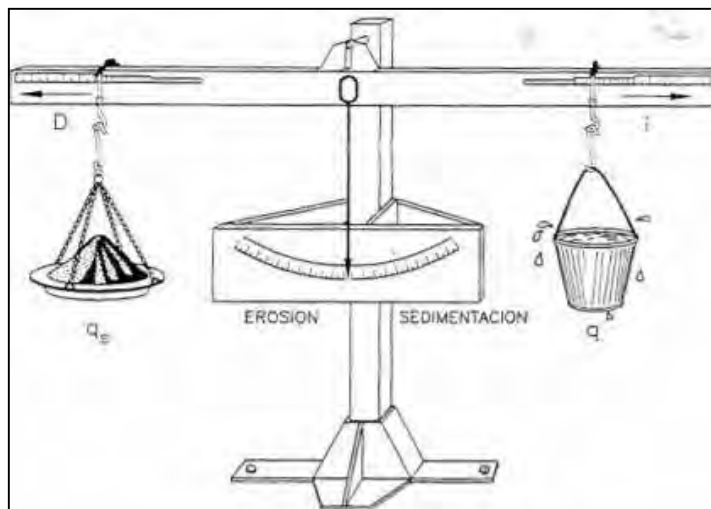


Figura 27. Analogía de la balanza.
Fuente: (Lane, 1955)

La erosión puede darse de manera general o local. La general del fondo, se caracteriza por la acción de un flujo de agua con velocidad media, afecta a tramos largos del cauce y en los cauces rectos y sin ninguna singularidad, se presenta de manera única. La erosión local solo afecta a una pequeña extensión y el flujo local se caracteriza por tener una fuerte turbulencia desarrollando vórtices.

La erosión también puede darse de manera transitoria o permanente. La erosión transitoria es la que sucede durante la fase ascendente de una avenida; cuando crece la avenida y la superficie libre sube, desciende por su parte el fondo de un cauce aluvial, pero cuando decrece la avenida y baja la superficie libre, asciende el fondo erosionado rellenando el espacio erosionado de forma transitoria. Una inspección tras suceder una avenida puede encontrar que el cauce tiene el fondo a la misma cota.

Por otro lado, la erosión permanente es la que sucede a largo plazo, originada por un desequilibrio geomorfológico o por el hombre. Un río puede presentar a modo natural una tendencia a la incisión o socavación en los tramos altos o sedimentación en los tramos bajos como evolución morfológica hacia un perfil de equilibrio. La presa es la obra humana que causa erosión general a largo plazo por la interrupción del transporte sólido y la modulación del caudal líquido de manera temporal; como consecuencia de este desequilibrio se produce erosión de manera rápida alcanzando profundidades y distancias importantes, pero que con el transcurso del tiempo modera su ritmo hasta acercarse a un nuevo equilibrio (Vide, 2003).

3.3. Encauzamientos

Según Vide (2003), se define como encauzamiento al arreglo o intervención que toma un tramo de río como su objeto de actuación primordial, cuyos objetivos posibles son:

- La protección frente a las inundaciones, de manera que impida o dificulte que el territorio se inunde.

- La protección de los márgenes del río, de manera que impida la destrucción del terreno, de manera especial los límites del cauce.
- La fijación de un cauce estable para el río, lo cual significa poder asegurar que el río discurrirá en un futuro de manera permanente por dicho cauce.
- Mejora de las condiciones de desagüe, en el sentido de aumentar su capacidad de manera que el mayor caudal del cauce pase en las condiciones deseadas.
- La formación o fijación de un caudal navegable, es decir que garantizar una profundidad de agua suficiente para la navegación fluvial.
- La recuperación de los valores naturales de un río, es decir, conseguir que el río vuelva a tener un valor natural o recreativo.

3.3.1. Efectos de un encauzamiento

Los ríos son sistemas dinámicos, debido a que en ellos se producen cambios o modificaciones a medio y a largo plazo, como consecuencia de acciones exteriores; además son posibles debido a que los contornos aluviales no son fijos sino móviles tanto en el sentido vertical (cambios en el fondo) como horizontal (cambios en planta).

Para defender el territorio de inundaciones y definir el cauce de las avenidas, se construyen obras lineales denominadas diques o motas ubicadas en una sola margen del río, siendo limitadas a cierta longitud y perímetro de una población; o pueden ubicarse en ambas márgenes. Tal encauzamiento se proyecta de acuerdo a un determinado caudal de avenida.

El transporte sólido es el vehículo de los cambios fluviales, ya que de manera funcional un encauzamiento es la vía de circulación de un caudal de agua acompañado de material sólido; pero cuando este no circula en equilibrio, tienen lugar las erosiones o sedimentaciones que van produciendo los cambios de contorno.

La protección frente a inundaciones en regiones llanas, próximas a la desembocadura del río puede traer consigo grandes consecuencias. El río tiende a formar un delta y con ello aumentar su longitud; la disminución de la pendiente que esto trae consigo explica la tendencia a la sedimentación en el propio cauce y esta subida en el fondo del cauce principal activa el desbordamiento y la sedimentación en toda la llanura de inundación, la cual sube al mismo ritmo que el cauce principal (Figura 28). Cuando se encauza un río protegiéndolo contra inundaciones, se reduce de tal manera la superficie para sedimentación que la acreción de los fondos se acelera. Por tanto, la población recrece los diques haciéndolos cada vez más vulnerables. Los cauces transformados de esta manera, es decir más altos que el terreno circundante, reciben el nombre de “colgados”.

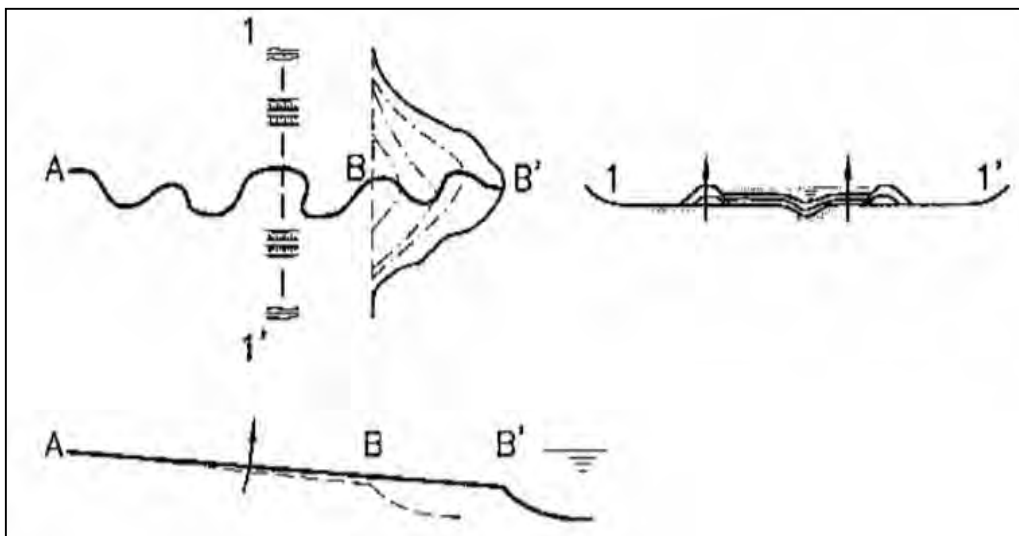


Figura 28. Planta, perfil longitudinal y sección transversal de un río encauzado en vías de sedimentación y formación de un cauce colgado.

Fuente: (Vide, 2003)

Otro efecto que originan los encauzamientos está relacionado con el efecto de laminación por el cual el caudal máximo disminuye conforme discurre por un río, esto debido a la disminución de la capacidad de almacenamiento transitorio en las llanuras de inundación al delimitarse su anchura. Al respecto, Vide (2003) explica:

Mientras el río sube de nivel por encima de la cota de desbordamiento de su cauce principal y va ocupando y sumergiendo la llanura, se produce un almacenamiento de agua que no sigue en ese instante circulando hacia aguas abajo. Esta agua se reincorpora al río más tarde, cuando baja de nivel, engrosando su caudal cuando ya ha pasado el caudal máximo.

Así pues, por lo mencionado, es posible que una obra de encauzamiento impida la inundación en un lugar, pero que lo origine aguas abajo del mismo río; por lo que se debe planificar las defensas a lo largo de todo el río y sus afluentes (cuenca hidrográfica) y no solo en respuesta a las demandas locales.

Los diques originan en épocas de avenidas un gradiente hidráulico invertido respecto al normal, esto debido a que anterior a la construcción de los diques los terrenos protegidos permanecían con agua por encima de la cota del terreno cuando el río crecía; por lo que si el suelo defendido con el encauzamiento es permeable se puede inundar por filtración, pero si el suelo es impermeable pueden producirse roturas del suelo y surgencias de agua. Este problema puede agravarse con la altura de los diques como en los cauces colgados (Figura 29).

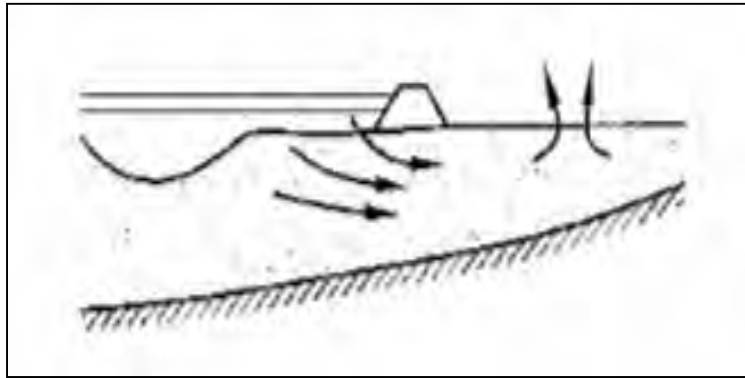


Figura 29. Esquema del problema de surgencias.
Fuente: (Vide, 2003)

Con respecto a los encauzamientos en los tramos urbanos, estos surgen de la necesidad de proteger a la población contra las inundaciones. Muchas veces el crecimiento de la ciudad resta espacio al río originando un confinamiento de este, por lo que se realizan trabajos de excavación del fondo del río con la finalidad de dejarlo a una cota inferior y de esta manera obtener mayor área para el flujo; sin embargo, puede ocurrir que el fondo recupere la cota anterior a corto plazo y que desaparezca el efecto deseado, o pueda darse que la pendiente cambie y origine efectos sobre el equilibrio del río afectando las zonas bajas.

3.4. Flujo en canales abiertos

Según Villón (2007), se denominan canales a los conductos por los que el agua circula por acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera.

Los canales pueden presentarse de manera natural (Ríos o arroyos) o de manera artificial (construidos por el hombre). Dentro de los últimos se incluyen aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas, tuberías).

La sección transversal de un cauce natural es generalmente de forma irregular y varía de un lugar a otro, a diferencia de los canales artificiales que se diseñan con secciones transversales geométricas conocidas.

3.4.1. Tipos de flujo

La clasificación del flujo de un canal depende de la variable de referencia que se tome. Con respecto a ello Villón (2007) menciona lo siguiente:

3.4.1.1. Flujo permanente y no permanente

Esta clasificación obedece a la utilización del tiempo como variable. El flujo es considerado permanente si es que los parámetros (tirante, velocidad, área hidráulica, etc.), no cambian con respecto al tiempo, es decir en una

sección del canal, en todo el tiempo los elementos del flujo permanecen constantes. Matemáticamente se puede representar por la siguiente expresión (Ecuación 3.1):

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial A}{\partial t} = 0; \quad etc. \quad (3.1)$$

Si los parámetros cambian con respecto al tiempo, el flujo se llama no permanente, es decir se puede representar por la siguiente expresión (Ecuación 3.2):

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0; \quad etc. \quad (3.2)$$

3.4.1.2. Flujo uniforme y variado

Esta clasificación obedece a la utilización del espacio como variable. El flujo es considerado uniforme si los parámetros (tirante, velocidad, área hidráulica, etc.) no cambian con respecto al espacio, es decir en cualquier sección del canal los elementos del flujo permanecen constantes. Matemáticamente se puede representar por la siguiente expresión (Ecuación 3.3):

$$\frac{\partial y}{\partial L} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial L} = 0; \quad \frac{\partial A}{\partial L} = 0; \quad etc. \quad (3.3)$$

Si los parámetros varían de una sección a otra, el flujo se llama no uniforme o variado, es decir se puede representar por la siguiente expresión (Ecuación 3.4):

$$\frac{\partial y}{\partial L} \neq 0; \quad \frac{\partial v}{\partial L} \neq 0; \quad \frac{\partial A}{\partial L} \neq 0; \quad etc. \quad (3.4)$$

El flujo variado a su vez se puede clasificar en gradual y rápidamente variado:

- **El flujo gradualmente variado**, es aquel en el cual los parámetros hidráulicos, cambian en forma gradual a lo largo del canal, como es en el caso de una curva de remanso, la que se produce por la intersección de una presa en el cauce principal, elevándose el nivel del agua por encima de la presa, con efecto hasta varios kilómetros aguas arriba de la estructura.

- **El flujo rápidamente variado**, es aquel en el cual los parámetros varían instantáneamente en una distancia muy pequeña, como es en el caso del resalto hidráulico.

3.4.1.3. Flujo laminar o turbulento

Esta clasificación obedece a la utilización de los efectos de la viscosidad. La importancia de las fuerzas viscosas se mide a través del número de Reynolds (Re), que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas mediante la siguiente expresión (Ecuación 3.5):

$$Re = \frac{vR}{\nu} \quad (3.5)$$

Donde:

R: radio hidráulico de la sección transversal (m)

v: velocidad media (m/s)

ν : viscosidad cinemática del agua (m²/s)

En los canales se han comprobado resultados semejantes a flujos en tuberías, por lo que respecta a ese criterio de clasificación. Para propósitos prácticos, en el caso de un canal se tiene:

- **Flujo laminar para $Re \leq 580$** , en este estado las fuerzas viscosas son relativamente más grandes que las fuerzas de inercia.
- **Flujo de transición para $580 < Re < 750$** , estado mixto entre laminar y turbulento.
- **Flujo turbulento para $Re \geq 750$** , en este estado las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia.

3.4.1.4. Flujo crítico, subcrítico y supercrítico

Esta clasificación obedece con respecto a los efectos de la gravedad. La importancia de las fuerzas de gravedad se mide a través del número de Froude (Fr), que relaciona las fuerzas de inercia de velocidad, con fuerzas gravitatorias, definidas en este caso mediante la siguiente expresión (Ecuación 3.6):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (3.6)$$

Donde:

v: velocidad media (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m²/s)

L: longitud característica de la sección (m)

En canales, la longitud característica viene dada por la magnitud de la profundidad media o tirante medio $\bar{y} = \frac{A}{T}$, con lo cual se tiene la siguiente expresión (Ecuación 3.7):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g\bar{y}}} = \frac{v}{\sqrt{g \frac{A}{T}}} \quad (3.7)$$

Donde:

v: velocidad media (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m^2/s)

$\bar{y}$: tirante medio (m)

A: sección transversal del flujo (m^2)

T: Ancho de la lámina libre (m)

Por el número de Froude, el flujo puede ser:

- **Flujo subcrítico si $Fr < 1$** , en este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad, siendo tranquilo y lento. En este tipo de flujo, toda singularidad tiene influencia aguas arriba.
- **Flujo crítico si $Fr = 1$** , en este estado las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad están en equilibrio.
- **Flujo supercrítico si $Fr > 1$** , en este estado las fuerzas de inercia son más pronunciadas, por lo que el flujo tiene una gran velocidad, siendo rápido o torrencioso. En este tipo de flujo, toda singularidad tiene influencia aguas abajo.

En la Figura 30, se muestra un esquema resumen de los tipos de flujo mencionados anteriormente.

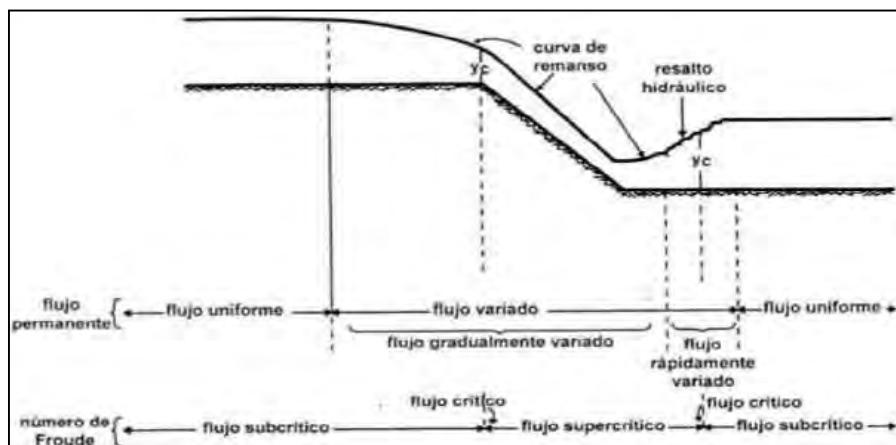


Figura 30. Tipos de flujo en canales abiertos.

Fuente: (Villón, 2007)

3.5. Modelación numérica

Mediante el uso de los modelos numéricos es posible conocer la variación espacial y temporal de las variables hidráulicas. Para ello, se representa la realidad de forma simplificada por medio de ecuaciones con aproximaciones unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D), por medio del uso de esquemas en diferencias finitas, volúmenes finitos y elementos finitos para su resolución.

Cada tipo de modelo numérico tiene ventajas y desventajas relacionadas con su dimensionalidad, ecuaciones, cantidad de información requerida, tiempo de cálculo, etc.

Los modelos unidimensionales: son recomendables en tramos de ríos donde el flujo se mantiene dentro del cauce y la velocidad predominante del flujo se puede considerar en la dirección del eje del río. Son de gran importancia para el estudio de los niveles de superficie de agua y velocidades en ríos, cuando se trata de conocer los niveles máximos de avenidas, ofreciendo resultados que superan la envolvente de los calados máximos que se obtendrían con un modelo en régimen variable. Ejemplo: Hec-Ras, Mike11, Sobek, Isis Flow, etc.

Los modelos bidimensionales: se utilizan cuando existe desbordamiento del flujo hacia las llanuras de inundación, debido a que se presentan velocidades en dos dimensiones en el plano horizontal por lo que el flujo deja de ser perpendicular a la sección transversal, y no basta con calcular la velocidad media en la sección, sino que también es importante conocer la presencia de zonas de recirculación en planta con las dos componentes de la velocidad horizontal promediada en profundidad. Ejemplo: River.

Los modelos tridimensionales: se utilizan cuando el flujo es complejo y se desea conocer la estructura del flujo. Ejemplo: Telemac, Delft 3D.

3.5.1. Modelación numérica con Hec-Ras

Hec-Ras constituye el software modelo que permite el cálculo de perfiles hidráulicos para flujo estacionario unidimensional, gradualmente variado. Las bases del procedimiento de cálculo corresponden a la solución de la ecuación de energía. Las pérdidas de carga por energía entre secciones transversales son evaluadas como pérdidas por fricción y pérdidas secundarias.

Los cálculos están orientados a flujos estacionarios gradualmente variados y a régimen mixto (subcrítico y supercrítico). Para ello, desarrolla la ecuación de la energía mediante un proceso iterativo, que resuelve la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado igualando la energía en dos secciones consecutivas mediante un procedimiento cíclico de aproximaciones sucesivas.

A continuación, se muestra la ecuación general de cálculo denominada Ecuación del Balance de energía o Ecuación de Bernoulli (Ecuación 3.8):

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (3.8)$$

Donde:

Y_1, Y_2 : Tirantes en las secciones transversales (m)

Z_1, Z_2 : Altura del fondo relativo al plano de referencia (m s.n.m.)

V_1, V_2 : Velocidades medias para el total de las respectivas áreas hidráulicas (m/s)

α_1, α_2 : Coeficientes de distribución de velocidades

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h_e : Pérdida de carga (m)

La Figura 31 grafica los parámetros que considera la Ecuación 3.8.

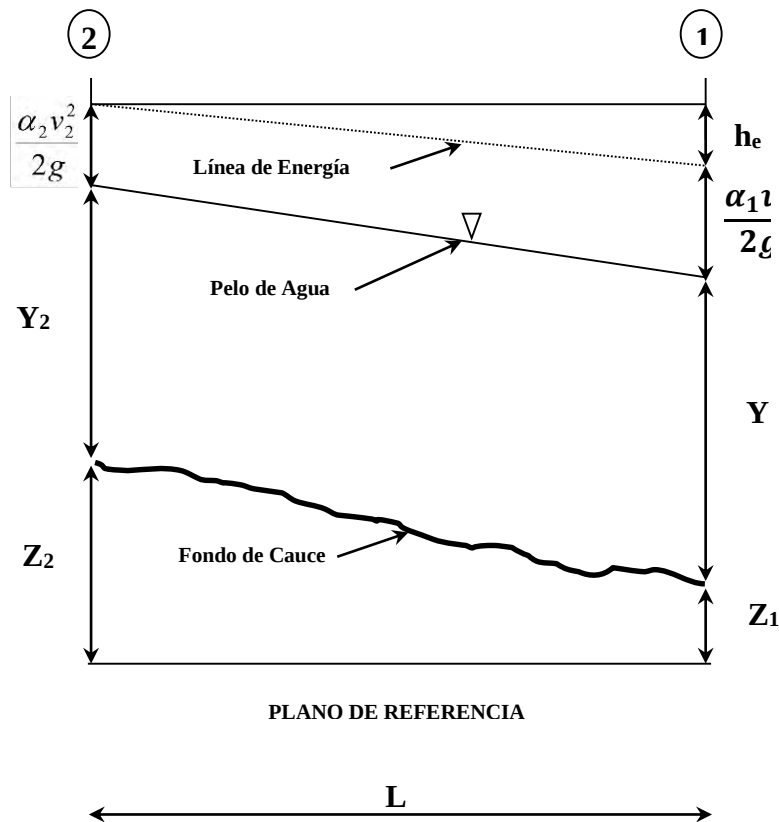


Figura 31. Esquema de la Ecuación de la energía.
Fuente: Elaboración propia

La ecuación general para la determinación de las pérdidas de carga es (Ecuación 3.9):

$$h_e = LS_F + C \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (3.9)$$

Donde:

- L : Longitud del tramo en cálculo (m).
 S_f : Gradiente de energía representativa entre dos secciones.
 C : Coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

La obtención de los resultados resulta de la aplicación de la ecuación mediante un proceso iterativo, suponiendo flujo normal como condición inicial.

El caudal es calculado para cada sección mediante la siguiente formula de la ecuación de Manning (Ecuación 3.10):

$$Q_{TOTAL} = \sum_{i=1}^p K_i S_f^{1/2} \quad (3.10)$$

$$K_i = \left(\frac{1}{n_i}\right) A_i R_i^{2/3} \quad (3.10)$$

Donde:

- Q_{Total} : Caudal total en una sección (m^3/s)
 K_i : Caudal en la subsección i [$i = 1...p$] (m^3/s)
 S_f : Pendiente.
 A_i : Área en la subsección i [$i = 1...p$] (m^2)
 R_i : Radio hidráulico en la subsección i [$i = 1...p$] (m)
 n_i : Coeficiente de rugosidad de Manning en la subsección
 V_i : Velocidad en la subsección i [$i = 1...p$] (m/s)

Para el cálculo de los caudales en una sección transversal compuesta de diferentes áreas parciales, el caudal es subdividido en áreas por las cuales las velocidades son uniformemente distribuidas como se aprecia en la Figura 32. Bajo esta condición se subdivide el caudal a través de la sección transversal del cauce del río en áreas, las cuales son definidas según los coeficientes de rugosidad.

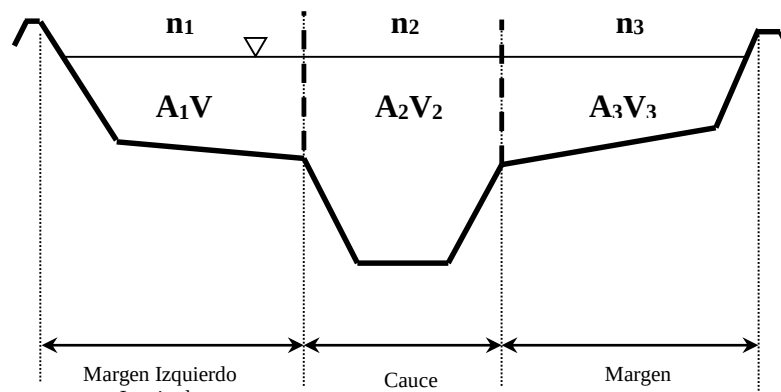


Figura 32. Subdivisión en áreas de la sección transversal de un canal.
Fuente: Elaboración propia

Un estudio hidráulico consta de dos elementos fundamentales: geometría del cauce y las condiciones de flujo definidas por el caudal y las condiciones de contorno. La combinación de ambos elementos: geometrías y condiciones de flujo originan diferentes resultados, que pueden ser analizados por separado o conjuntamente. Esta es la filosofía de la estructura del proyecto Hec-Ras, donde un único proyecto puede contener multiplicidad de cálculos distintos.

Para realizar modelación numérica de una zona en particular, es necesario disponer de cierta información, tal como:

3.5.1.1. Datos geométricos

Se obtienen de la topografía del río y se ingresan como secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de manera que, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo.

Otros datos que se requieren para cada sección transversal son: la longitud de los tramos aguas abajo, los coeficientes de rugosidad o “n” de Manning, y los coeficientes de expansión y contracción.

- a) **Distancias:** Siendo LOB las distancias entre las márgenes izquierdas, Channel las distancias a lo largo del centro del cauce y ROB las distancias entre las márgenes derechas.
- b) **Coefficientes de contracción y expansión:** El programa utiliza los coeficientes de contracción y expansión para determinar las pérdidas de energía entre dos secciones contiguas. En el caso donde existen contracciones o expansiones se utilizan los valores 0,1 y 0,3 respectivamente, correspondiente a transiciones graduales como en el caso de existencia de puentes. En el caso donde no hay transiciones los valores son 0.
- c) **Coefficientes de rugosidad o “n” de Manning:** Definidos de acuerdo con el material del canal. La Tabla 4 refleja una extracción de los valores establecidos por Ven Te Chow correspondiente a canales abiertos y naturales.

3.5.1.2. Datos hidráulicos

Los datos hidráulicos a ingresar son el caudal y las condiciones de contorno.

Generalmente en cauces naturales se dan condiciones para flujo no permanente; sin embargo, Hec-Ras trabaja de manera simplificada con flujo permanente debido a que trabaja con caudales máximos para un determinado período de retorno, y simula que el cauce y el conjunto de obras en él soportan o no tal caudal máximo considerado permanente.

Para realizar una modelación hidráulica con flujo permanente se deben introducir:

- a) **Perfiles:** Con un máximo permitido de 25 000 perfiles correspondientes a un caudal diferente.
- b) **Condiciones de contorno:** Las cuales son introducidas en cada tramo a estudiar para establecer un nivel de agua inicial en ambos extremos del río: aguas arriba (Upstream) y/o aguas abajo (Downstream).

De manera general, si la pendiente es suave el flujo es subcrítico, pero si la pendiente es fuerte el flujo es supercrítico, y si hay tramos con pendiente suave y fuerte el flujo es mixto.

Para el régimen subcrítico, las condiciones de contorno solo se necesitan en el extremo de aguas abajo; para el régimen supercrítico las condiciones de contorno solo son necesarias en el extremo de aguas arriba. Pero si el régimen es mixto, se necesita en ambos extremos del tramo.

Las condiciones de contorno admitidas son:

- **Nivel de agua conocido (Known W.S.):** Cuando se conoce un nivel de agua en alguna sección transversal. Se entiende por nivel al tirante más la cota más baja de la sección.
- **Tirante conocido (Critical Depth):** Cuando existe alguna sección de control. La profundidad crítica es calculada por el programa para cada perfil y la utiliza como condición de contorno.
- **Tirante normal (Normal Depth):** Cuando el flujo se aproxime al uniforme, se introduce la pendiente del tramo de influencia en decimales.
- **Curva de caudal (Rating Curve):** Cuando existe una sección de control con una relación entre el tirante y el caudal.

Tabla 4. Valores de coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

		TIPO DE CANAL	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido	0.009	0.010	0.013
		b. Acero soldado	0.010	0.012	0.014
		con remaches	0.013	0.016	0.017
		c. Metal corrugado	0.017	0.019	0.021
		sub - dren dren para aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto	0.010	0.011	0.013
		tubo recto y libre de basuras	0.011	0.013	0.014
		tubo con curvas, conexiones	0.011	0.012	0.014
		afinado	0.013	0.015	0.017
		tubo de alcantarillado con cámaras, entradas.	0.012	0.013	0.014
Tubo con moldaje de acero.		0.012	0.014	0.016	
Tubo de moldaje madera cepillada		0.015	0.017	0.020	
Tubo con moldaje madera en bruto		0.010	0.012	0.014	
b. Madera		0.015	0.017	0.020	
duelas laminada y tratada		0.018	0.025	0.030	
c. Albañilería de piedra.					
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso	0.011	0.012	0.014
		sin pintar	0.012	0.013	0.017
		pintado	0.021	0.025	0.030
	B.2 NO METÁLICO	b. Corrugado			
		a. Madera	0.010	0.012	0.014
		Sin tratamiento	0.011	0.012	0.015
		Tratada	0.012	0.015	0.018
		Planchas			
		b. Concreto	0.011	0.013	0.015
		afinado con plana	0.015	0.017	0.020
		afinado con fondo de grava	0.014	0.017	0.020
		sin afinar	0.017	0.020	0.022
		excavado en roca de buena calidad	0.022	0.027	
		excavado en roca descompuesta			
		c. Albañilería	0.017	0.025	0.030
pedra con mortero	0.023	0.032	0.035		
pedra sola					

Tabla 4 Valores de coeficiente de Rugosidad de Manning (n) (continuación)

C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo	0.016	0.018	0.020
		grava	0.022	0.025	0.030
		con algo de vegetación	0.022	0.027	0.033
		b. Tierra, sinuoso sin vegetación	0.023	0.025	0.030
		con malezas y pasto	0.025	0.030	0.033
		maleza tupida, plantas	0.030	0.035	0.040
		fondo pedregoso - malezas.	0.025	0.035	0.040
		c. Roca suave y uniforme	0.025	0.035	0.040
		irregular	0.035	0.040	0.050
		d. Canales sin mantención maleza tupida	0.050	0.080	0.120
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	Fondo limpio, bordes con vegetación	0.040	0.050	0.080
		a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.			
		Árboles y arbustos sumergidos			
		Parcialmente en crecidas con piedras y	0.030	0.040	0.050
		Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070
	D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto			
		pastizales bajos	0.025	0.030	0.035
		pastizales altos	0.030	0.035	0.050
		b. áreas cultivadas sin cultivo	0.020	0.030	0.040
		con cultivos	0.030	0.040	0.050
		c. Arbustos y Malezas escasos	0.040	0.060	0.080
		densos	0.070	0.100	0.160
		d. Árboles sauces	0.110	0.150	0.200
		tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050
	D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060
		Secciones Irregulares	0.035	-	0.100

Capítulo 4

Modelación numérica del río Piura con Hec-Ras

El nombre Hec-Ras proviene de la composición de las siglas en inglés HEC (Hidrologic Engineering Center o Centro de Ingeniería Hidrológica) y RAS (River Analysis System o Sistema de Análisis de Ríos), y ha sido desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU.

Hec-Ras es un aplicativo que permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, facilitando el cálculo de los parámetros hidráulicos del cauce con la finalidad de predecir áreas de inundación, permitir el diseño de estructuras hidráulicas, delimitar franjas marginales o determinar la altura óptima en el diseño de una carretera que puede ser afectada por el caudal de un río (Villón, 2011). Hec-Ras es la herramienta ideal para modelaciones hidráulicas de flujo en cauces basándose la solución en un proceso iterativo de la ecuación de la energía o de Bernoulli, entre secciones.

Para la presente investigación se utiliza Hec-Ras para realizar modelaciones del río Piura entre el tramo comprendido por la Presa Los Ejidos e inmediatamente aguas abajo del Puente Independencia, con los siguientes objetivos:

- Comprobar la eficacia de la modelación con Hec-Ras, mediante la comparación de resultados obtenidos con el software y las medidas tomadas in situ, al simular el escenario de ocurrencia del FEN Costero 2017 con los datos geométricos obtenidos de la topografía 2015.
- Calibración de un modelo que sirva como alerta temprana para la identificación de resultados ante la presencia de futuros FEN. Utilizando topografía 2015.
- Analizar los parámetros hidráulicos considerando el escenario de retiro del dique fusible en la margen izquierda del Puente Independencia, así como el ensanche de éste, y evaluar su influencia en los demás puentes del tramo en estudio.
- Analizar las singularidades del FEN Costero 2017, al simular un escenario con datos geométricos obtenidos de la topografía post FEN Costero 2017 poco tiempo después de haber ocurrido éste y sin intervención de trabajos de reconstrucción en el cauce.

- Obtener un mapa de inundación con los resultados obtenidos de la modelación, considerando el escenario de ocurrencia del FEN Costero 2017 con los datos de la topografía 2015.

4.1. Metodología

Previamente, se procesará la información topográfica para obtener las secciones del río, con ayuda de los softwares: Arcgis 10.3 y Hec-GeoRas (Para las secciones con la Topografía 2015), y Autocad Civil 3D 2018 (Para las secciones con la Topografía 2017), los cuales generarán un archivo con la geometría para exportar a Hec-Ras.

A continuación, se ingresarán los datos necesarios para realizar las modelaciones con el software HEC RAS 4.1.0, tales como: geometría, rugosidades, caudales, etc. Se considerará un flujo subcrítico por tratarse de un río con pendiente suave, y se ingresarán como condiciones de borde los niveles de agua medidos en los puentes, aguas abajo de cada tramo en estudio. Posteriormente, se exportarán los resultados obtenidos de la modelación al software Arcgis para la generación del mapa de inundación del FEN Costero 2017.

4.2. Consideraciones para la modelación

Para las 3 modelaciones realizadas se considerará el tramo total en estudio del río Piura, dividido en dos tramos identificados de la siguiente manera:

- Tramo 1: Presa Los Ejidos - Puente Bolognesi (5 km aproximadamente).
- Tramo 2: Puente Bolognesi - Puente Independencia (16 km aproximadamente).

Esto debido a que si se consideraba un solo tramo de estudio (21 km aproximadamente), el número de secciones obtenidas para no exceder la cantidad de secciones permitidas con el software Hec-Ras iban a originar que las secciones del río se encuentren muy distantes entre sí, y no hubiera permitido un análisis óptimo de los resultados obtenidos.

Las longitudes de los tramos varían en ambas topografías por existir un trazo distinto de la línea del eje del río, sin embargo, las secciones de interés han sido tomadas exactamente en su ubicación respectiva de acuerdo con las coordenadas UTM de cada una de ellas.

4.3. Datos geométricos

La presente investigación ha considerado trabajar con las únicas topografías disponibles en su momento: Topografía realizada en el año 2015 y topografía realizada en el año 2017, antes de realizarse los trabajos de descolmatación en el río Piura.

En el escenario 1, se considera a la topografía 2015 como la más cercana al escenario ocurrido el día de la avenida máxima de FEN Costero 2017, ya que entre los años 2015 y 2017 no se habían presentado FEN y por tanto no existían cambios considerables de topografía en el cauce del río Piura.

Se consideran como secciones transversales de interés a las estructuras hidráulicas ubicadas en el cauce del río, así como en los márgenes de éste, tales como:

- Presa Los Ejidos
- Puente Andrés Avelino Cáceres
- Puente Sánchez Cerro
- Puente Bolognesi
- Puente Grau
- Rotura del dique izquierdo localizada en Simbilá
- Rotura del dique izquierdo localizada en Viduque
- Rotura del dique izquierdo localizada en Narihualá
- Rotura del dique izquierdo localizada en Pedregal Chico
- Puente Independencia sin ensanchamiento
- Rotura del dique izquierdo localizada en Molino Azul (Sólo se dispone de información topográfica de ésta en la Topografía 2015).

Las secciones geométricas correspondientes a los puntos de rotura del dique izquierdo han sido ubicadas de acuerdo con las coordenadas UTM mostradas en el plano correspondiente al Anexo B, y sus progresivas toman como referencia el eje del dique desde sus inicios en el puente Bolognesi.

En el caso del escenario 2, en el que se ha considerado el ensanchamiento del Puente Independencia de 227,50 metros a 362 metros, se ha procedido de la siguiente manera:

Se ubicó la sección correspondiente al Puente Independencia con ayuda de Google Earth tal como lo muestra la Figura 33.



Figura 33. Ubicación del Puente Independencia
Fuente: Google Earth

Se consideraron secciones transversales aguas arriba del puente Independencia, que no pasen por el dique fusible ubicado en la margen izquierdo del río, tal como se muestra en la Figura 34.

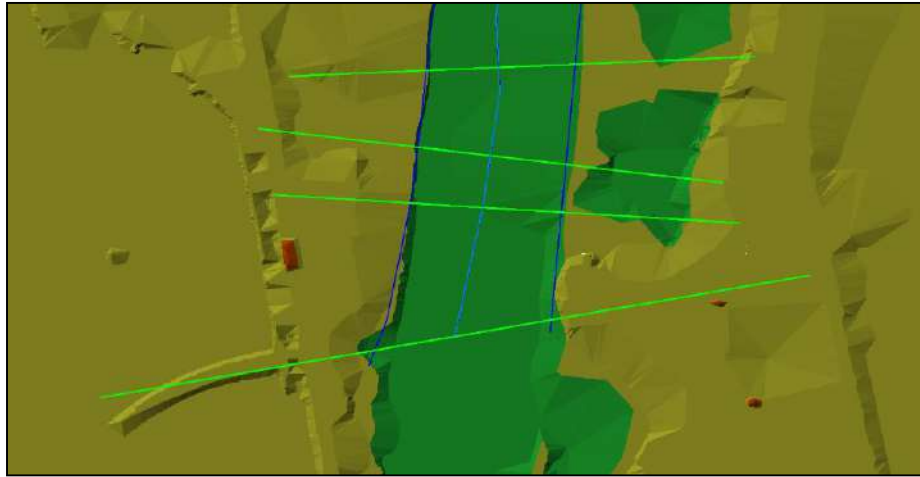


Figura 34. Ubicación de las secciones aguas arriba del Puente Independencia
Fuente: Elaboración propia

Con la sección del Puente Independencia exportada al Hec-Ras, se modificó su geometría en el mismo, de manera manual, de 227,50 metros de ancho a 362 metros exactamente en su margen izquierda, considerando de la misma manera, el talud existente en su margen izquierda de 1:3. Esto debido a que no se cuenta con la disponibilidad de la topografía con el puente modificado.

4.3.1. Levantamiento topográfico del Año 2015

La topografía 2015 ha sido proporcionada por el PECHP, en formatos dwg y shape, y corresponde a un levantamiento realizado entre los meses de agosto y septiembre del año 2015. El levantamiento topográfico ha sido realizado con tecnología LIDAR, utilizando un sistema de referencia WGS84 - ITRF2000 para el procesamiento de datos, y un sistema Datum de referencia vertical para el procesamiento de los datos.

Los datos en formato shape fueron procesados con el software Arcgis 10.3 y exportados al Hec-Ras.

Se trazaron secciones cada 50 metros en el Tramo 1 y cada 100 metros en el Tramo 2, con un ancho de 800 metros.

El Tramo 1 tiene 4 934,32 m, con 101 secciones, y el tramo 2 tiene 16 550 m, con 169 secciones.

Las Figura 35 y Figura 36 muestran las secciones transversales obtenidas en ambos tramos del río con la topografía 2015.

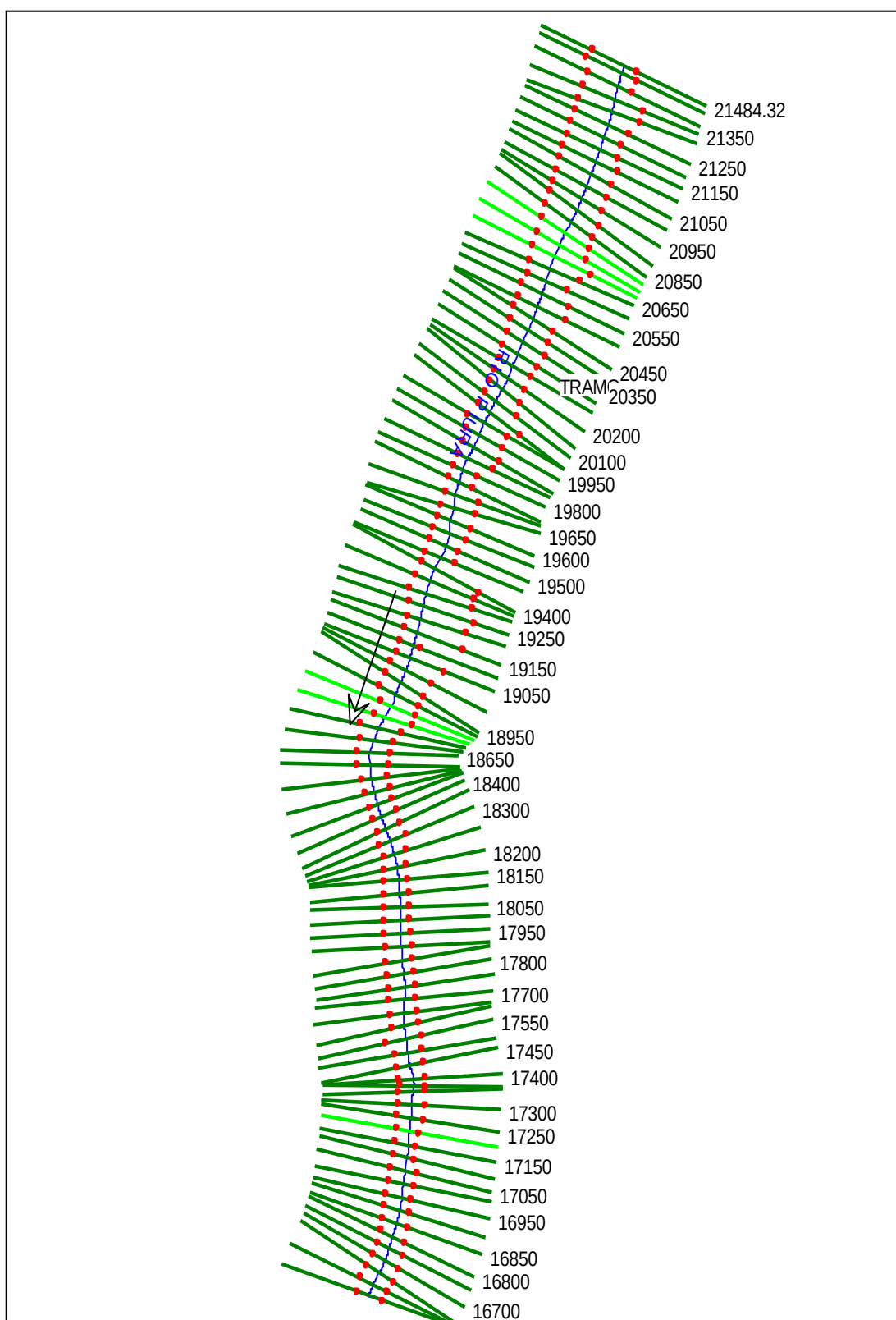


Figura 35. Secciones transversales del Tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484.32 km)-Puente Bolognesi (16+550,00 km)

Fuente: Elaboración propia

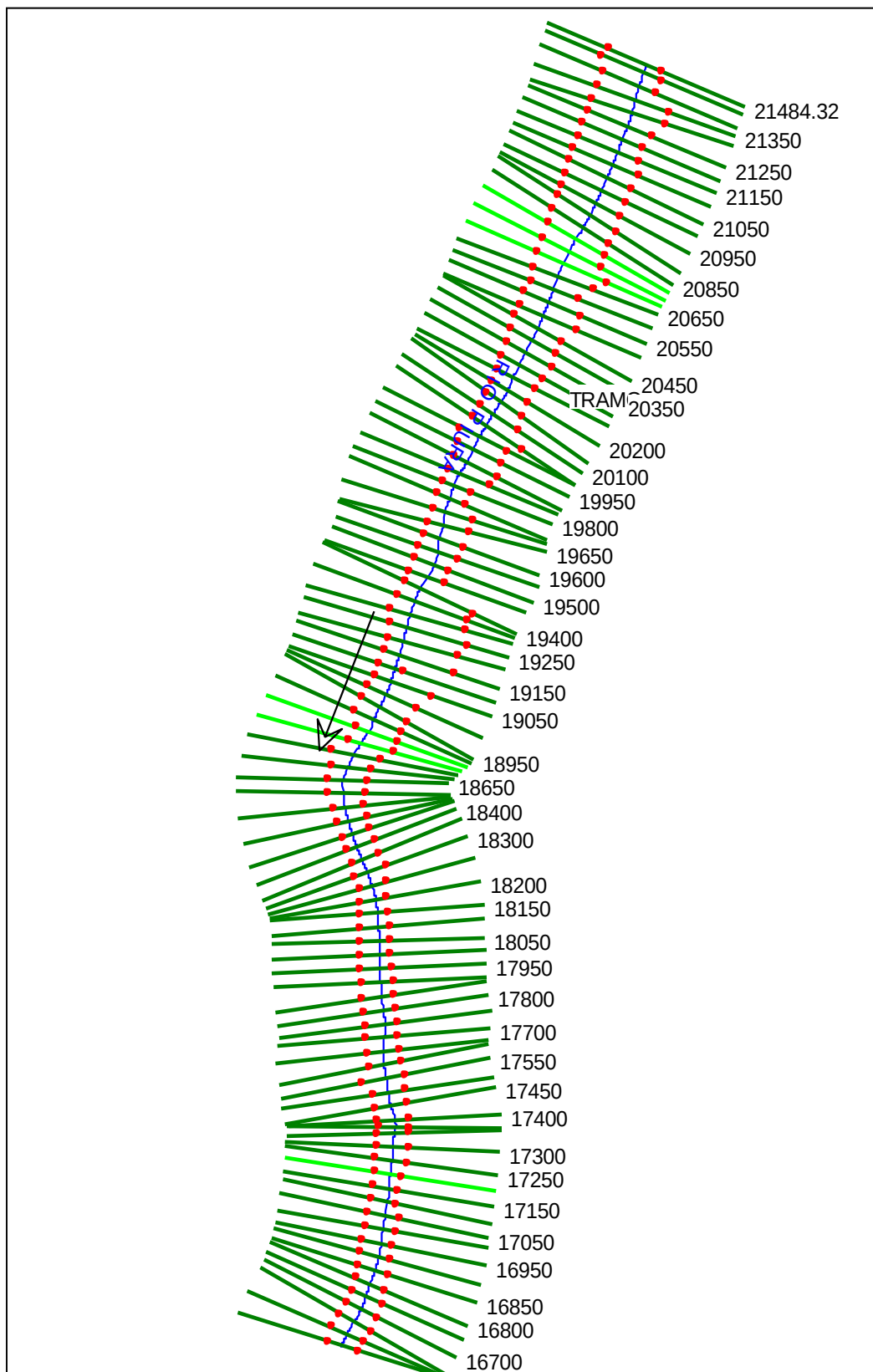


Figura 36. Secciones transversales del Tramo 2: Puente Bolognesi (16+550,00 km)-Aguas abajo del Puente Independencia (0+000,00 km)

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Levantamiento topográfico del Año 2017

La topografía 2017 ha sido proporcionada por el Gobierno Regional en formatos dwg, y corresponde a un levantamiento realizado en octubre del año 2017, con la finalidad de identificar los volúmenes de descolmatación del cauce del río Piura. El levantamiento topográfico ha sido realizado con tecnología LIDAR, utilizando un sistema de referencia WGS84 - ITRF2000 para el procesamiento de datos, y un sistema Datum de referencia vertical para el procesamiento de los datos.

Los datos en formato dwg fueron procesados con el software Autocad Civil 3D y exportados al Hec-Ras.

Se trazaron secciones cada 50 metros en el Tramo 1 y cada 100 metros en el Tramo 2.

El Tramo 1 tiene 4 863,91 km, con 99 secciones, y el tramo 2 tiene 15 673,53 km, con 159 secciones de 800 metros de ancho.

Las Figura 37 y Figura 38 muestran las secciones transversales obtenidas en ambos tramos del río con la topografía 2017.

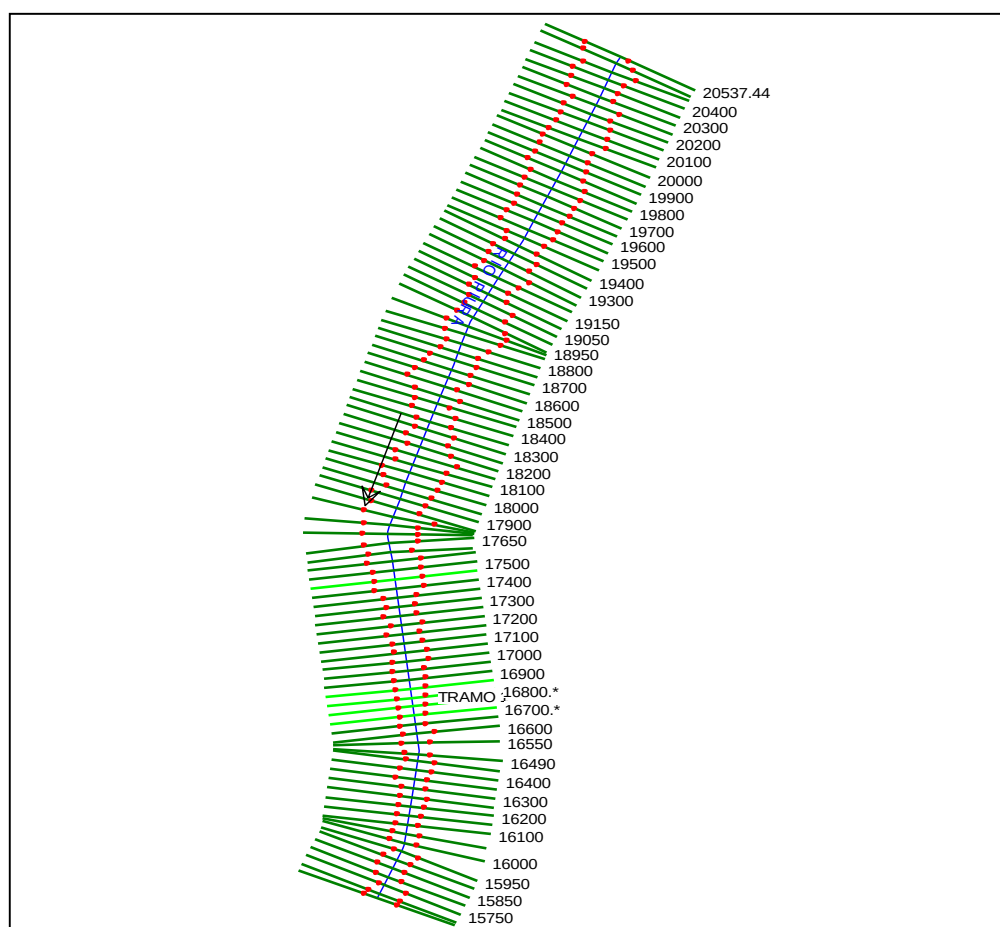


Figura 37. Secciones transversales del Tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484,32 km)-Puente Bolognesi (15+750,00 km)

Fuente: Elaboración propia

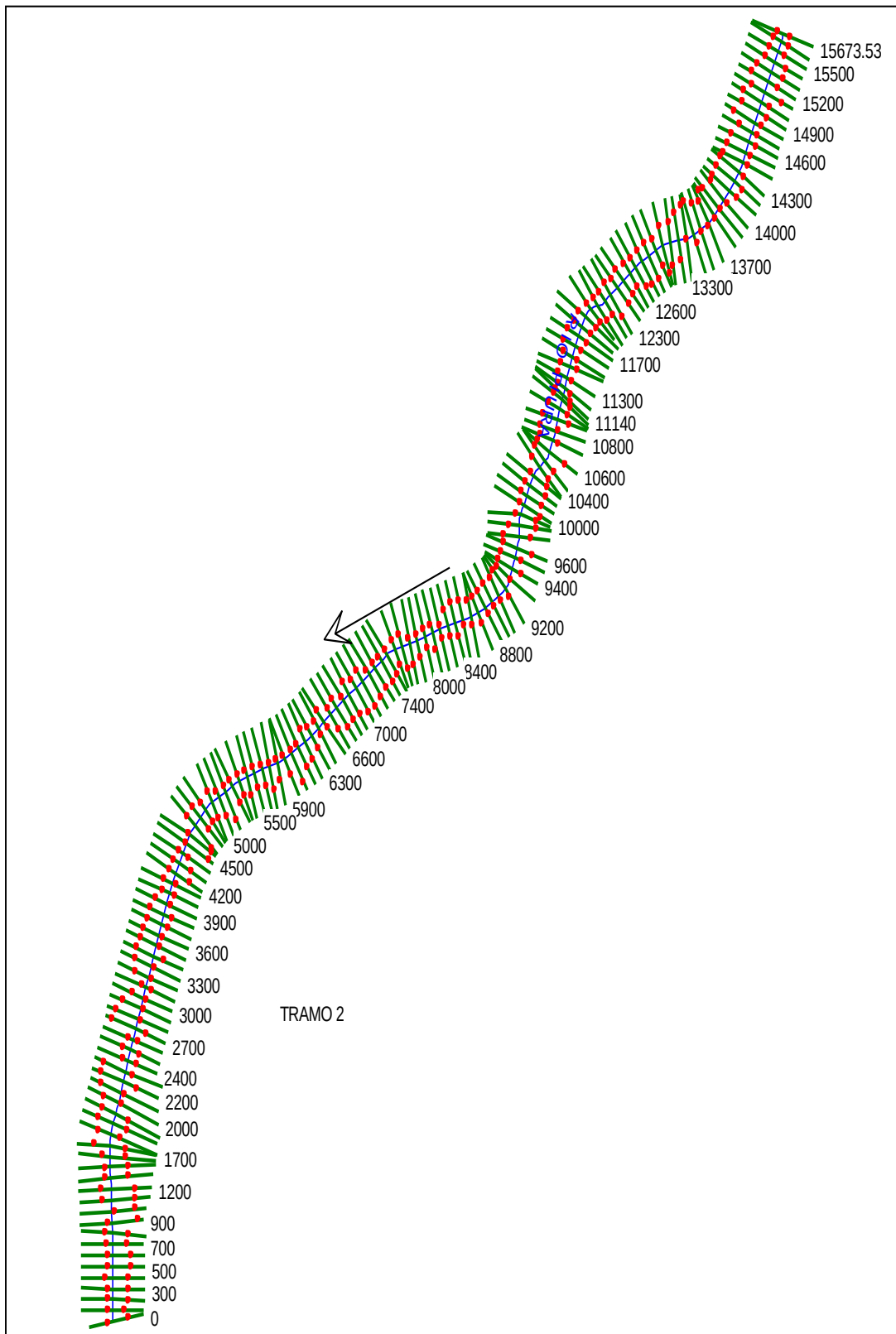


Figura 38. Secciones transversales del Tramo 2: Puente Bolognesi (15+750,00 km) – Puente Independencia (0+000,00 km)

Fuente: Elaboración propia

4.4. Escenarios modelados

4.4.1. Escenario 1: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia

Este escenario supone las condiciones en las que se ha presentado la avenida máxima del día 27 de marzo del 2017. Para ello se compararán los resultados obtenidos con los medidos in situ.

Debido a que se disponen de los resultados in situ, se usará como condición de borde para el segundo tramo, la cota conocida medida en la sección del Puente Independencia de 24,55 m.

El resultado obtenido en la primera sección aguas arriba, es decir en el Puente Bolognesi, será la condición de borde utilizada para el primer tramo en estudio.

4.4.2. Escenario 2: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, considerando el ensanchamiento del Puente Independencia

Este escenario supone las condiciones en las que se ha presentado la avenida máxima del día 27 de marzo del 2017, es decir con datos geométricos obtenidos de la topografía 2015, pero con una modificación manual en el Hec-Ras de un ensanchamiento de 227,50 m a 362 m en la sección del Puente Independencia, así como el retiro de las secciones transversales que pasaban por el dique fusible.

Debido a que no se dispone de un tirante conocido para el escenario en estudio, se utilizará como condición de borde el de tirante normal en el que sólo es necesario ingresar al Hec-Ras la pendiente.

El resultado obtenido en la primera sección aguas arriba, es decir en el Puente Bolognesi, será la condición de borde utilizada para el primer tramo en estudio.

4.4.3. Escenario 3: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía posterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia.

Este escenario se ha modelado con los datos geométricos obtenidos de la topografía 2017, antes de realizarse los trabajos de descolmatación del río Piura y sin considerar el ensanchamiento del Puente Independencia.

Debido a que no se dispone de un tirante conocido para el escenario en estudio, se utilizará como condición de borde el de tirante normal en el que sólo es necesario ingresar al Hec-Ras la pendiente.

El resultado obtenido en la primera sección aguas arriba, es decir en el Puente Bolognesi, será la condición de borde utilizada para el primer tramo en estudio.

4.5. Calibración del modelo

Se entiende por calibración al proceso en el que se adecúan las variables necesarias en el modelo para que los resultados de la simulación sean coherentes con la realidad. Para calibrar el modelo se realizaron varias corridas del Escenario 1: con Topografía 2015, debido a que se cuenta con registro de cotas de las superficies de agua en puentes, en el evento FEN Costero 2017. Para ello, se realizaron cambios en coeficientes de rugosidad “n” de Manning hasta obtener los resultados reales más similares.

4.6. Datos hidráulicos

4.6.1. Caudal

La Figura 39 muestra el hidrograma con los caudales registrados en la estación Presa Los Ejidos el día 27 de marzo del 2017, día del desborde del río. Se observa un caudal máximo de 3 468 m³/s a las 12:00 horas, siendo este uno de los mayores caudales registrados en los últimos años en el río Piura.

Por tal motivo, se ha utilizado el caudal de 3 468 m³/s para todas las modelaciones.



Figura 39. Hidrograma de caudales del día 27 de marzo en la estación Presa Los Ejidos
Fuente: (COER, 2017)

4.6.2. Coeficientes de rugosidad

En el libro Hidráulica de Canales abiertos, Ven Te Chow (1994), describe el análisis para obtener los coeficientes de rugosidad mediante ciertos métodos entre los que destacan:

- Tabla de valores típicos de rugosidades para varios tipos de canales, para este método de acuerdo con inspección ocular de los tramos modelados, se considera un coeficiente de 0,30 correspondiente a cursos en planicie limpia normales debido a que el cauce para tal tiempo había sido descolmatado. Así como 0,30 a cursos naturales con pastura y arbustos cortos para los márgenes

- Método de Cowan, en los que se asignan valores por cada característica propia del cauce en estudio
- a) **Material (n_0):** En el tramo 1, desde la Presa Los Ejidos hasta el Puente Bolognesi, en su margen derecho existen losas de concreto cimentadas en tablestacas y zonas con enrocado. La ribera izquierda, a excepción del tramo Sánchez Cerro y Bolognesi, se encuentra sin protección. En el tramo 2, desde el Puente Bolognesi hasta el Puente Independencia, se evidencian diques de encauzamiento de tierra en ambos márgenes del río, en algunos tramos reforzados con enrocados y gaviones. Se considera un coeficiente de 0,020.
- b) **Irregularidades en la superficie (n_1):** Ligero, por no existir cambios abruptos en la superficie, por lo que se considera un factor de 0.
- c) **Variaciones en la sección transversal (n_2):** Ocasional, debido a que no existen cambios bruscos de secciones transversales, por lo que se considera un factor de 0,005.
- d) **Efecto relativo de obstáculos (n_3):** Despreciable, debido a que no existen grandes obstáculos en el cauce, por lo que se considera un factor de 0.
- e) **Vegetación (n_4):** El tipo de vegetación que se presenta es en su mayoría es maleza y pequeños arbustos, por lo que se considera un factor de 0,005 correspondiente a vegetación baja.
- f) **Grado de sinuosidad (n_5):** Se observa la presencia de 2 curvas, una ubicada en el Puente Cáceres y la otra ubicada en el Puente Bolognesi, sin embargo, podemos afirmar que la sinuosidad es menor y por lo tanto consideramos como factor la unidad.

Aplicando la fórmula establecida donde $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times n_5$ se obtiene 0,30 como coeficiente de rugosidad. Se ha utilizado tal valor para el cauce y sus márgenes.

4.6.3. Coeficiente de expansión y contracción

Se han considerado los valores de 0,1 y 0,3 correspondientes a una transición gradual entre las secciones del río. Para el caso de las secciones pertenecientes a los puentes se han utilizado los valores de 0,3 y 0,5, por las expansiones típicas que originan su estructura.

4.6.4. Condiciones de borde

4.6.4.1. Known Water Surface (W.S)

La condición de borde en la que se conoce la cota de la superficie de agua, se utiliza en el Escenario 1, en el que se dispone de datos reales de cotas medidas en los puentes.

Se ingresa como valor conocido la cota medida aguas abajo del Tramo 2: Puente Bolognesi – Puente Independencia, es decir a la cota de superficie de agua registrada en el Puente Independencia (24,55 m).

Para el Tramo 1, se ingresa el valor obtenido en la modelación del Tramo 2 como cota de superficie de agua en el Puente Bolognesi.

4.6.4.2. Normal Depth

La condición de borde de Tirante normal se utiliza en el Escenario 3, en el que no se dispone de datos de superficies de agua conocida, pero sí se conoce la pendiente de fondo del cauce.

El tramo 1 en estudio posee una pendiente de 0,0015 hasta el puente Bolognesi, y el tramo 2 con una pendiente de 0,0003 correspondiente al Valle del Bajo Piura.

4.6.5. Condiciones de flujo

En ambos tramos estudiados el cauce presenta una pendiente suave, constante y sin cambios bruscos; tratándose de un flujo subcrítico. En un régimen subcrítico, las condiciones de contorno sólo son necesarias en el extremo aguas abajo (Downstream).

Capítulo 5

Resultado de las modelaciones

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios modelados:

- Escenario 1: Modelación numérica del río Piura con topografía 2015, anterior al FEN Costero, sin ensanchamiento del Puente Independencia.
- Escenario 2: Modelación numérica del río Piura con topografía 2015, anterior al FEN Costero, considerando ensanchamiento del Puente Independencia a 362 m.
- Escenario 3: Modelación numérica del río Piura con topografía 2017, posterior al FEN Costero, sin ensanchamiento del Puente Independencia.

Para ello, se han tomado como datos geométricos e hidráulicos, los contenidos en el Capítulo 4: Modelación numérica del río Piura con Hec-Ras, Apartados 4.3 y 4.6.

Se muestran los resultados obtenidos en cada una de las secciones de interés: Puentes y puntos de rotura del dique izquierdo. Los resultados en cada una de las secciones del río se pueden visualizar en su totalidad en los Apéndices A, B y C: Tabla de Resultados de las modelaciones para el escenario 1, 2 y 3, respectivamente.

Posteriormente los resultados obtenidos de la modelación perteneciente al Escenario 1, se han exportado al software Arcgis 10.3 para obtener el mapa de inundación en el que se evidencia visualmente las zonas de inundación a causa del máximo caudal de 3 468 m³/s que transcurrió por el río Piura en la avenida máxima del FEN Costero 2017 ocurrida el 27 de marzo del 2017.

El análisis correspondiente a los resultados son parte del Capítulo 6: Análisis de los resultados.

5.1. Escenario 1: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía 2015, anterior al FEN Costero, sin ensanchamiento del Puente Independencia

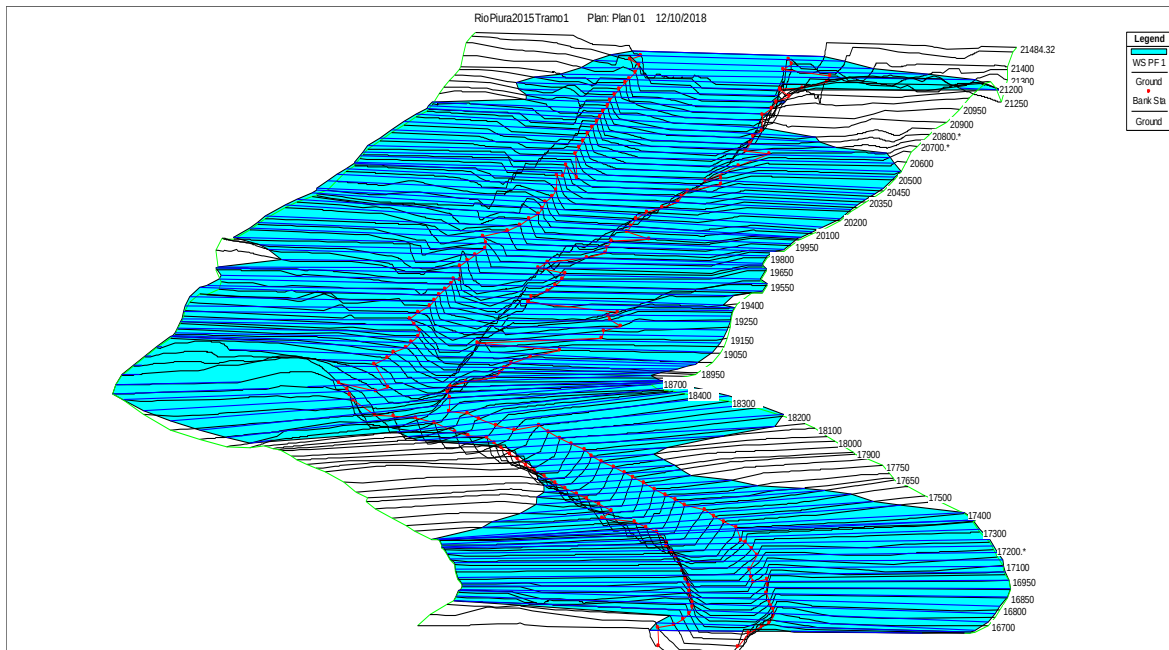


Figura 40. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

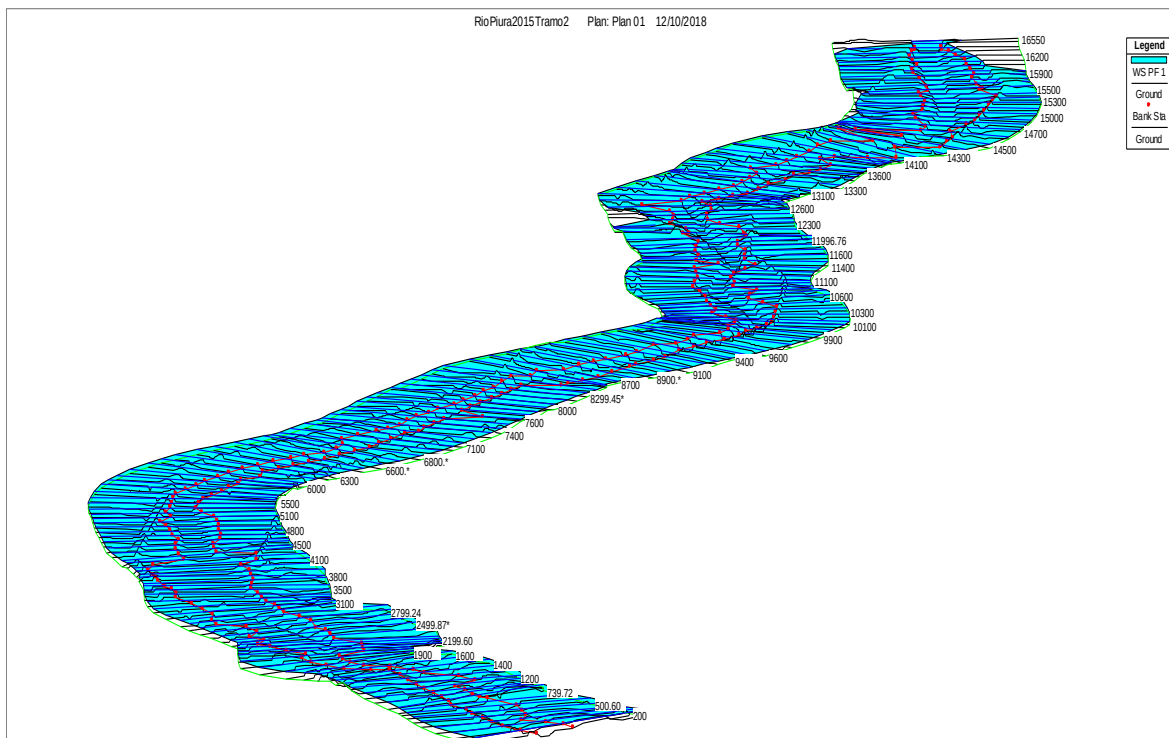


Figura 41. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Resultados por secciones transversales Presa Los Ejidos

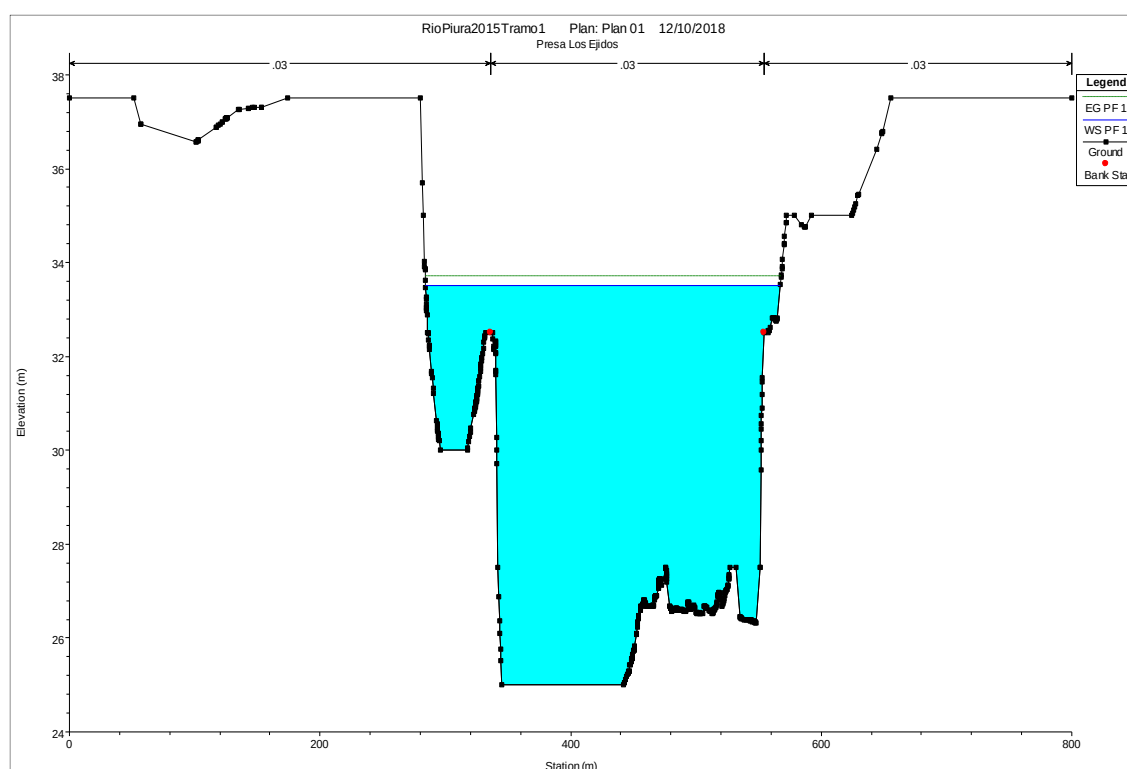


Figura 42. Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 21484.32 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	33.71	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.21	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	33.51	Reach Len. (m)	34.39	34.32	37.43
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	138.04	1619.05	9.57
E.G. Slope (m/m)	0.000275	Area (m2)	138.04	1619.05	9.57
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	144.32	3319.39	4.29
Top Width (m)	283.17	Top Width (m)	52.19	218.03	12.94
Vel Total (m/s)	1.96	Avg. Vel. (m/s)	1.05	2.05	0.45
Max Chl Dpth (m)	8.51	Hydr. Depth (m)	2.64	7.43	0.74
Conv. Total (m3/s)	209244.5	Conv. (m3/s)	8707.5	200277.9	259.1
Length Wtd. (m)	34.33	Wetted Per. (m)	53.03	226.48	13.06
Min Ch El (m)	25.00	Shear (N/m2)	7.01	19.26	1.97
Alpha	1.06	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	2025.24	5891.86	1799.31
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	1175.05	835.74	1191.75

Figura 43. Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Puente Cáceres

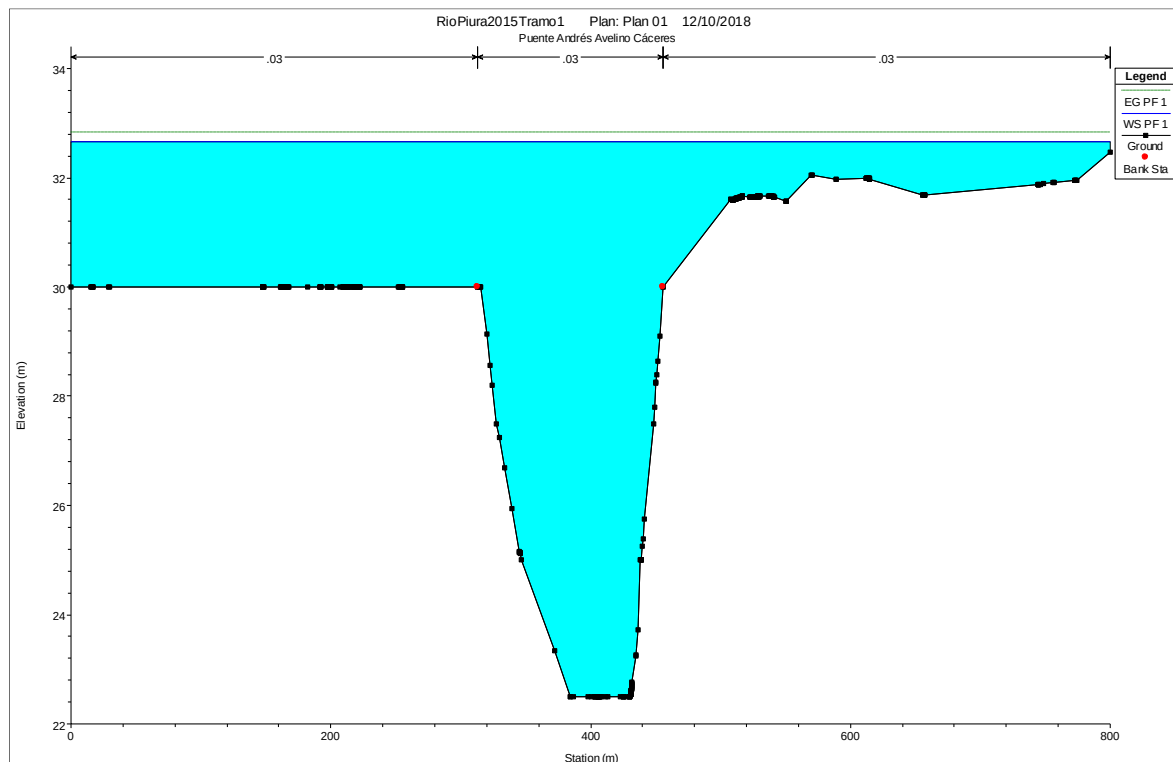


Figura 44. Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 18603.14 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	32.84	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	32.66	Reach Len. (m)	48.46	53.14	58.60
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	832.61	1147.70	332.52
E.G. Slope (m/m)	0.000258	Area (m2)	832.61	1147.70	332.52
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	850.88	2443.15	173.97
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	313.04	143.02	343.94
Vel Total (m/s)	1.50	Avg. Vel. (m/s)	1.02	2.13	0.52
Max Chl Dpth (m)	10.16	Hydr. Depth (m)	2.66	8.02	0.97
Conv. Total (m3/s)	215926.7	Conv. (m3/s)	52978.0	152116.6	10832.1
Length Wtd. (m)	52.62	Wetted Per. (m)	315.70	144.75	344.17
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m2)	6.67	20.06	2.44
Alpha	1.54	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	767.31	1751.87	470.82
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	561.58	240.88	422.78

Figura 45. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Puente Sánchez Cerro

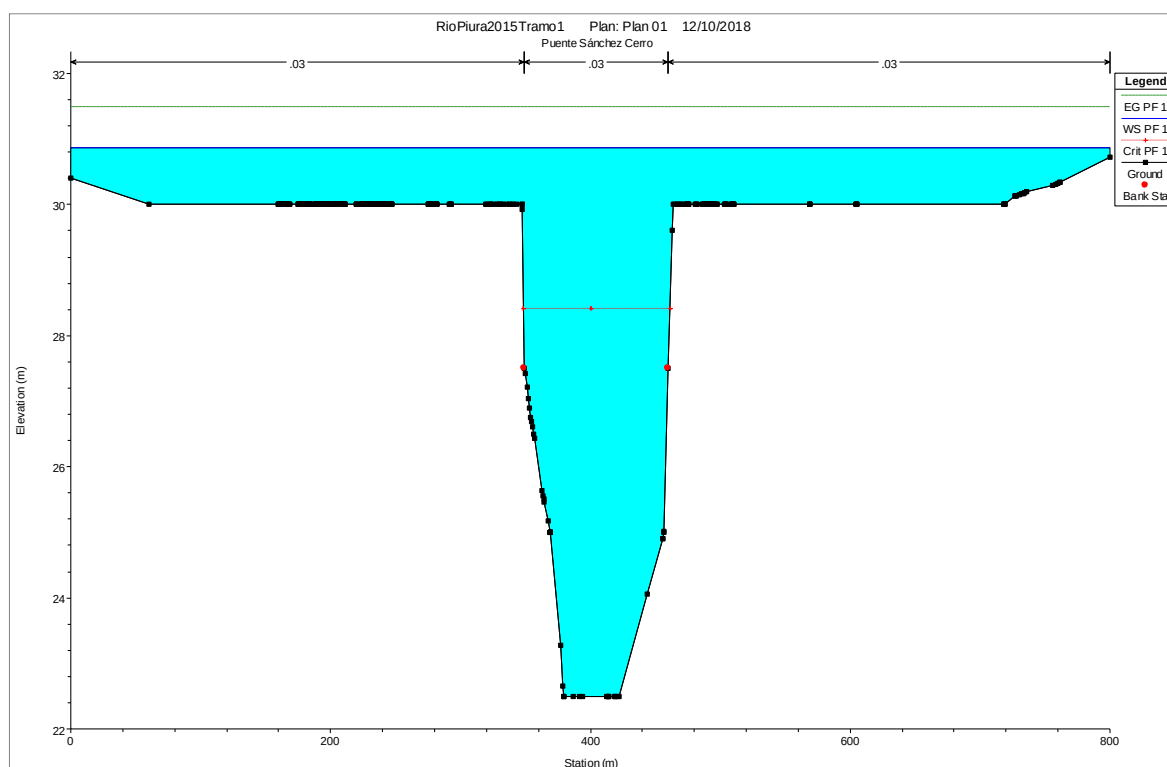


Figura 46. Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 17370.74 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	31.49	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.63	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	30.86	Reach Len. (m)	18.80	20.74	22.02
Crit W.S. (m)	28.41	Flow Area (m ²)	291.97	783.55	269.55
E.G. Slope (m/m)	0.000962	Area (m ²)	291.97	783.55	269.55
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	267.10	2962.65	238.25
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	349.18	110.65	340.17
Vel Total (m/s)	2.58	Avg. Vel. (m/s)	0.91	3.78	0.88
Max Chl Dpth (m)	8.36	Hydr. Depth (m)	0.84	7.08	0.79
Conv. Total (m ³ /s)	111795.1	Conv. (m ³ /s)	8610.4	95504.5	7680.2
Length W/d. (m)	20.68	Wetted Per. (m)	350.85	112.06	341.07
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m ²)	7.85	65.99	7.46
Alpha	1.85	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Fricn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m ³)	318.41	678.69	191.76
C & E Loss (m)	0.05	Cum SA (1000 m ²)	279.16	95.58	230.21

Figura 47. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Puente Bolognesi

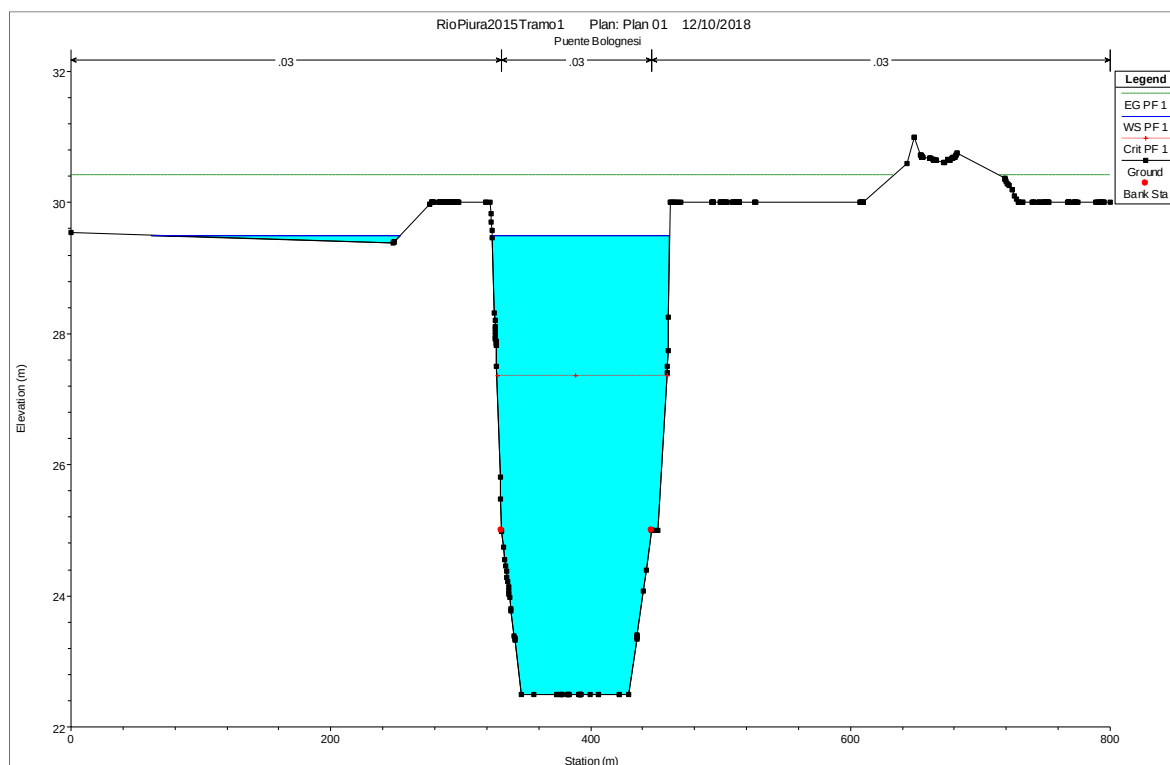


Figura 48. Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 16550 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	30.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.95	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	29.50	Reach Len. (m)	54.17	49.60	46.05
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	15.51	756.63	49.45
E.G. Slope (m/m)	0.001387	Area (m2)	15.51	756.63	49.45
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	28.43	3311.80	127.77
Top Width (m)	143.48	Top Width (m)	14.27	113.90	15.32
Vel Total (m/s)	4.22	Avg. Vel. (m/s)	1.83	4.38	2.58
Max Chl Dpth (m)	7.00	Hydr. Depth (m)	1.09	6.64	3.23
Conv. Total (m3/s)	93118.5	Conv. (m3/s)	763.4	88924.4	3430.7
Length Wtd. (m)	49.60	Wetted Per. (m)	15.55	114.29	16.47
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m2)	13.56	90.05	40.85
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)	14425.37	17557.37	12938.85
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	4868.49	3434.08	4718.96

Figura 49. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Puente Grau

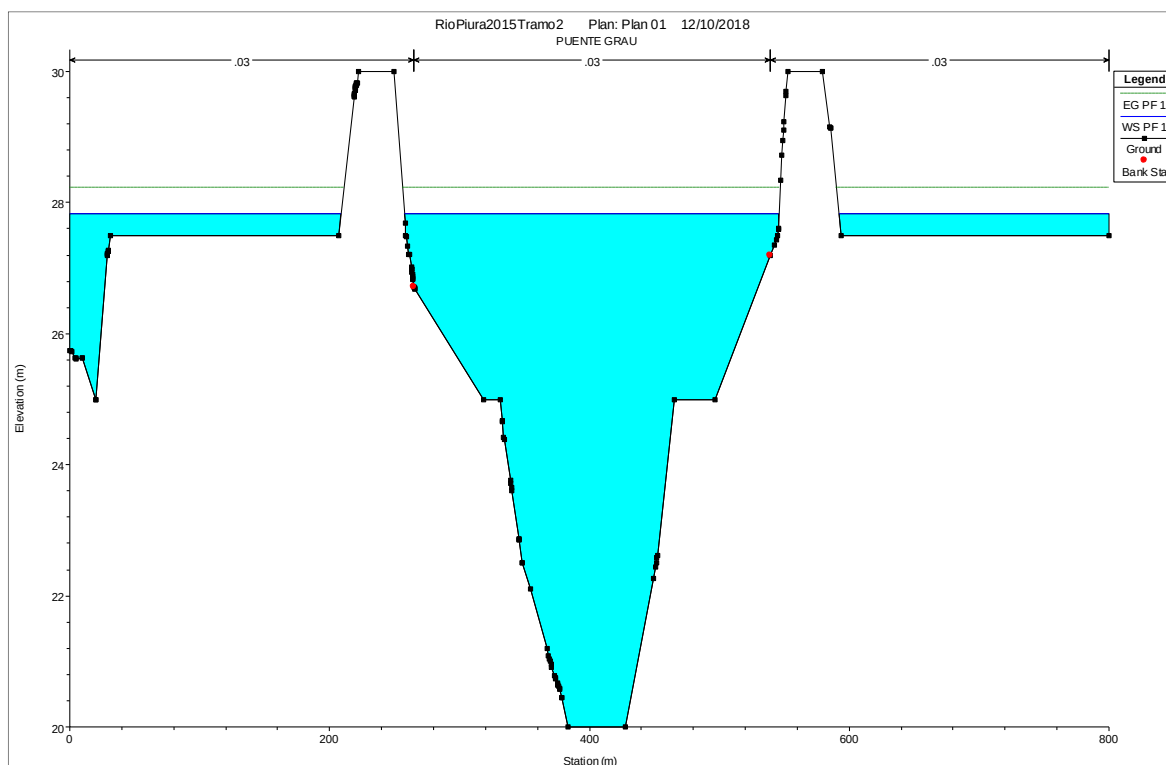


Figura 50. Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 11936.76 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	28.23	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.40	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	27.83	Reach Len. (m)	86.66	96.76	108.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	126.00	1163.33	70.72
E.G. Slope (m/m)	0.001079	Area (m ²)	126.00	1163.33	70.72
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	95.43	3335.62	36.95
Top Width (m)	705.31	Top Width (m)	216.51	273.81	215.00
Vel Total (m/s)	2.55	Avg. Vel. (m/s)	0.76	2.87	0.52
Max Chl Dpth (m)	7.83	Hydr. Depth (m)	0.58	4.25	0.33
Conv. Total (m ³ /s)	105572.9	Conv. (m ³ /s)	2905.0	101543.0	1124.9
Length Wtd. (m)	95.42	Wetted Per. (m)	219.05	274.54	215.44
Min Ch El (m)	20.00	Shear (N/m ²)	6.09	44.84	3.47
Alpha	1.22	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m ³)	11874.11	12303.33	10052.66
C & E Loss (m)	0.09	Cum SA (1000 m ²)	3834.11	2408.07	3517.77

Figura 51. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Puente Independencia

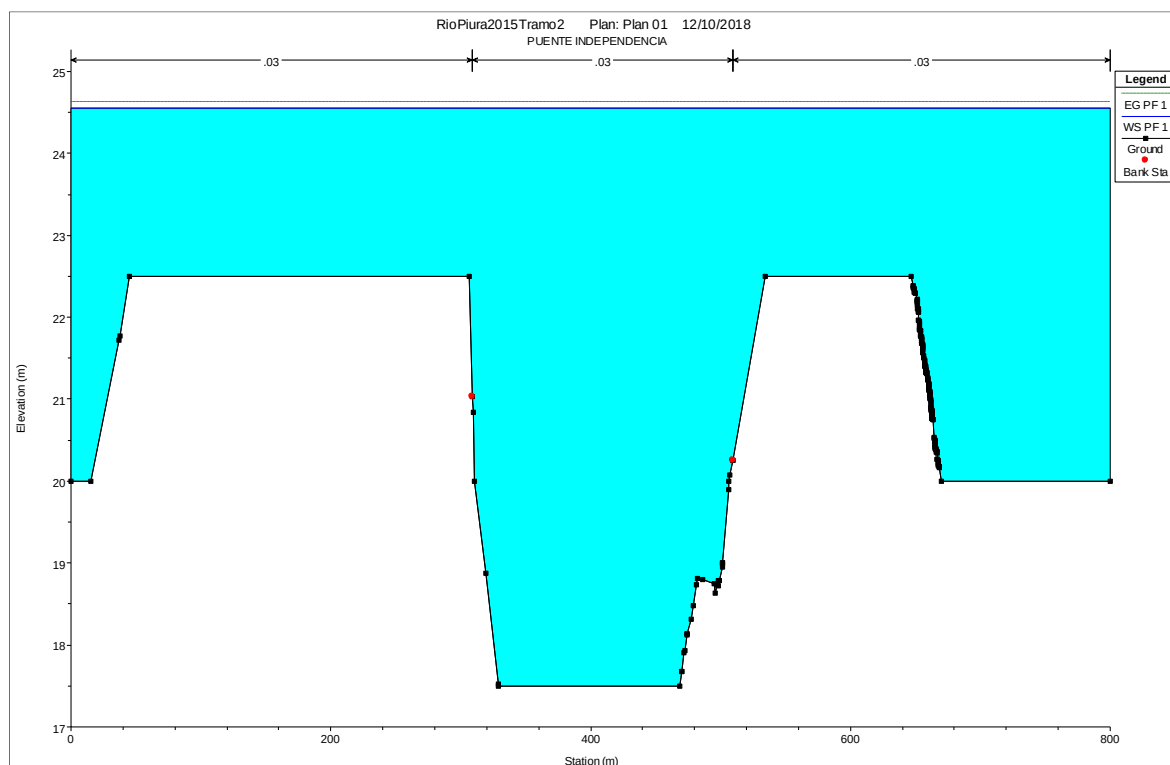


Figura 52. Sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 739.72 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	24.63	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	24.55	Reach Len. (m)	157.93	139.72	121.81
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	711.84	1331.08	976.27
E.G. Slope (m/m)	0.000165	Area (m2)	711.84	1331.08	976.27
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	526.34	2013.52	928.15
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	309.20	200.08	290.72
Vel Total (m/s)	1.15	Avg. Vel. (m/s)	0.74	1.51	0.95
Max Chl Dpth (m)	7.05	Hydr. Depth (m)	2.30	6.65	3.36
Conv. Total (m3/s)	269678.2	Conv. (m3/s)	40929.1	156574.6	72174.5
Length Wtd. (m)	136.37	Wetted Per. (m)	314.22	200.79	295.57
Min Ch El (m)	17.50	Shear (N/m2)	3.67	10.75	5.36
Alpha	1.25	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	753.48	889.09	983.44
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	265.95	152.53	236.16

Figura 53. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Niveles de agua

Tabla 5. Resultados de niveles de cota de agua el escenario 1.

Sección transversal	Progresiva km	Cota mínima msnm	Cota de superficie de agua msnm	Cota de nivel de línea de energía msnm
Presa Los Ejidos	21+484.32	25,00	33,51	33,71
Puente Cáceres	18+603.14	22,50	32,66	32,84
Puente Sánchez Cerro	17+370.74	22,50	30,86	31,49
Puente Bolognesi	16+550.00	22,50	29,50	30,45
Puente Grau	11+996.76	20,00	27,83	28,23
Rotura Simbilá	10+035.00	20,00	27,23	27,39
Rotura Viduque	8+498.90	20,00	26,45	26,57
Rotura Narihualá	2+699.33	20,00	24,83	24,87
Rotura Pedregal Chico	1+500.00	17,50	24,74	24,69
Puente Independencia	0+739.72	17,50	24,55	24,63
Rotura Molino Azul	0+000.00	17,50	24,48	24,52

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los distintos niveles de agua para el escenario 1, en el que se modela con datos geométricos obtenidos de la topografía levantada en el año 2015, asumiendo que se trata de un escenario con topografía similar a la del año 2017 en el que sucedió el FEN Costero, por la ausencia de fenómenos de gran magnitud que hayan modificado sustancialmente la topografía 2015.

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos con la modelación y los datos medidos en campo el día de la avenida máxima se muestran en el Capítulo 6, apartado 6.1.

En la Figura 54 se muestra el perfil longitudinal del río Piura para el escenario 1, en el que se evidencian pendientes suaves de 0,0005 en el tramo 1 comprendido entre Presa Los Ejidos y Puente Bolognesi, y pendiente de 0,0003 en el tramo 2 comprendido entre Puente Bolognesi y aguas abajo del Puente Independencia, siendo característico de un flujo subcrítico.

Se muestran resaltos hidráulicos en zonas aguas abajo de las secciones pertenecientes a estructuras hidráulicas de la zona urbana: Puente Cáceres, Puente Sánchez Cerro, Puente Bolognesi y Puente Grau, manifestándose en aumentos de velocidad, pendiente energética y aumentos del número de Froude en éstas mismas progresivas.

Se evidencia que los mayores tirantes de agua corren en la zona urbana o Tramo 1, entre el puente Bolognesi (16+550,00 km) y la Presa Los Ejidos (21+484,32 km) y menores en el Bajo Piura o Tramo 2 comprendida entre la zona de Molino Azul (0+000,00) y Puente Bolognesi.

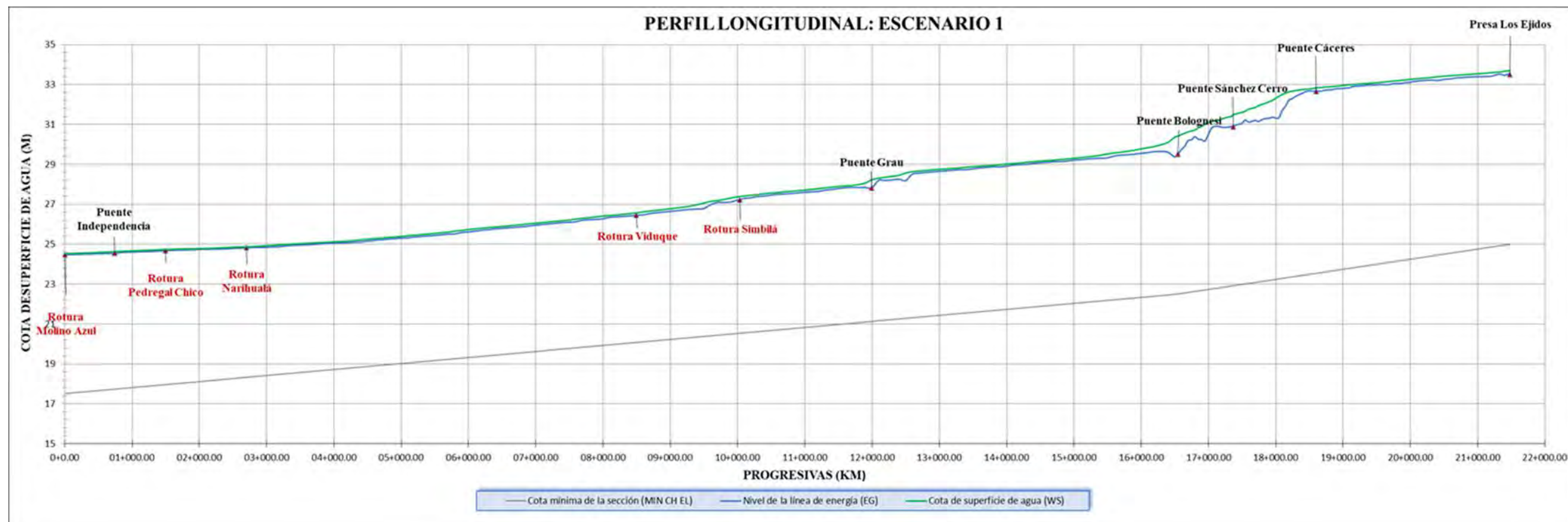


Figura 54. Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Velocidades

Tabla 6. Resultados de velocidades por sección para el escenario 1.

Sección transversal	Progresiva km	V izquierda m/s	V cauce m/s	V derecha m/s	V media m/s
Presa Los Ejidos	21+484,32	1,05	2,05	0,45	1,96
Puente Cáceres	18+603,14	1,02	2,13	0,52	1,50
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	0,91	3,78	0,88	2,58
Puente Bolognesi	16+550,00	1,83	4,38	2,58	4,22
Puente Grau	11+996,76	0,76	2,87	0,52	2,55
Rotura Simbilá	10+035,00	1,15	2,19	1,19	1,54
Rotura Viduque	8+498,90	1,09	1,76	1,14	1,42
Rotura Narihualá	2+699,33	0,81	1,06	0,86	0,92
Rotura Pedregal Chico	1+500,00	1,05	1,11	0,78	0,97
Puente Independencia	0+739,72	0,74	1,51	0,95	1,15
Rotura Molino Azul	0+000,00	0,74	1,09	0,92	0,91

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 muestra las velocidades obtenidas para el escenario 1. En ella se observa que en la sección del Puente Bolognesi (16+550,00 km) ocurre la mayor velocidad media de 4.22 m/s, así como la mayor velocidad de 4,38 m/s en el cauce del río, en comparación con los demás puentes del tramo en estudio.

En la Figura 55 se visualizan las velocidades a lo largo del tramo de río en estudio.

Las mayores velocidades en el cauce del río ocurren en la zona urbana de la ciudad o en el tramo 1 de estudio, de manera notable entre los puentes Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Cáceres (18+603,14 km) con picos de 4.65 m/s y 4,42 m/s en las progresivas 18+000,00 y 18+050.00 respectivamente. Asimismo, entre los puentes Bolognesi (16+550,00 km) y Sánchez Cerro (17+370,74 km), se visualiza el valor de 4,18 m/s en la progresiva 16+950,00 km.

Las menores velocidades en el cauce del río ocurren en el valle del Bajo Piura o en el tramo 2 de estudio, entre los puentes Independencia (0+739,72 km) y Grau (11+996,76 km), con un valor mínimo de 0,94 m/s en la progresiva 2+064,10.

La mayor velocidad en el margen derecho del río ocurre específicamente en la progresiva 16+550,00 con un valor pico de 2,61 m/s, exactamente al margen derecho del puente Bolognesi.

La mayor velocidad en el margen izquierdo del río ocurre específicamente en la progresiva 16+498,50 con un valor pico de 2,44 m/s, cerca de la localidad de Narihualá en el Bajo Piura.

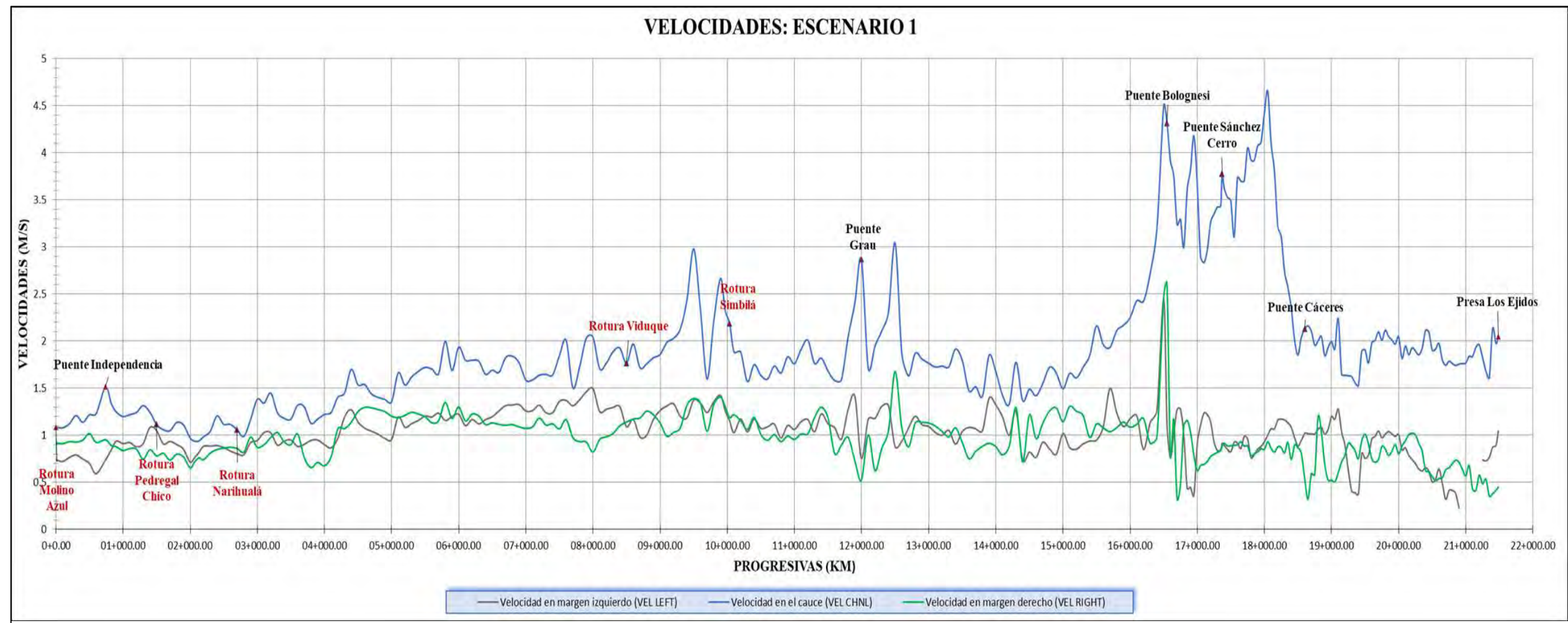


Figura 55. Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Caudales

Tabla 7. Resultados de caudales por sección para el escenario 1.

Sección transversal	Progresiva km	Q izquierdo m ³ /s	Q cauce m ³ /s	Q derecho m ³ /s
Presa Los Ejidos	21+484.32	144,32	3 319,39	4,29
Puente Cáceres	18+603.14	850,88	2 443,15	173,97
Puente Sánchez Cerro	17+370.74	267,10	2 962,65	238,25
Puente Bolognesi	16+550.00	28,43	3 311,80	127,77
Puente Grau	11+996.76	95,43	3 335,62	36,95
Rotura Simbilá	10+035.00	822,99	1 780,24	864,77
Rotura Viduque	8+498.90	564,83	2 023,63	879,54
Rotura Narihualá	2+699.33	1 099,66	1 652,36	715,99
Rotura Pedregal Chico	1+500.00	1 762,95	744,39	960,66
Puente Independencia	0+739.72	526,34	2 013,52	928,15
Rotura Molino Azul	0+000.00	931,32	1 184,54	1 352,14

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 muestra los caudales obtenidos para el escenario 1. En ella se observa que en las secciones correspondientes a la Presa Los Ejidos (21+484,32 km) y al Puente Grau (11+996,76 km) ocurren los mayores caudales de 3 319,39 m³/s y 3 335,62 m³/s en el cauce, en comparación a los caudales de las demás secciones de interés mostradas en la tabla.

En la Figura 56 se visualizan los caudales en el cauce y en los márgenes a lo largo del tramo de río en estudio.

El mayor caudal del cauce ocurre en la zona urbana de la ciudad o en el Tramo 1 de estudio, de manera notable en la progresiva 21+150,00 con un caudal de 3 436,78 m³/s, entre la Presa Los Ejidos y puente Sánchez Cerro.

El menor caudal del cauce ocurre en el valle del Bajo Piura o en el Tramo 2 de estudio, específicamente en la progresiva 1+600,00 en la localidad de Pedregal Chico con un valor de 700,53 m³/s; sin embargo, es en ésta misma progresiva donde ocurren los mayores caudales en los márgenes del río.

Del mismo modo, en la zona del Bajo Piura o Tramo 2, ocurren los mayores caudales en ambos márgenes del río, superando en algunos casos al caudal del cauce. En el caso de cada uno de puntos de rotura identificados en el dique izquierdo, tales como Narihualá y Pedregal Chico, sucede que los mayores caudales se presentan en el margen izquierdo del río, siendo el mayor caudal el de 1 762,95 m³/s en el distrito de Pedregal Chico.

5.1.5. Número de Froude

De manera general, los números de Froude obtenidos son menores a 1, reafirmando que se trata de un flujo subcrítico.

Los mayores valores se registran entre los Puentes Bolognesi (16+550.00 km) y Cáceres (18+603,14 km), con el valor pico de 0,58 en la progresiva 18+050,00.

Los menores valores se registran en la zona del Bajo Piura o Tramo 2, con el valor mínimo de 0,12 en las progresivas 1+998,60 y 2+065,60. Figura 57

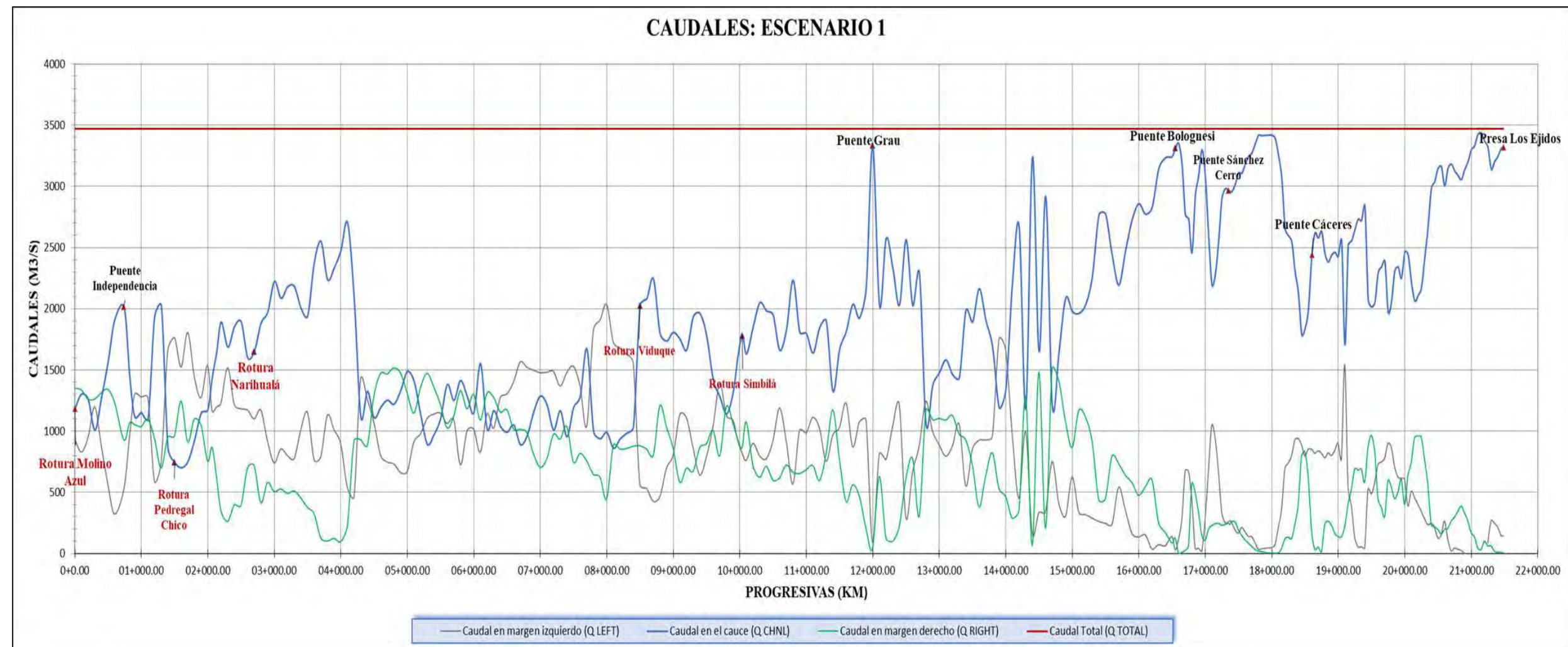


Figura 56. Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

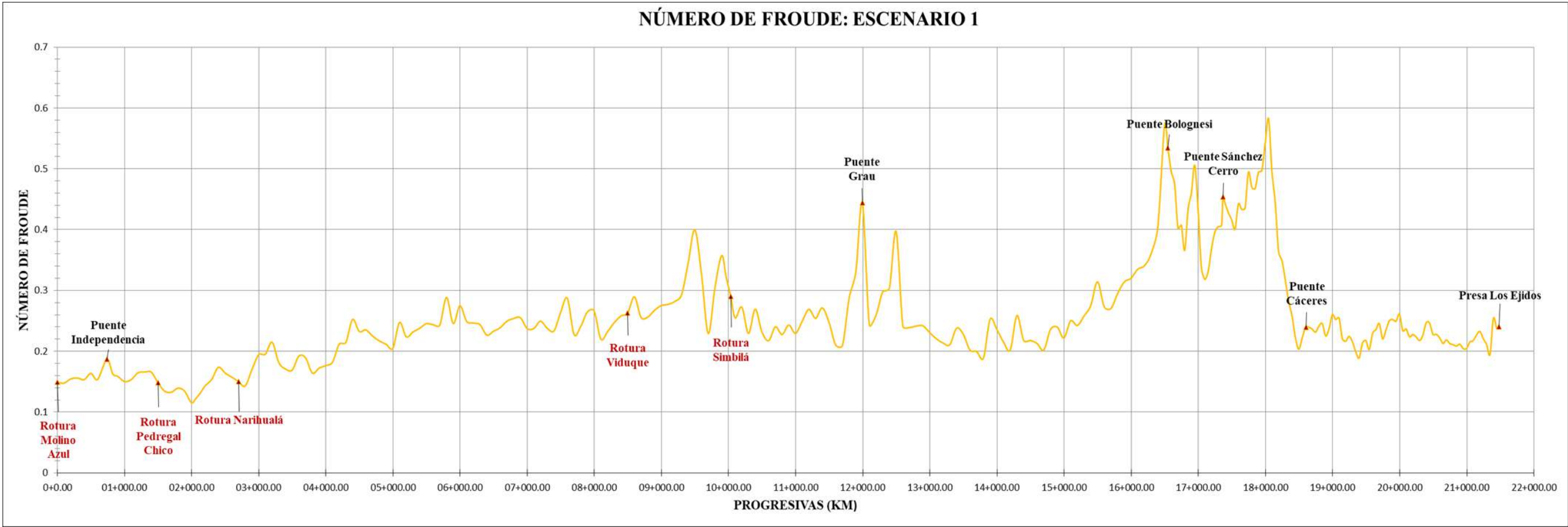


Figura 57. Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

5.2. Escenario 2: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía anterior al FEN Costero 2017, considerando ensanchamiento del Puente Independencia a 362 m.

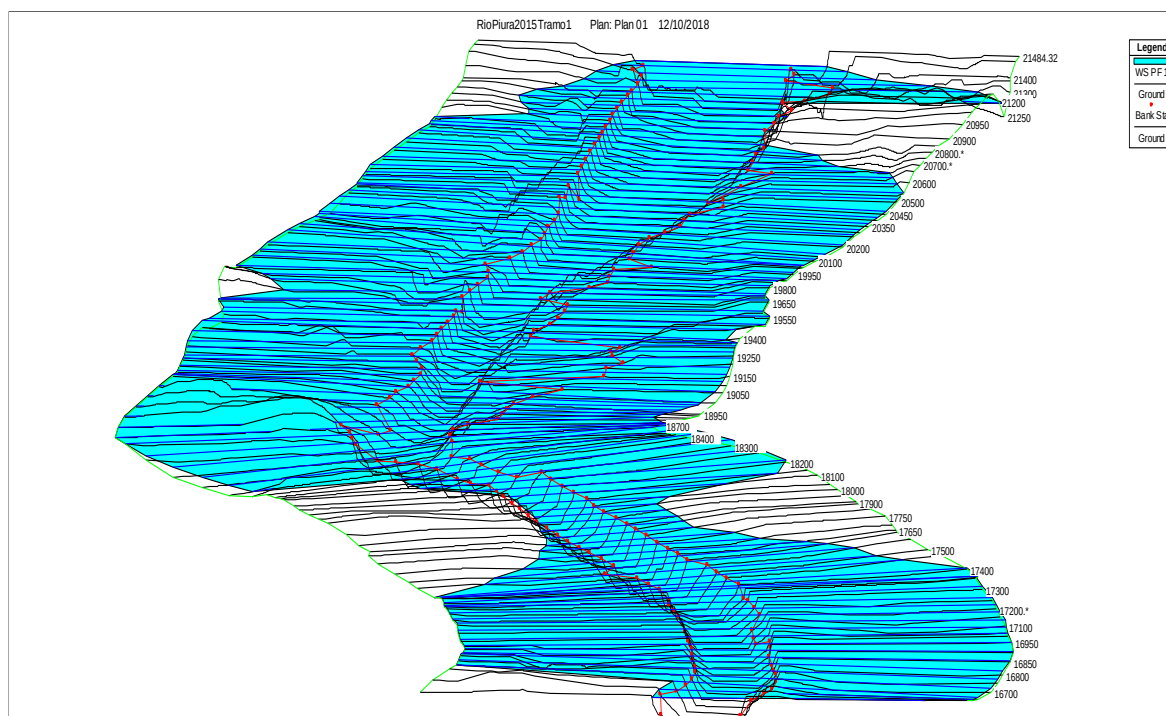


Figura 58. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

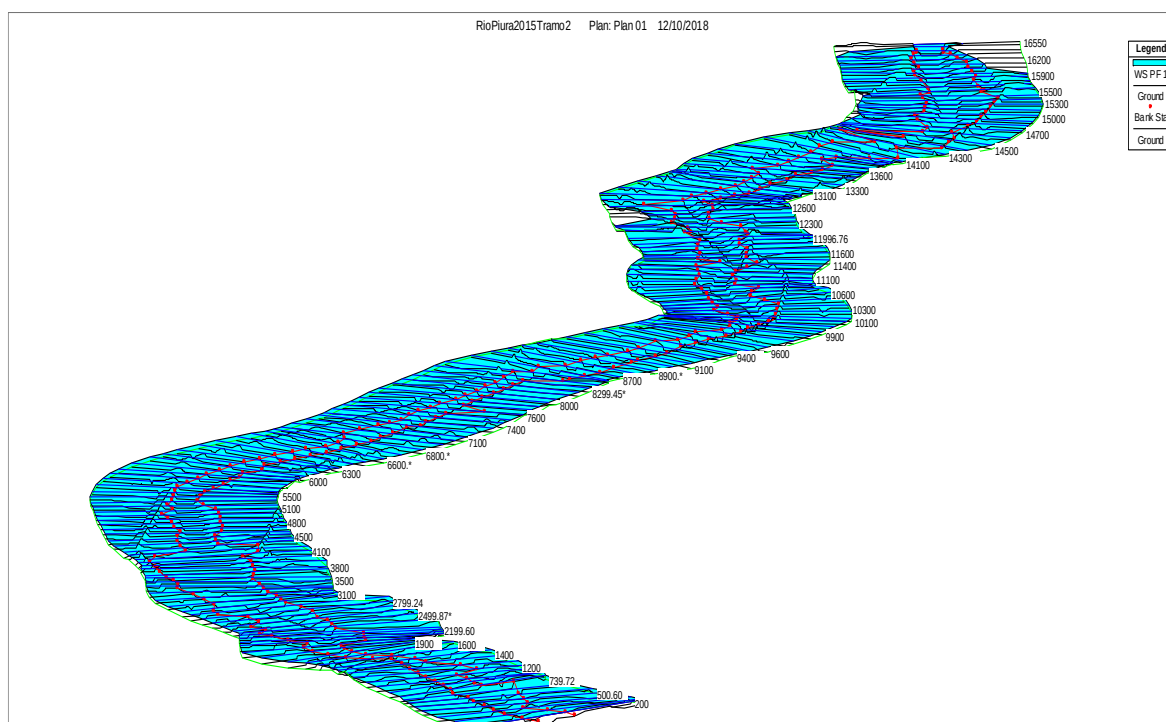


Figura 59. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Resultados por secciones transversales de interés

Presa Los Ejidos

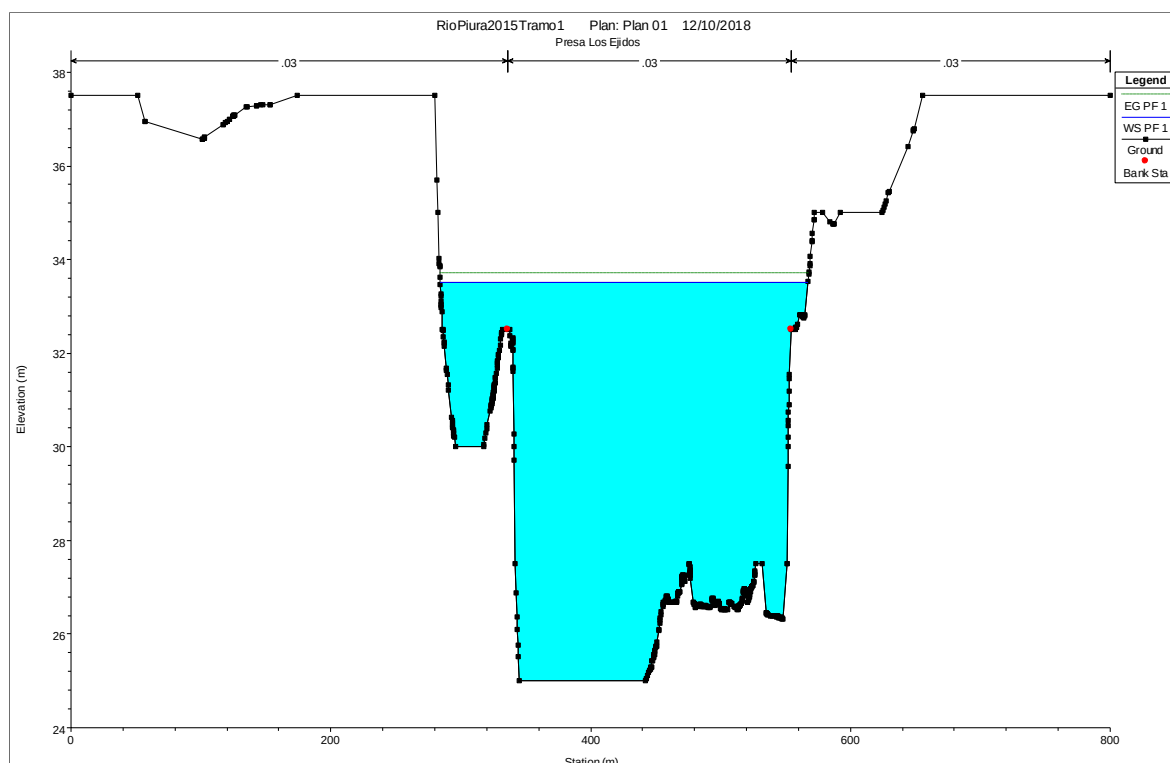


Figura 60. Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 21484.32 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	33.71	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.21	W/t n-Val	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	33.51	Reach Len. (m)	34.39	34.32	37.43
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	138.04	1619.05	9.57
E.G. Slope (m/m)	0.000275	Area (m2)	138.04	1619.05	9.57
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	144.32	3319.39	4.29
Top Width (m)	283.17	Top Width (m)	52.19	218.03	12.94
Vel Total (m/s)	1.96	Avg. Vel. (m/s)	1.05	2.05	0.45
Max Chl Dpth (m)	8.51	Hydr. Depth (m)	2.64	7.43	0.74
Conv. Total (m3/s)	209244.5	Conv. (m3/s)	8707.5	200277.9	259.1
Length Wtd. (m)	34.33	Wetted Per. (m)	53.03	226.48	13.06
Min Ch El (m)	25.00	Shear (N/m2)	7.01	19.26	1.97
Alpha	1.06	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frict Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	2025.24	5891.86	1799.31
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	1175.05	835.74	1191.75

Figura 61. Figura 5.22. Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

Puente Cáceres

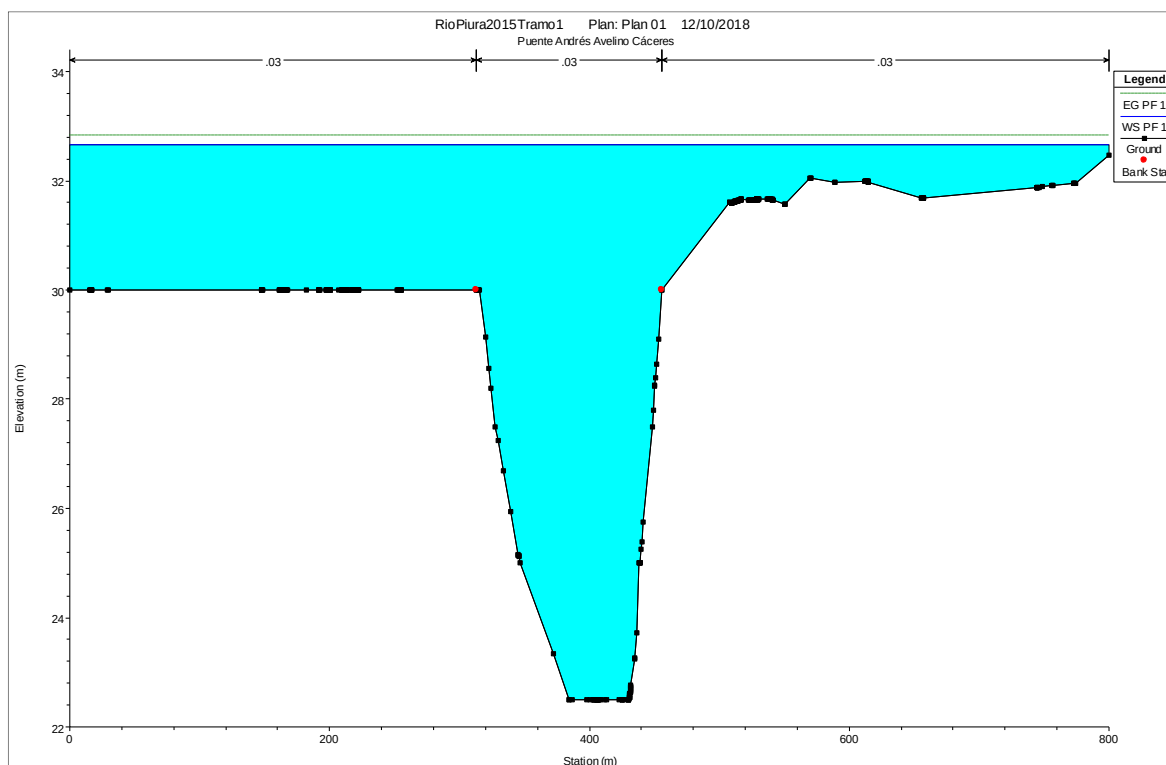


Figura 62. Figura 5.23. Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 18603.14 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	32.84	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	32.66	Reach Len. (m)	48.46	53.14	58.60
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	832.61	1147.70	332.52
E.G. Slope (m/m)	0.000258	Area (m ²)	832.61	1147.70	332.52
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	850.88	2443.15	173.97
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	313.04	143.02	343.94
Vel Total (m/s)	1.50	Avg. Vel. (m/s)	1.02	2.13	0.52
Max Chl Dpth (m)	10.16	Hydr. Depth (m)	2.66	8.02	0.97
Conv. Total (m ³ /s)	215926.7	Conv. (m ³ /s)	52978.0	152116.6	10832.1
Length Wtd. (m)	52.62	Wetted Per. (m)	315.70	144.75	344.17
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m ²)	6.67	20.06	2.44
Alpha	1.54	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m ³)	767.31	1751.87	470.82
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m ²)	561.58	240.88	422.78

Figura 63. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Puente Sánchez Cerro

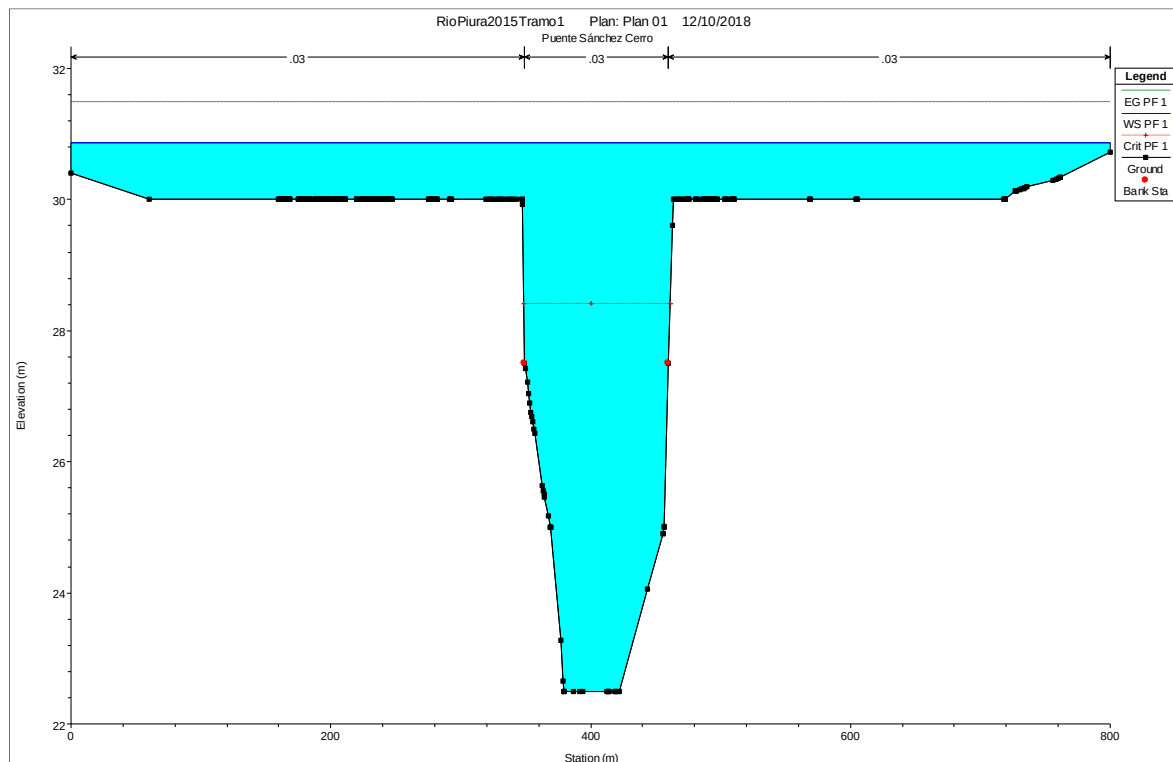


Figura 64. Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 17370.74 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	31.49	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.63	Wt n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	30.86	Reach Len. (m)	18.80	20.74	22.02
Crit W.S. (m)	28.41	Flow Area (m2)	291.97	783.55	269.55
E.G. Slope (m/m)	0.000962	Area (m2)	291.97	783.55	269.55
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	267.10	2962.65	238.25
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	349.18	110.65	340.17
Vel Total (m/s)	2.58	Avg. Vel. (m/s)	0.91	3.78	0.88
Max Chl Dpth (m)	8.36	Hydr. Depth (m)	0.84	7.08	0.79
Conv. Total (m3/s)	111795.1	Conv. (m3/s)	8610.4	95504.5	7680.2
Length Wtd. (m)	20.68	Wetted Per. (m)	350.85	112.06	341.07
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m2)	7.85	65.99	7.46
Alpha	1.85	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Fictn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	318.41	678.69	191.76
C & E Loss (m)	0.05	Cum SA (1000 m2)	279.16	95.58	230.21

Figura 65. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Puente Bolognesi

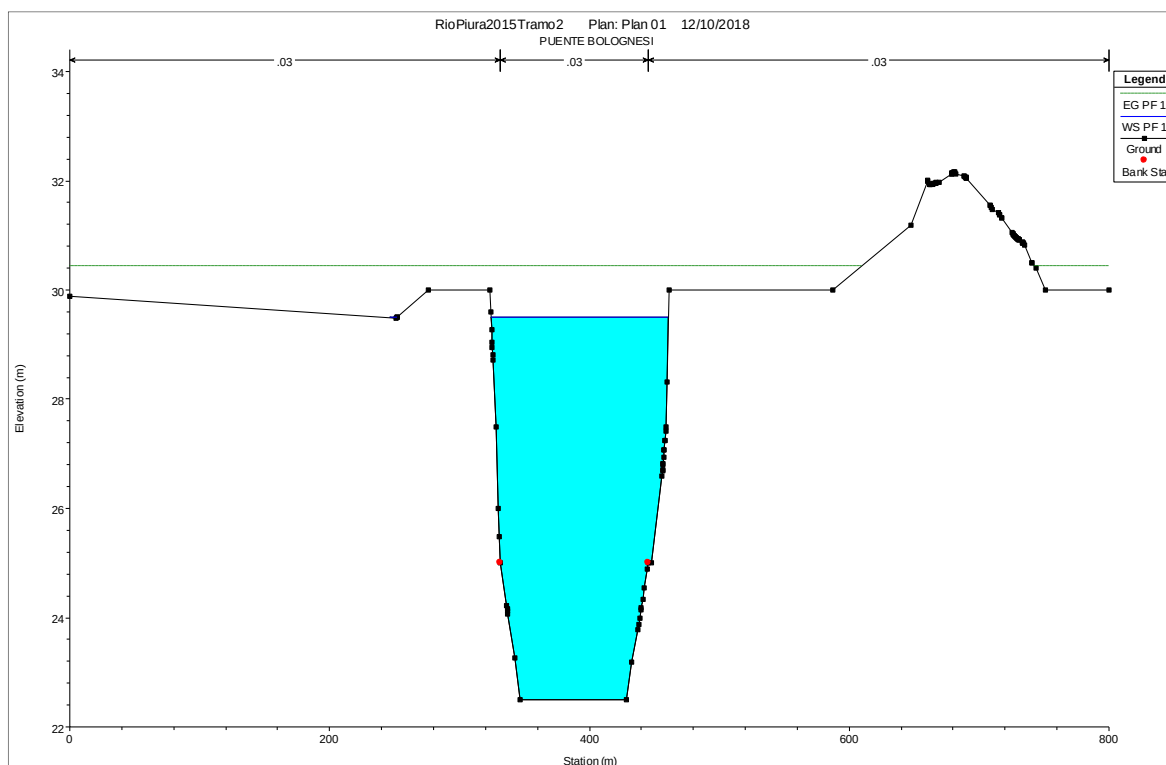


Figura 66. Figura 5.27. Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 16550 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	30.44	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.95	Wt. n-Val	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	29.50	Reach Len. (m)	54.17	49.60	46.05
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	15.48	756.39	49.42
E.G. Slope (m/m)	0.001389	Area (m ²)	15.48	756.39	49.42
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	28.41	3311.88	127.72
Top Width (m)	142.03	Top Width (m)	12.81	113.90	15.31
Vel Total (m/s)	4.22	Avg. Vel. (m/s)	1.84	4.38	2.58
Max Chl Dpth (m)	7.00	Hydr. Depth (m)	1.21	6.64	3.23
Conv. Total (m ³ /s)	93068.5	Conv. (m ³ /s)	762.4	88878.7	3427.5
Length Wtd. (m)	49.60	Wetted Per. (m)	14.10	114.29	16.46
Min Ch El (m)	22.50	Shear (N/m ²)	14.94	90.12	40.87
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m ³)	12964.25	16633.93	11699.78
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m ²)	4841.62	3449.54	4702.91

Figura 67. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Puente Grau

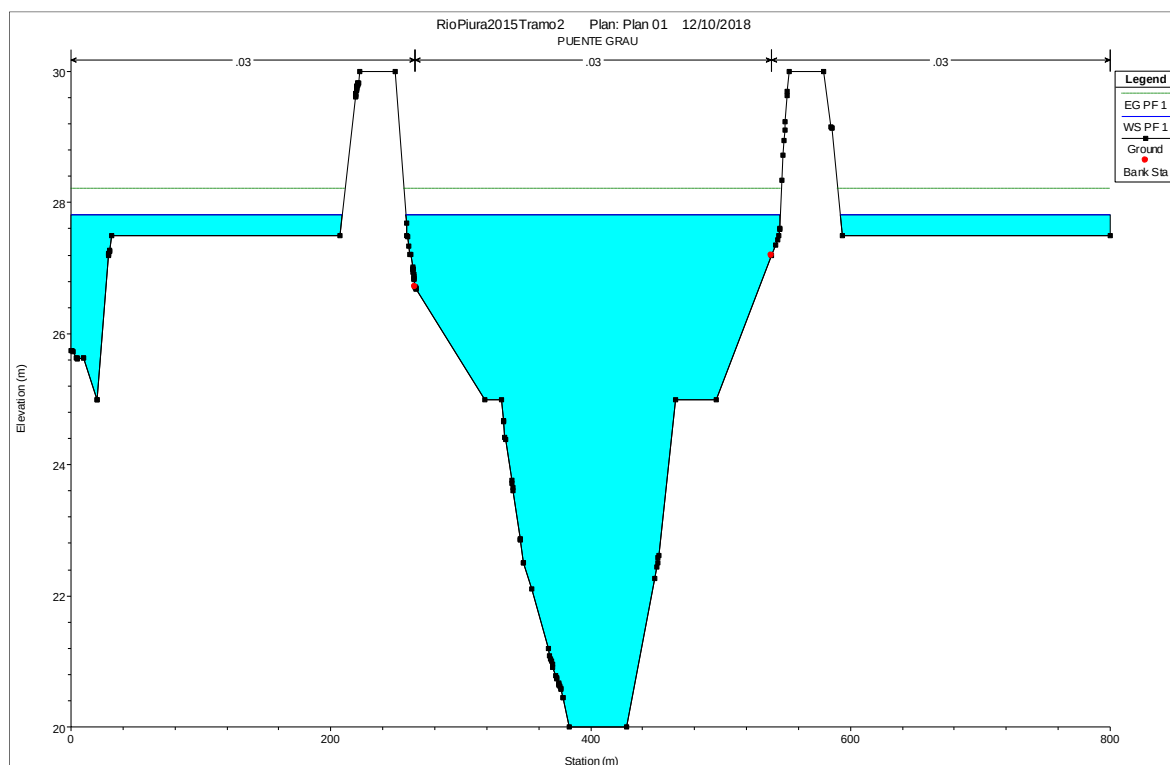


Figura 68. Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 11396.75 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	28.22	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.41	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	27.81	Reach Len. (m)	86.66	96.76	108.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	122.20	1158.53	66.95
E.G. Slope (m/m)	0.001098	Area (m2)	122.20	1158.53	66.95
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	91.55	3342.39	34.06
Top Width (m)	705.03	Top Width (m)	216.35	273.81	214.87
Vel Total (m/s)	2.57	Avg. Vel. (m/s)	0.75	2.89	0.51
Max Chl Dpth (m)	7.81	Hydr. Depth (m)	0.56	4.23	0.31
Conv. Total (m3/s)	104636.1	Conv. (m3/s)	2762.3	100846.0	1027.7
Length Wtd. (m)	95.42	Wetted Per. (m)	218.87	274.54	215.29
Min Ch El (m)	20.00	Shear (N/m2)	6.01	45.46	3.35
Alpha	1.21	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)	10419.58	11385.44	8820.16
C & E Loss (m)	0.09	Cum SA (1000 m2)	3807.50	2423.54	3502.05

Figura 69. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Puente Independencia con ensanchamiento

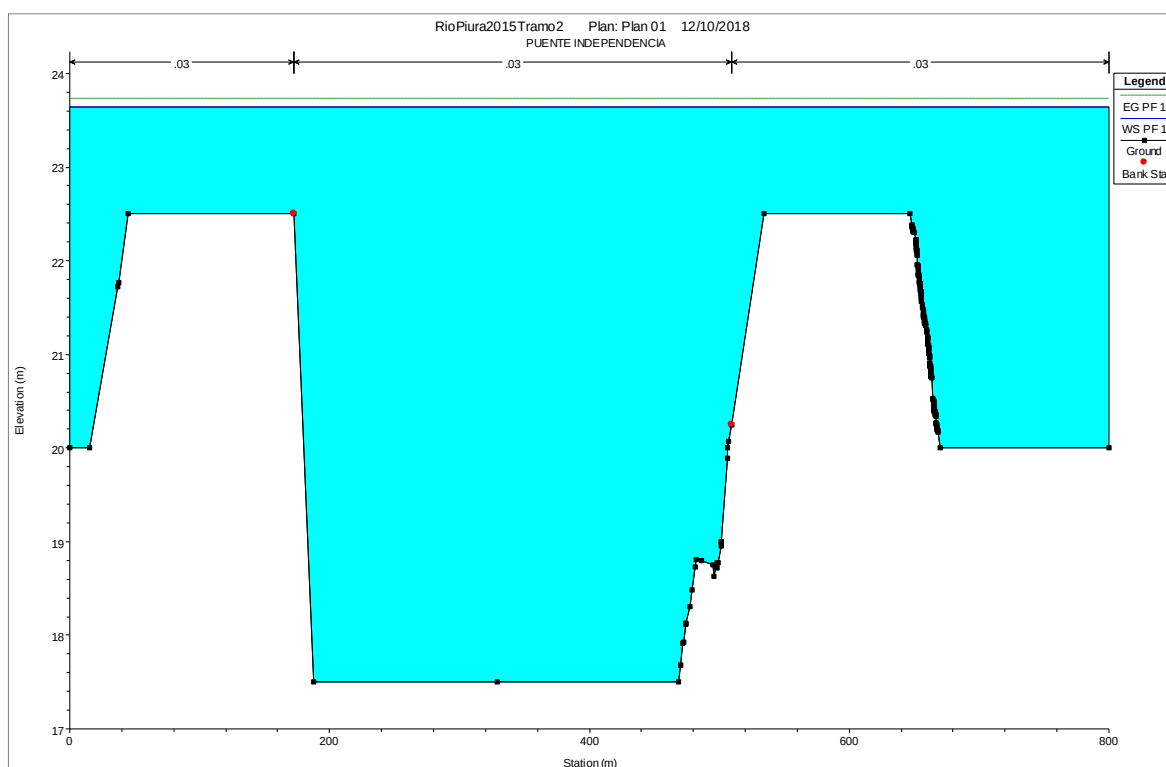


Figura 70. Sección transversal del Puente Independencia con ensanchamiento, para el escenario 2
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA 2015 TRAMO 2 RS: 739.72 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	23.73	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	23.64	Reach Len. (m)	157.93	139.72	121.81
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	273.99	1980.44	713.44
E.G. Slope (m/m)	0.000165	Area (m ²)	273.99	1980.44	713.44
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	157.57	2759.20	551.24
Top Width (m)	800.00	Top Width (m)	172.49	336.79	290.72
Vel Total (m/s)	1.17	Avg. Vel. (m/s)	0.58	1.39	0.77
Max Chl Dpth (m)	6.14	Hydr. Depth (m)	1.59	5.88	2.45
Conv. Total (m ³ /s)	269765.8	Conv. (m ³ /s)	12256.8	214629.9	42879.1
Length Wtd. (m)	136.16	Wetted Per. (m)	176.24	337.82	294.67
Min Ch El (m)	17.50	Shear (N/m ²)	2.52	9.50	3.92
Alpha	1.21	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m ³)	478.31	797.02	749.73
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m ²)	255.16	162.08	236.16

Figura 71. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Independencia con ensanchamiento, para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Niveles de superficie de agua

Tabla 8. Resultados de niveles de cota de agua por sección para el escenario 2.

Sección transversal	Progresiva km	Cota mínima de agua msnm	Cota de superficie de agua msnm	Cota de nivel línea energía msnm
Presa Los Ejidos	21+484.32	25,00	33,51	33,71
Puente Cáceres	18+603.14	22,50	32,66	32,84
Puente Sánchez Cerro	17+370.74	22,50	30,86	31,49
Puente Bolognesi	16+550.00	22,50	29,50	30,44
Puente Grau	11+996.76	20,00	27,81	28,22
Rotura Simbilá	10+035.00	20,00	27,20	27,36
Rotura Viduque	8+498.90	20,00	26,36	26,49
Rotura Narihualá	2+699.33	20,00	24,13	24,20
Rotura Pedregal Chico	1+500.00	17,50	23,86	23,94
Puente Independencia	0+739.72	17,50	23,64	23,73
Rotura Molino Azul	0+000.00	17,50	23,43	23,51

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos de los distintos niveles de agua para el escenario 2, en el que se modela con datos geométricos pertenecientes al año 2015, es decir con topografía similar a la del año 2017, en el que sucedió el FEN Costero, pero con la modificación del ensanchamiento a 362 m del puente Independencia en su sección transversal tal como se encuentra en la actualidad.

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos con la modelación del escenario 1 y la modelación del escenario 2, es decir con y sin puente ampliado, se muestran en el Capítulo 6, Apartado 6.2.

De la misma manera que en el escenario 1, se evidencian resaltos hidráulicos en zonas aguas abajo de las secciones pertenecientes a estructuras hidráulicas de la zona urbana: Puente Cáceres, Puente Sánchez Cerro, Puente Bolognesi y Puente Grau, manifestándose en aumentos de velocidad, pendiente energética y aumentos del número de Froude en éstas mismas progresivas.

Los mayores tirantes de agua corren en la zona urbana o Tramo 1, entre el puente Bolognesi (16+550,00 km) y la Presa Los Ejidos (21+484,32 km) y menores en el Bajo Piura o Tramo 2 comprendida entre la zona de Molino Azul (0+000,00) y Puente Bolognesi.

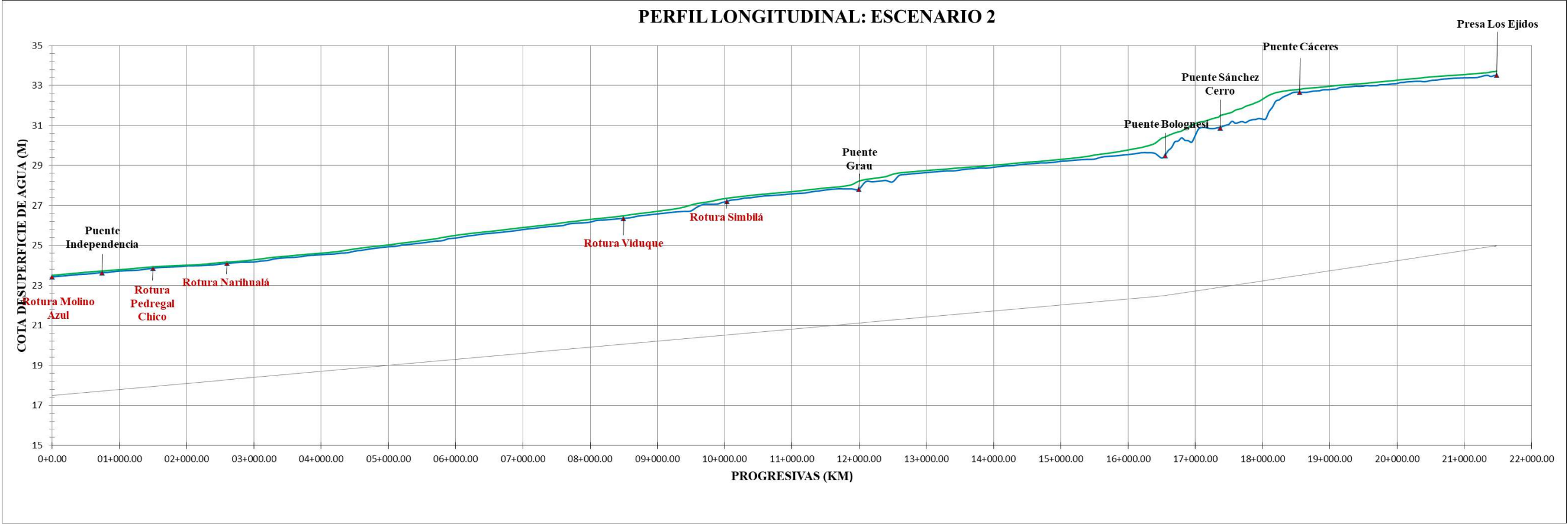


Figura 72. Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Velocidades

Tabla 9. Resultados de velocidades por sección para el escenario 2

Sección transversal	Progresiva km	V izquierdo m/s	V cauce m/s	V derecho m/s	V media m/s
Presa Los Ejidos	21+484.32	1,05	2,05	0,45	1,96
Puente Cáceres	18+603.14	1,02	2,13	0,52	1,50
Puente Sánchez Cerro	17+370.74	0,91	3,78	0,88	2,58
Puente Bolognesi	16+550.00	1,84	4,38	2,58	4,22
Puente Grau	11+996.76	0,75	2,89	0,51	2,57
Rotura Simbilá	10+035.00	1,16	2,21	1,19	1,55
Rotura Viduque	8+498.90	1,11	1,83	1,17	1,47
Rotura Narihualá	2+699.33	0,94	1,30	1,02	1,12
Rotura Pedregal Chico	1+500.00	1,30	1,39	0,89	1,19
Puente Independencia	0+739.72	0,58	1,39	0,77	1,17
Rotura Molino Azul	0+000.00	0,91	1,53	1,24	1,23

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 muestra las velocidades obtenidas para el escenario 2. En ella se observa nuevamente al igual que en el escenario 1, que en la sección del Puente Bolognesi (16+550,00 km) ocurre la mayor velocidad media, así como la mayor velocidad en el cauce del río con un valor de 4,22 m/s en comparación a los demás puentes del tramo en estudio.

En la Figura 73 se visualizan las velocidades en el cauce y en los márgenes a lo largo del tramo de río en estudio.

Las mayores velocidades en el cauce del río ocurren en la zona urbana de la ciudad o en el tramo 1 de estudio, de manera notable entre los puentes Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Cáceres (18+603,14 km) con picos de 4,65 m/s y 4,42 m/s en las progresivas 18+000,00 y 18+050,00 respectivamente. Asimismo, entre los puentes Bolognesi (16+550,00 km) y Sánchez Cerro (17+370,74 km), se visualiza el valor de 4,18 m/s en la progresiva 16+950,00 km.

Las menores velocidades en el cauce del río ocurren en el valle del Bajo Piura o en el tramo 2 de estudio, entre los puentes Independencia (0+739,72 km) y Grau (11+996,76 km), con un valor mínimo de 1,14 m/s en la progresiva 2+065,60.

La mayor velocidad en el margen derecho del río ocurre específicamente en la progresiva 16+550,00 con un valor pico de 2,61 m/s, exactamente al margen derecho del puente Bolognesi.

La mayor velocidad en el margen izquierdo del río ocurre específicamente en la progresiva 16+498,50 con un valor pico de 1,52 m/s, cerca de la localidad de Viduque en el Bajo Piura.

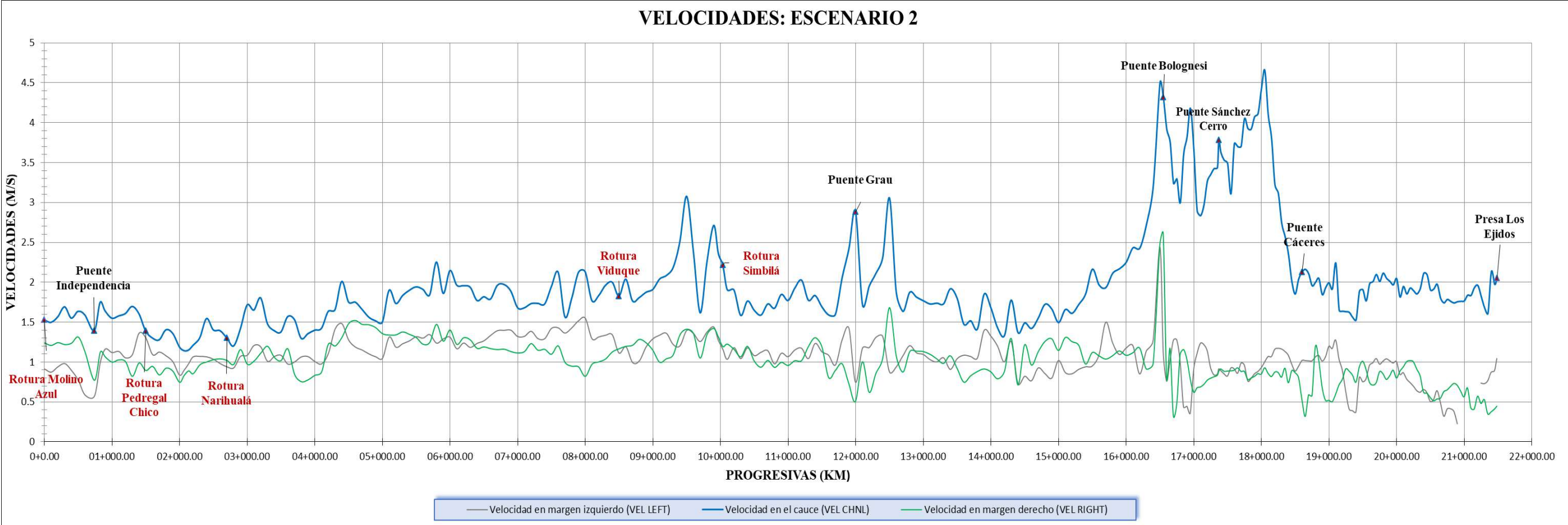


Figura 73. Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Caudales

Tabla 10. Resultados de caudales por sección para el escenario 2

Sección transversal	Progresiva km	Q izquierdo m ³ /s	Q cauce m ³ /s	Q derecho m ³ /s
Presa Los Ejidos	21+484.32	144,32	3 319,39	4,29
Puente Cáceres	18+603.14	850,88	2 443,15	173,97
Puente Sánchez Cerro	17+370.74	267,10	2 962,65	238,25
Puente Bolognesi	16+550.00	28,41	3 311,88	127,72
Puente Grau	11+996.76	91,55	3 342,39	34,06
Rotura Simbilá	10+035.00	816,60	1 792,75	858,65
Rotura Viduque	8+498.90	551,97	2 051,93	864,10
Rotura Narihualá	2+699.33	1 019,55	1 754,85	693,60
Rotura Pedregal Chico	1+500.00	1 841,39	794,20	832,41
Puente Independencia	0+739.72	157,57	2 759,20	551,24
Rotura Molino Azul	0+000.00	754,07	1 342,43	1 371,50

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 10 se muestra los caudales obtenidos para el escenario 2. En ella se observa de la misma manera que en el escenario 1, que en las secciones correspondientes a la Presa Los Ejidos (21+484,32 km) y al Puente Grau (11+996,76 km) ocurren los mayores caudales de 3 319,39 m³/s y 3 335,62 m³/s en el cauce, en comparación a los caudales de las demás secciones de interés mostradas en la tabla.

En la Figura 74 se visualizan los caudales en el cauce y en los márgenes a lo largo del tramo de río en estudio.

El mayor caudal del cauce ocurre en la zona urbana de la ciudad o en el Tramo 1 de estudio, de manera notable en la progresiva 21+150,00 con un caudal de 3 436,78 m³/s, entre la Presa Los Ejidos y puente Sánchez Cerro (17+370,74 km).

En la sección del puente Independencia con ensanchamiento (0+739,72 km), se evidencia que el caudal en el cauce del río incrementa en comparación con las secciones adyacentes a ésta.

El menor caudal del cauce ocurre en el valle del Bajo Piura o en el Tramo 2 de estudio, específicamente en la progresiva 1+598,50 en la localidad de Pedregal Chico con un valor de 750,70 m³/s; sin embargo, es en ésta misma progresiva donde ocurren los mayores caudales en los márgenes del río.

Del mismo modo, en la zona del Bajo Piura o Tramo 2, ocurren los mayores caudales en ambos márgenes del río, superando al cauce en el caso de la progresiva 1+500,00 en la que se identificó la rotura del dique Izquierdo en la localidad de Pedregal Chico.

5.2.5. Número de Froude

De manera general, los números de Froude obtenidos son menores a 1, reafirmando que se trata de un flujo subcrítico.

De manera similar al escenario1, los mayores valores se registran entre los Puentes Bolognesi (16+550.00 km) y Cáceres (18+603,14 km), con el valor pico de 0,58 en la progresiva 18+050,00. Los menores valores se registran en la zona del Bajo Piura o Tramo 2, con el valor mínimo de 0,15 en la progresiva 1+998,60. Ver Figura 75

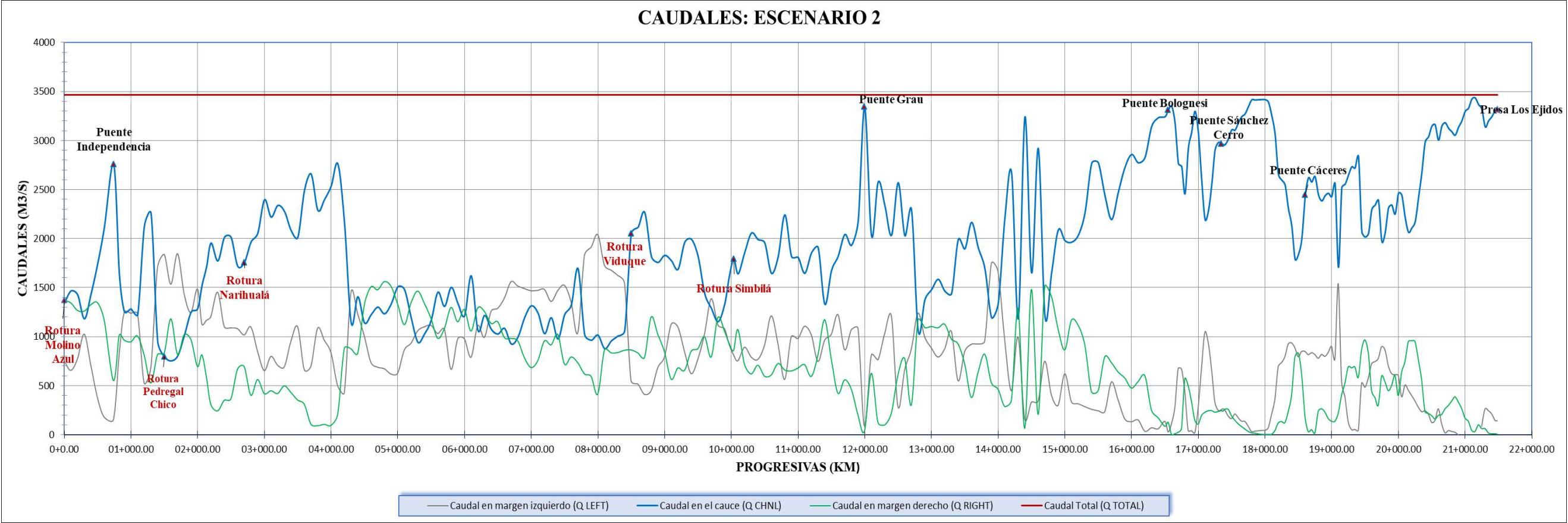


Figura 74. Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

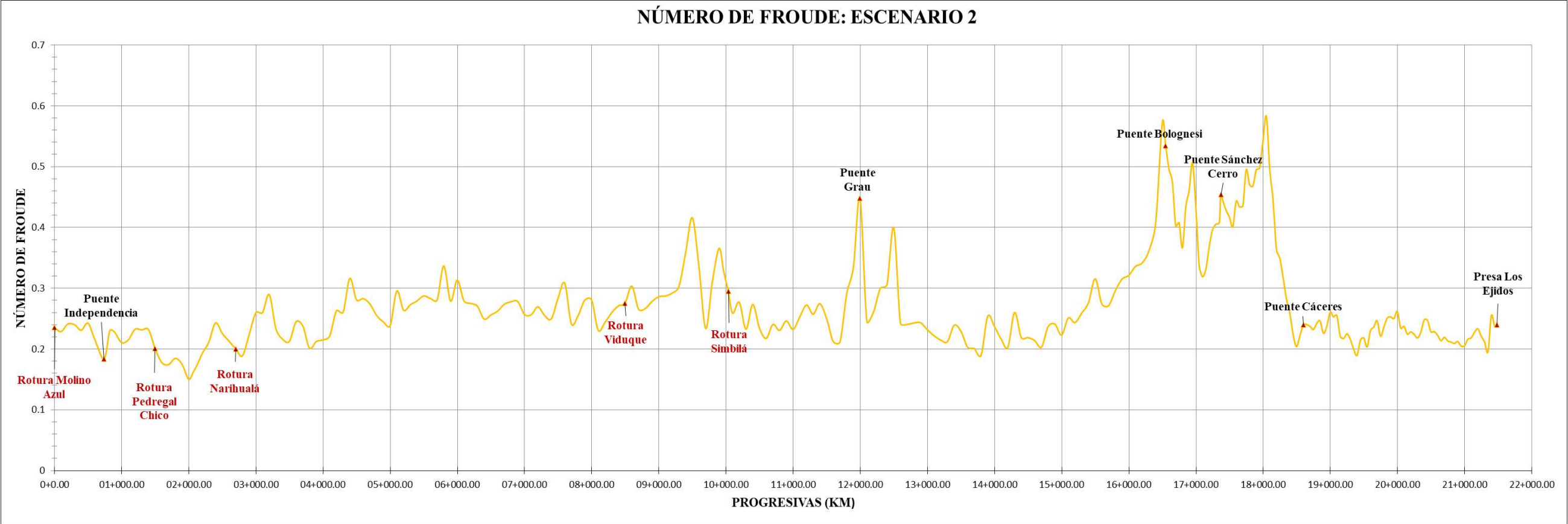


Figura 75. Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

5.3. Escenario 3: Modelación hidráulica del Río Piura con Topografía posterior al FEN Costero 2017, sin ensanchamiento del Puente Independencia.

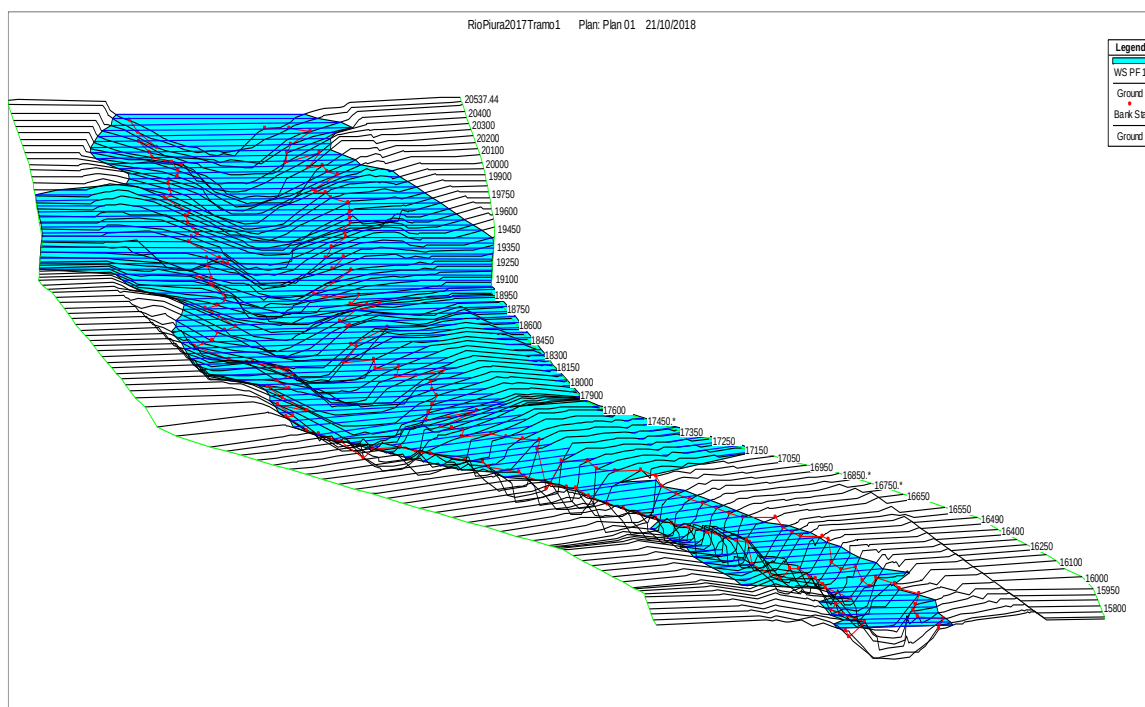


Figura 76. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 1, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

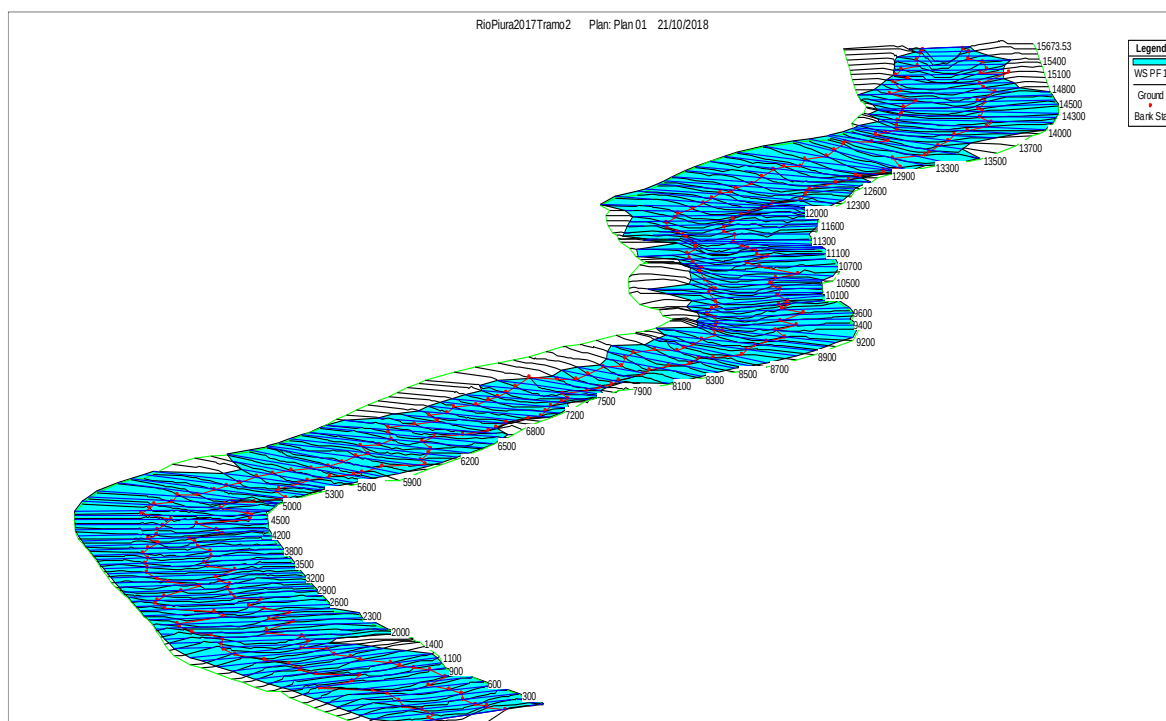


Figura 77. Figura 5.38. Vista 3D de las secciones del río en el Tramo 2, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Resultados por secciones de interés

Presa Los Ejidos

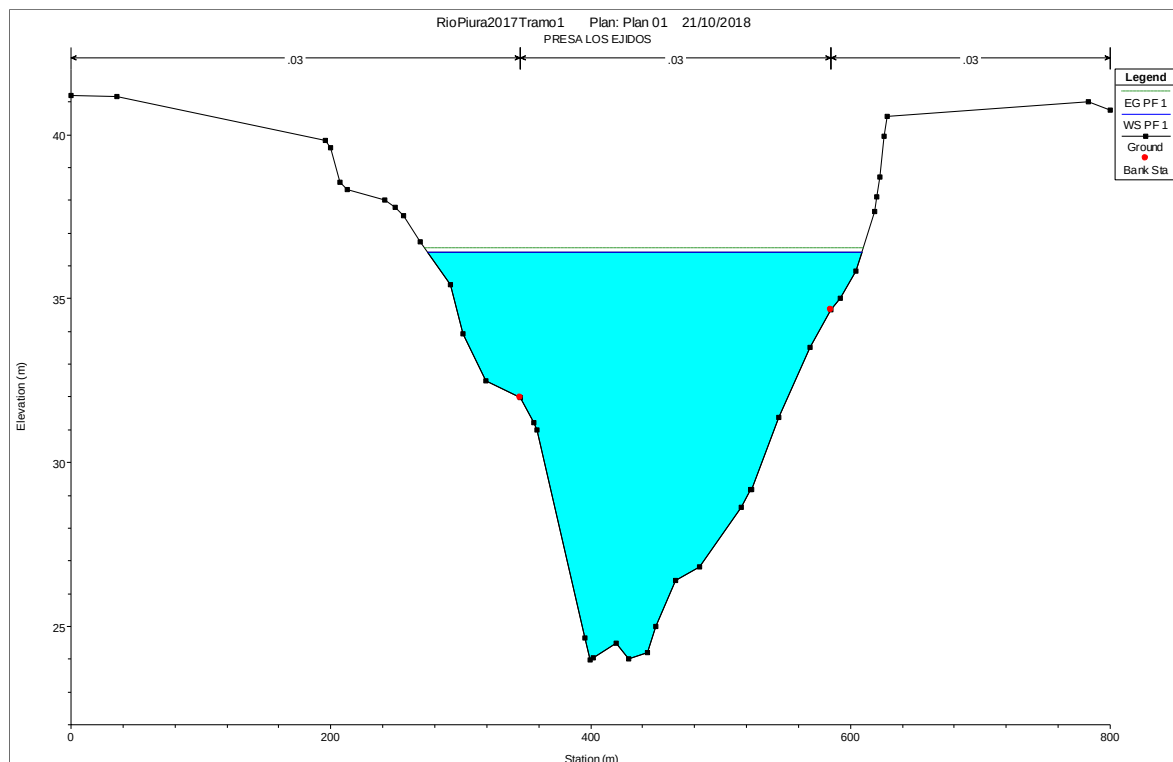


Figura 78. Sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 20537.44 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	36.56	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.14	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	36.42	Reach Len. (m)	37.90	37.44	37.48
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	191.96	1988.75	25.14
E.G. Slope (m/m)	0.000149	Area (m2)	191.96	1988.75	25.14
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	150.68	3306.87	10.45
Top Width (m)	334.84	Top Width (m)	71.34	239.28	24.23
Vel Total (m/s)	1.57	Avg. Vel. (m/s)	0.78	1.66	0.42
Max Chl Dpth (m)	12.45	Hydr. Depth (m)	2.69	8.31	1.04
Conv. Total (m3/s)	284378.6	Conv. (m3/s)	12355.8	271165.8	857.1
Length Wtd. (m)	37.45	Wetted Per. (m)	71.54	240.39	24.30
Min Ch El (m)	23.97	Shear (N/m2)	3.91	12.07	1.51
Alpha	1.08	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	1326.54	8726.44	1178.46
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	597.76	1019.19	476.10

Figura 79. Parámetros hidráulicos en la sección transversal de la Presa Los Ejidos, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Puente Cáceres

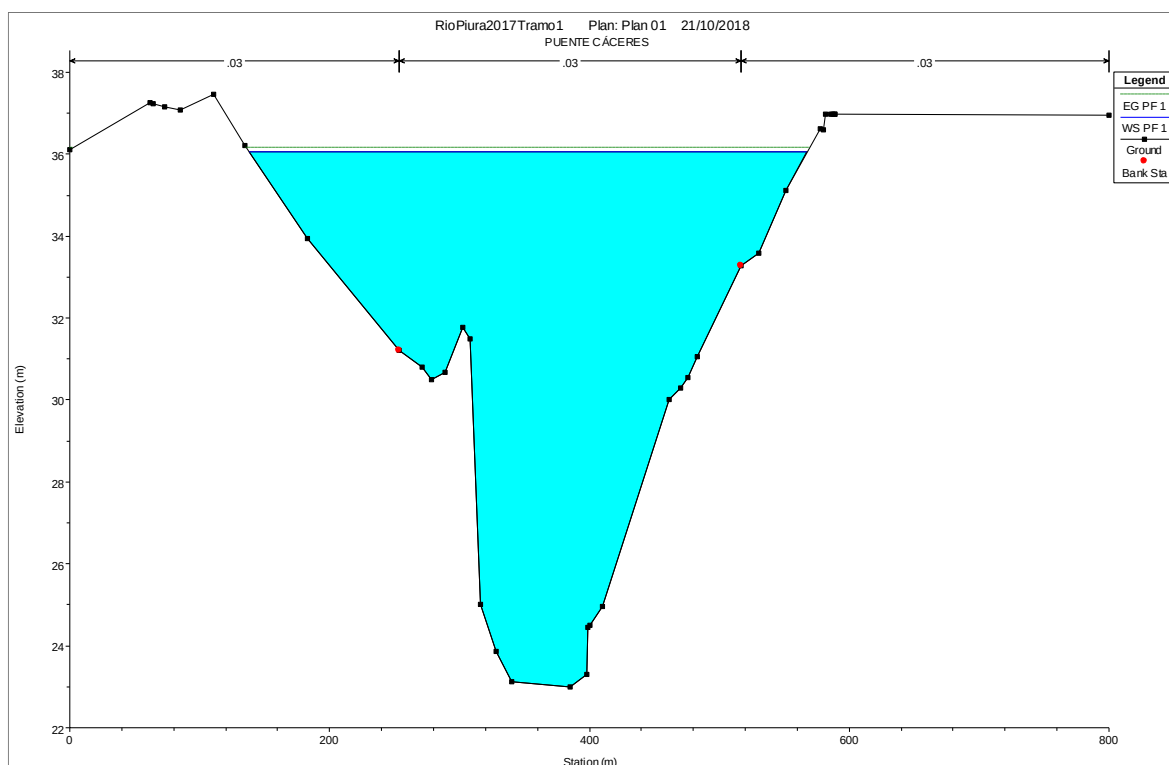


Figura 80. Sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 17700 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	36.15	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.10	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	36.05	Reach Len. (m)	65.62	50.00	47.71
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)	290.87	2209.80	77.59
E.G. Slope (m/m)	0.000116	Area (m ²)	290.87	2209.80	77.59
Q Total (m ³ /s)	3468.00	Flow (m ³ /s)	193.26	3237.79	36.94
Top Width (m)	429.59	Top Width (m)	115.14	263.87	50.59
Vel Total (m/s)	1.35	Avg. Vel. (m/s)	0.66	1.47	0.48
Max Chl Dpth (m)	13.05	Hydr. Depth (m)	2.53	8.37	1.53
Conv. Total (m ³ /s)	322524.8	Conv. (m ³ /s)	17973.7	301115.6	3435.6
Length Wtd. (m)	50.74	Wetted Per. (m)	115.24	267.36	50.67
Min Ch El (m)	23.00	Shear (N/m ²)	2.86	9.37	1.74
Alpha	1.12	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m ³)	103.74	2264.69	63.28
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)	91.81	308.82	71.74

Figura 81. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Cáceres, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Puente Sánchez Cerro

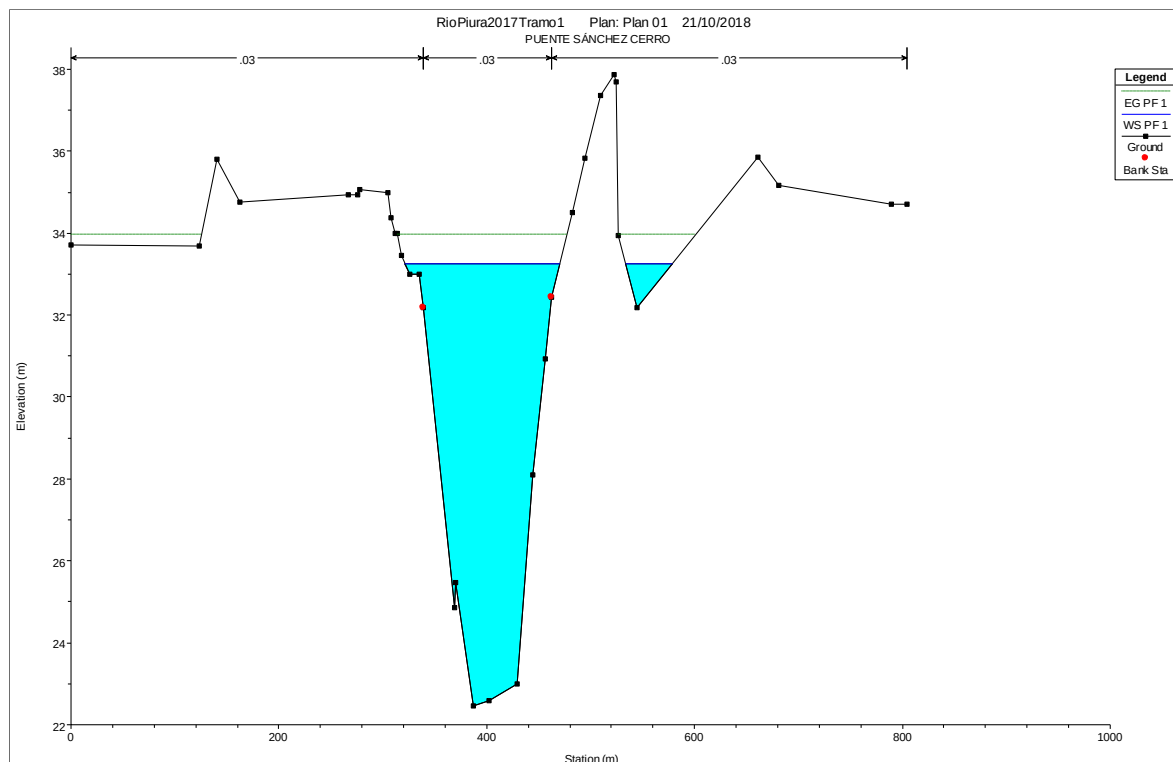


Figura 82. Sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 1 RS: 16490 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	33.96	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.70	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	33.25	Reach Len. (m)	36.95	40.00	43.01
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	5.28	925.74	27.24
E.G. Slope (m/m)	0.000877	Area (m2)	5.28	925.74	27.24
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	2.33	3448.39	17.28
Top Width (m)	194.24	Top Width (m)	17.59	123.56	53.08
Vel Total (m/s)	3.62	Avg. Vel. (m/s)	0.44	3.72	0.63
Max Chl Dpth (m)	10.78	Hydr. Depth (m)	0.30	7.49	0.51
Conv. Total (m3/s)	117130.5	Conv. (m3/s)	78.7	116468.1	583.7
Length Wtd. (m)	40.02	Wetted Per. (m)	17.69	126.25	53.19
Min Ch El (m)	22.47	Shear (N/m2)	2.57	63.04	4.40
Alpha	1.05	Stream Power (N/m s)	38507.70	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	20.31	740.98	31.11
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)	14.41	107.08	34.81

Figura 83. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Sánchez Cerro, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Puente Bolognesi

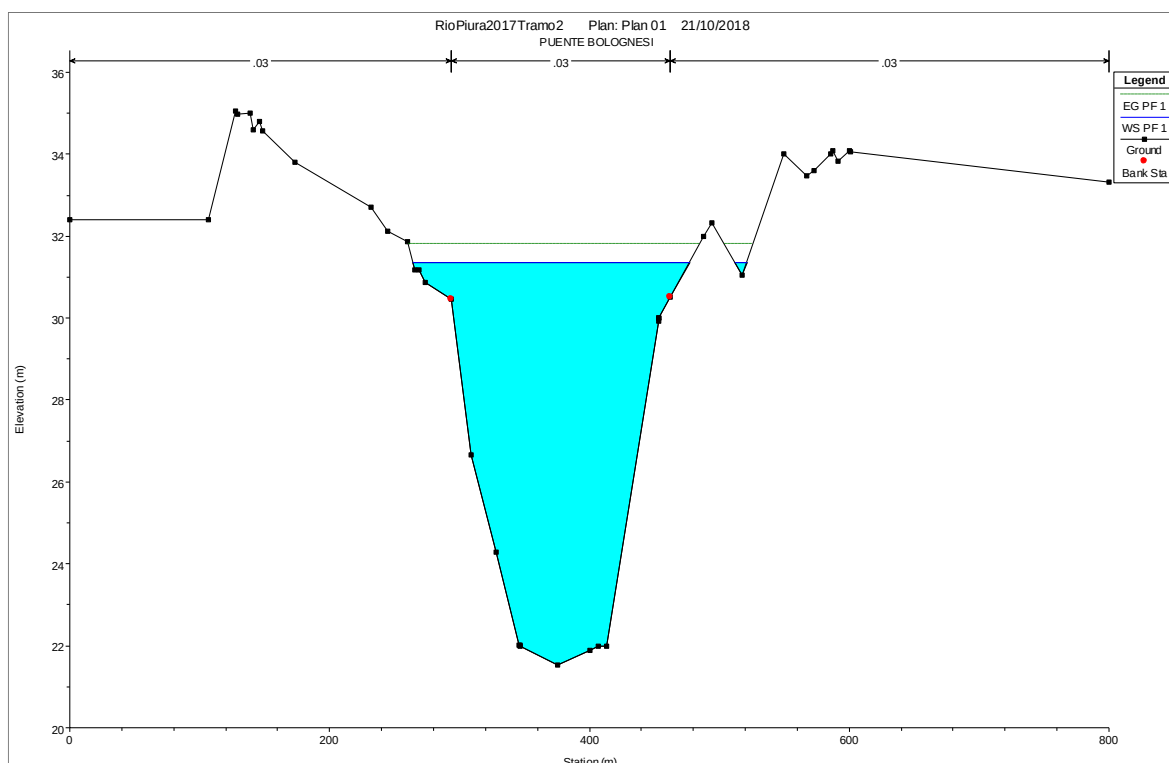


Figura 84. Sección transversal del Puente Bolognesi, para el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 2 RS: 15673.53 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	31.81	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.44	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	31.37	Reach Len. (m)	67.83	73.53	82.08
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	16.31	1173.77	7.67
E.G. Slope (m/m)	0.000595	Area (m2)	16.31	1173.77	7.67
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	8.94	3455.84	3.22
Top Width (m)	221.84	Top Width (m)	29.41	168.69	23.74
Vel Total (m/s)	2.90	Avg. Vel. (m/s)	0.55	2.94	0.42
Max Chl Dpth (m)	9.84	Hydr. Depth (m)	0.55	6.96	0.32
Conv. Total (m3/s)	142221.9	Conv. (m3/s)	366.6	141723.2	132.1
Length Wtd. (m)	73.53	Wetted Per. (m)	29.43	170.26	23.79
Min Ch El (m)	21.53	Shear (N/m2)	3.23	40.20	1.88
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)	38302.30	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)	7944.00	24471.30	6256.72
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	3372.41	4577.61	2987.60

Figura 85. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Bolognesi para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Puente Grau

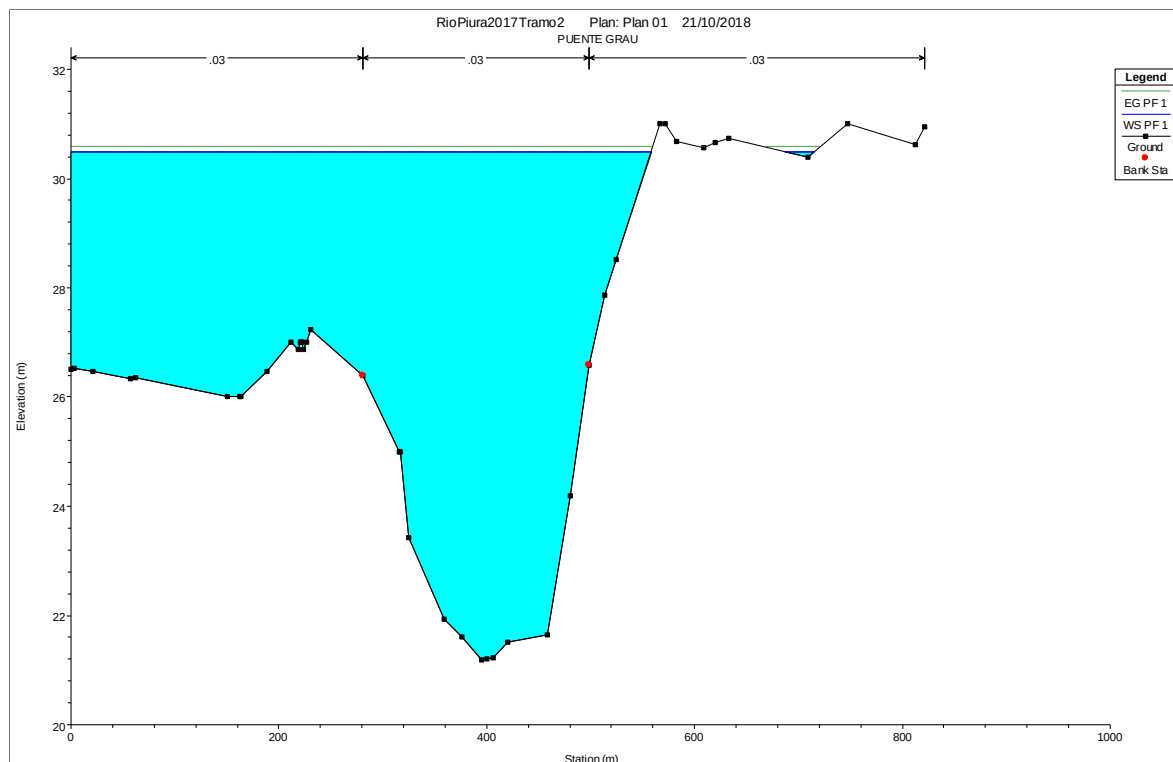


Figura 86. Sección transversal del Puente Grau, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 2 RS: 11140 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	30.58	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	30.50	Reach Len. (m)	40.67	40.00	39.62
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	1139.82	1641.07	110.10
E.G. Slope (m/m)	0.000124	Area (m2)	1139.82	1641.07	110.10
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	1066.39	2341.63	59.98
Top Width (m)	586.40	Top Width (m)	281.04	217.39	87.97
Vel Total (m/s)	1.20	Avg. Vel. (m/s)	0.94	1.43	0.54
Max Chl Dpth (m)	9.32	Hydr. Depth (m)	4.06	7.55	1.25
Conv. Total (m3/s)	311263.1	Conv. (m3/s)	95712.0	210167.9	5383.2
Length w/d. (m)	40.20	Wetted Per. (m)	285.07	217.91	88.10
Min Ch El (m)	21.18	Shear (N/m2)	4.87	9.17	1.52
Alpha	1.15	Stream Power (N/m s)	39319.71	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	5362.05	15918.38	4847.36
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	2383.95	3176.86	2240.09

Figura 87. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Grau, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Puente Independencia

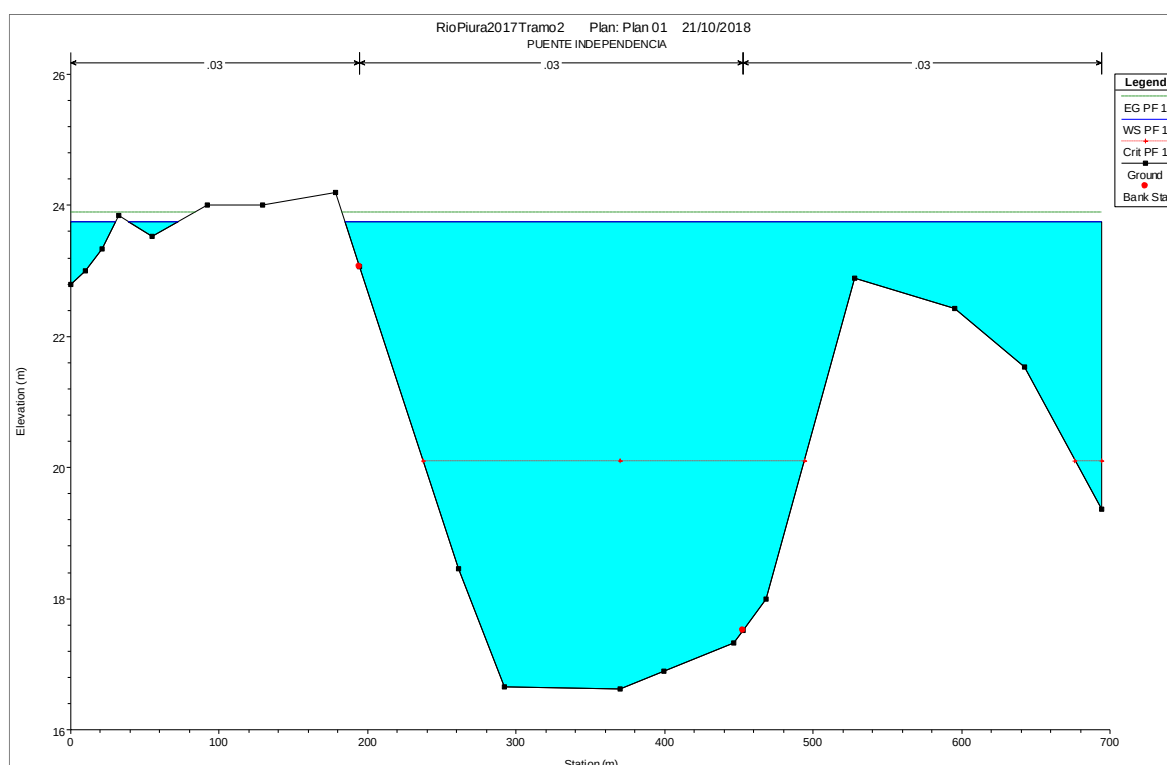


Figura 88. Sección transversal del Puente Independencia, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

Plan: Plan 01 RIO PIURA TRAMO 2 RS: 0 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	23.90	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.15	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	23.75	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	20.11	Flow Area (m2)	23.92	1500.41	619.22
E.G. Slope (m/m)	0.000300	Area (m2)	23.92	1500.41	619.22
Q Total (m3/s)	3468.00	Flow (m3/s)	7.95	2798.78	661.28
Top Width (m)	573.07	Top Width (m)	73.36	258.18	241.53
Vel Total (m/s)	1.62	Avg. Vel. (m/s)	0.33	1.87	1.07
Max Chl Dpth (m)	7.13	Hydr. Depth (m)	0.33	5.81	2.56
Conv. Total (m3/s)	200207.2	Conv. (m3/s)	458.9	161573.0	38175.3
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	74.35	258.40	246.18
Min Ch El (m)	16.62	Shear (N/m2)	0.95	17.09	7.40
Alpha	1.16	Stream Power (N/m s)	33229.16	0.00	0.00
Fricn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

Figura 89. Parámetros hidráulicos en la sección transversal del Puente Independencia para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Niveles de superficie de agua

Tabla 11. Resultados de niveles de cota de agua por sección para el escenario 3

Sección transversal	Progresiva km	Cota mínima de agua msnm	Cota de superficie de agua msnm	Cota de nivel de línea de energía msnm
Presa Los Ejidos	20+537.44	23,97	36,42	36,56
Puente Cáceres	17+700.00	23,00	36,05	36,15
Puente Sánchez Cerro	16+490,00	22,47	33,25	33,96
Puente Bolognesi	15+673.53	21,53	31,37	31,81
Puente Grau	11+140.00	21,18	30,50	30,58
Rotura Simbilá	9+200.00	22,00	30,18	30,26
Rotura Viduque	7+500.00	22,00	27,75	28,01
Rotura Narihualá	1+900.00	19,21	24,63	24,87
Rotura Pedregal Chico	0+800.00	18,04	24,13	24,22
Puente Independencia	0+000.00	16,62	23,75	23,90

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 11 muestra los resultados obtenidos de los niveles de agua para el escenario 3, en el que se modela con datos geométricos pertenecientes al año 2017; por lo que los resultados obtenidos corresponden al caso de haberse presentado un FEN pocos meses después de ocurrido el del mes de marzo del año 2017, sin haber existido trabajos de descolmatación en el cauce.

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos con la modelación del escenario 1 y la modelación del escenario 3, anterior y posterior al FEN Costero respectivamente, se muestran en el Capítulo 6, Apartado 6.3.

La Figura 90 muestra el perfil longitudinal con los niveles de agua alcanzados. Se identifican resaltos hidráulicos más notables que en los anteriores escenarios estudiados en las zonas aguas abajo de las secciones pertenecientes al: Puente Cáceres, Puente Sánchez Cerro, Puente Bolognesi y Puente Grau, manifestándose con aumentos de velocidad, de pendiente energética y del número de Froude en las mismas progresivas.

Ocurren los mayores tirantes de agua en la zona urbana o tramo 1, entre el puente Bolognesi (15+673,53 km) y la Presa Los Ejidos (20+537,44 km), y menores tirantes en el Bajo Piura o tramo 2 comprendida entre el Puente Independencia (0+000,00) y Puente Bolognesi (15+673,53 km).

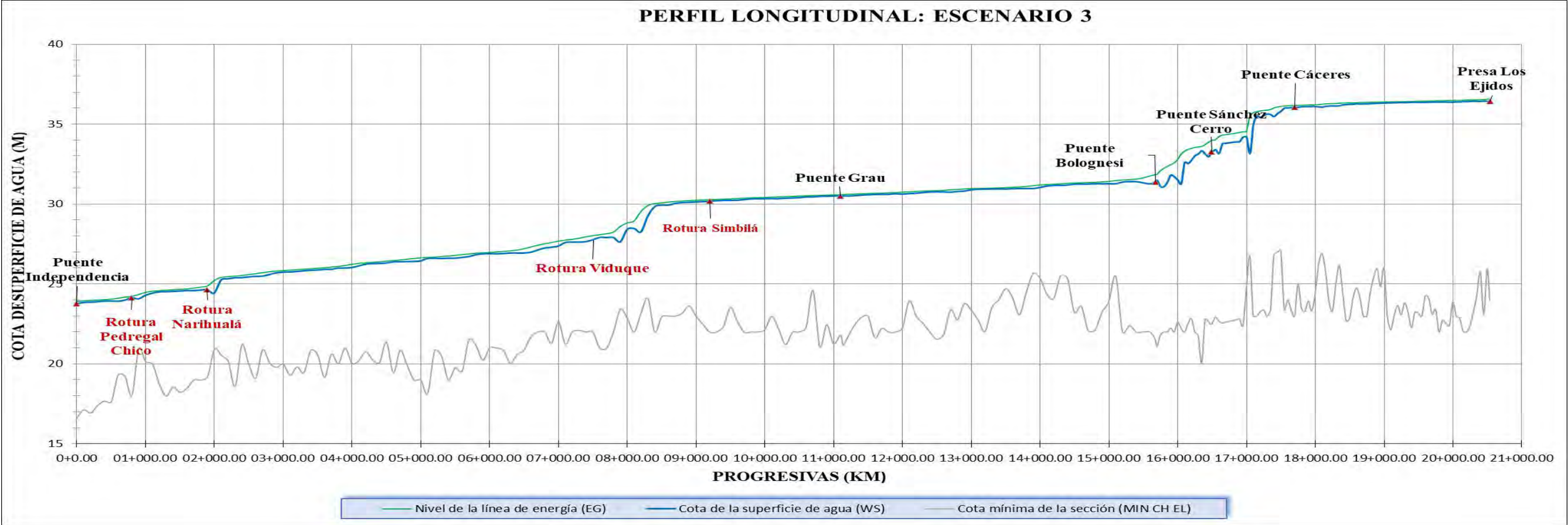


Figura 90. Niveles alcanzados de cota de agua del río Piura, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Velocidades

Tabla 12. Resultados de velocidades por sección para el escenario 3

Sección transversal	Progresiva	V izquierdo	V cauce	V derecho	V media
	km	m/s	m/s	m/s	m/s
Presa Los Ejidos	20+537.44	0,78	1,66	0,42	1,57
Puente Cáceres	17+700.00	0,66	1,47	0,48	1,35
Puente Sánchez Cerro	16+490,00	0,44	3,72	0,63	3,62
Puente Bolognesi	15+673.53	0,55	2,94	0,42	2,90
Puente Grau	11+140.00	0,94	1,43	0,54	1,20
Rotura Simbilá	9+200.00	0,76	1,37	0,52	1,17
Rotura Viduque	7+500.00	1,02	2,34	1,27	2,12
Rotura Narihualá	1+900.00	0,39	2,25	1,09	2,01
Rotura Pedregal Chico	0+800.00	0,26	1,34	1,24	1,31
Puente Independencia	0+000.00	0,33	1,87	1,07	1,62

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 12 muestra las velocidades obtenidas por sección para el escenario 3. En ella se observa que por la sección perteneciente al Puente Sánchez Cerro (16+490,00 km) transcurre la mayor velocidad media de 3,62 m/s, en comparación a las demás secciones de interés del tramo.

En los puntos de rotura del dique izquierdo, se obtienen valores de velocidad mayores en el margen derecho en comparación con los valores en el margen izquierdo, a excepción de Simbilá en la que las velocidades entre ambas márgenes se encuentran muy cercanas.

En la Figura 91 se visualizan las velocidades en el cauce y márgenes a lo largo del tramo de río en estudio.

Las mayores velocidades del cauce ocurren en la zona urbana de la ciudad o en el tramo 1 de estudio, de manera notable entre los puentes Sánchez Cerro (16+490,00 km) y Cáceres (17+700,00 km) con el valor máximo de 6,70 m/s en la progresiva 17+050,00. Por otro lado, las menores velocidades del cauce ocurren aguas abajo de la Presa Los Ejidos, con valor mínimo de 0,99 m/s en la progresiva 19+250,00 km.

Las mayores velocidades en el margen derecho del río ocurren en el valle del Bajo Piura, con picos de hasta 2,13 m/s en la progresiva 0+900,00 km, en la zona de Pedregal Chico. Asimismo, las mayores velocidades en el margen izquierdo ocurren entre los puentes Sánchez Cerro (16+490,00 km) y Bolognesi (15+673,53 km), con picos de 2,31 m/s y 2,42 m/s en las progresivas 15+800 y 16+150,00 respectivamente.

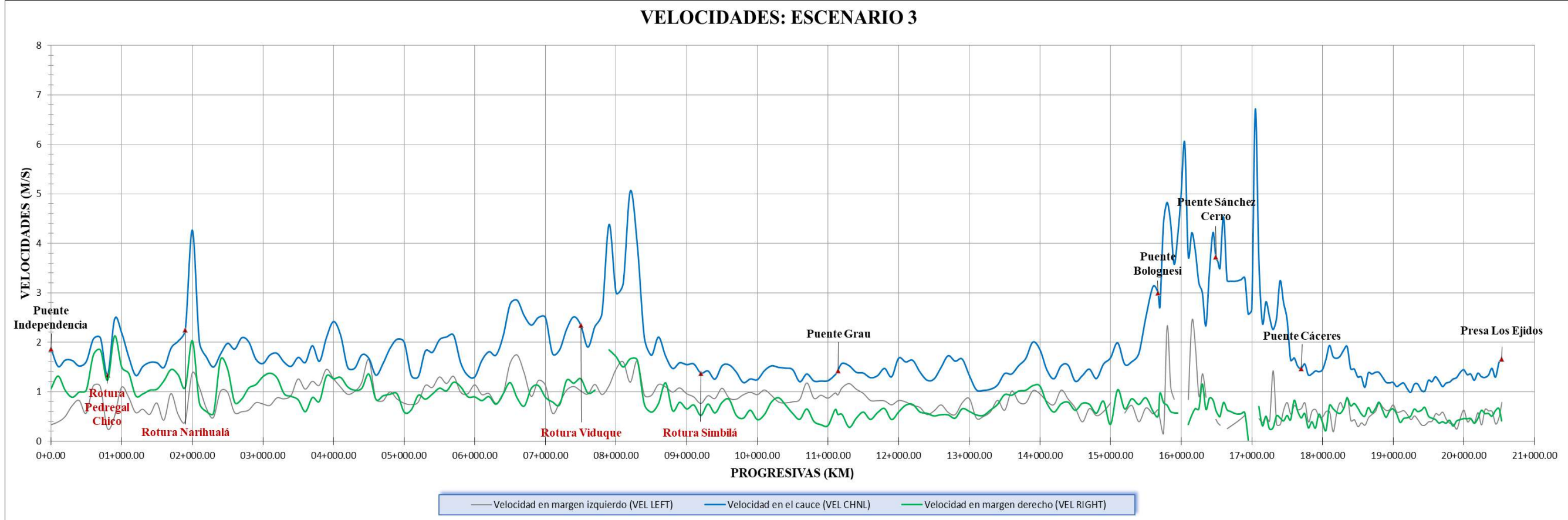


Figura 91. . Velocidades alcanzadas en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Caudales

Tabla 13. Resultados de caudales por sección para el escenario 3

Sección transversal	Progresiva km	Q izquierdo m ³ /s	Q cauce m ³ /s	Q derecho m ³ /s
Presa Los Ejidos	20+537.44	150,68	3 306,87	10,45
Puente Cáceres	17+700.00	193,26	3 237,79	36,94
Puente Sánchez Cerro	16+490,00	2,33	3 448,39	17,28
Puente Bolognesi	15+673.53	8,94	3 455,84	3,22
Puente Grau	11+140.00	1 066,39	2 341,63	59,98
Rotura Simbilá	9+200.00	633,35	2 774,52	60,13
Rotura Viduque	7+500.00	168,25	3 131,35	168,40
Rotura Narihualá	1+900.00	26,30	3 177,79	263,91
Rotura Pedregal Chico	0+800.00	9,02	2 865,69	593,29
Puente Independencia	0+000.00	7,95	2 798,78	661,28

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 muestra los caudales obtenidos por sección para el escenario 3. En ella se observa que en la sección del puente Bolognesi (15+673,53 km) transcurre un caudal de 3 455,84 m³/s en el cauce, siendo éste el mayor valor entre las demás secciones.

En la Figura 92 se visualizan los caudales en el cauce y en los márgenes del río a lo largo del tramo en estudio.

El mayor caudal del cauce ocurre nuevamente en la zona urbana de la ciudad o en el tramo 1 de estudio, en las progresivas 16+000, 16+050,00, 16+950,00, 17+000,00 y 17+050,00 con un caudal de 3 468 m³/s, ubicada entre los puentes Bolognesi y Cáceres. Sin embargo, es en este tramo donde también se presentan los valores mínimos de caudal en ambas márgenes del río.

El menor caudal del cauce ocurre en el valle del Bajo Piura o en el tramo 2 de estudio, específicamente en la progresiva 3+100,00 cerca de la localidad de Narihualá con un valor de 1 213,61 m³/s.

Del mismo modo, en la zona del Bajo Piura o tramo 2, ocurren los mayores caudales en ambos márgenes del río, superando en algunos casos al caudal del cauce. En el caso de las roturas de Viduque, Narihualá y Pedregal Chico, se evidencia que el caudal máximo alcanzado en sus secciones pertenece al margen izquierdo del río, siendo el mayor caudal el de 1 973,25 m³/s en el distrito de Pedregal Chico.

5.3.5. Número de Froude

Los números de Froude obtenidos en el cauce del río se muestran en la Figura 93, en ésta se observan algunos valores menores a 1, lo cual es característico de un flujo subcrítico.

Los mayores valores se registran en las secciones donde se identifican los resaltos hidráulicos en el perfil longitudinal. En la progresiva 17+050,00 se evidencia 1 como el máximo valor obtenido; siendo valor típico de un flujo crítico.

Los menores valores se registran pocas secciones aguas debajo de la Presa Los Ejidos, con el valor mínimo de 0,1 en las progresivas 19+250,00, 19+400,00 y 19+450,00.

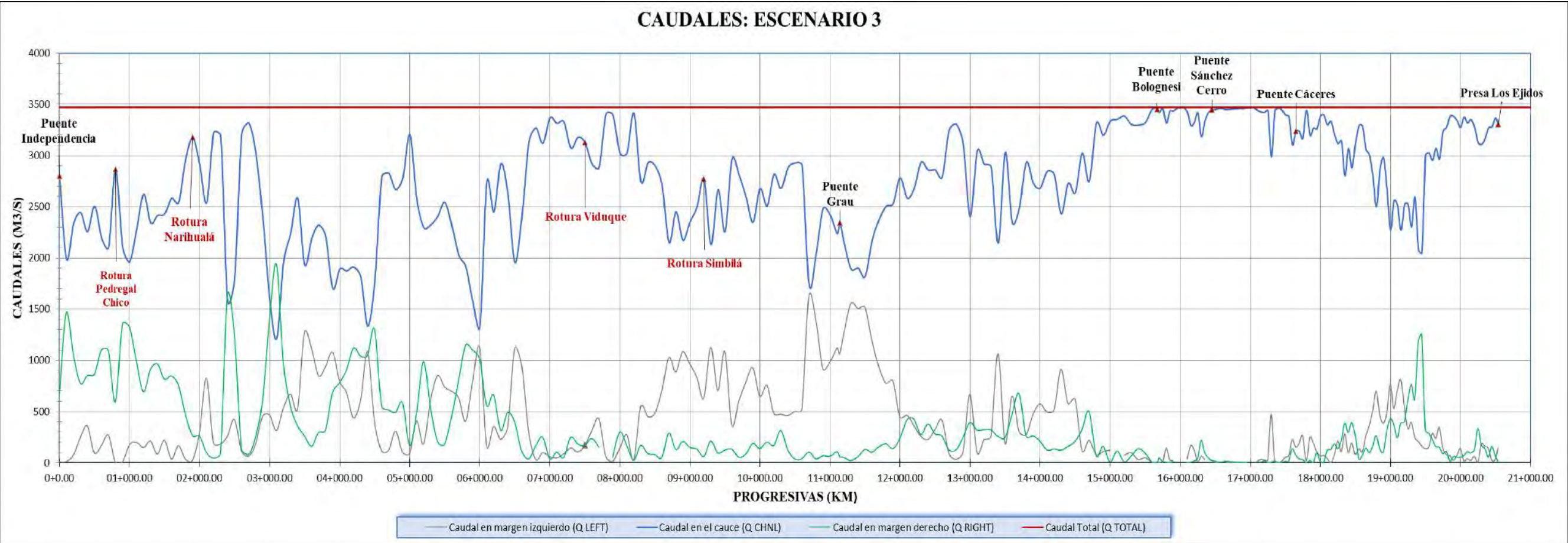


Figura 92. Caudales alcanzados en el cauce y márgenes del río Piura, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

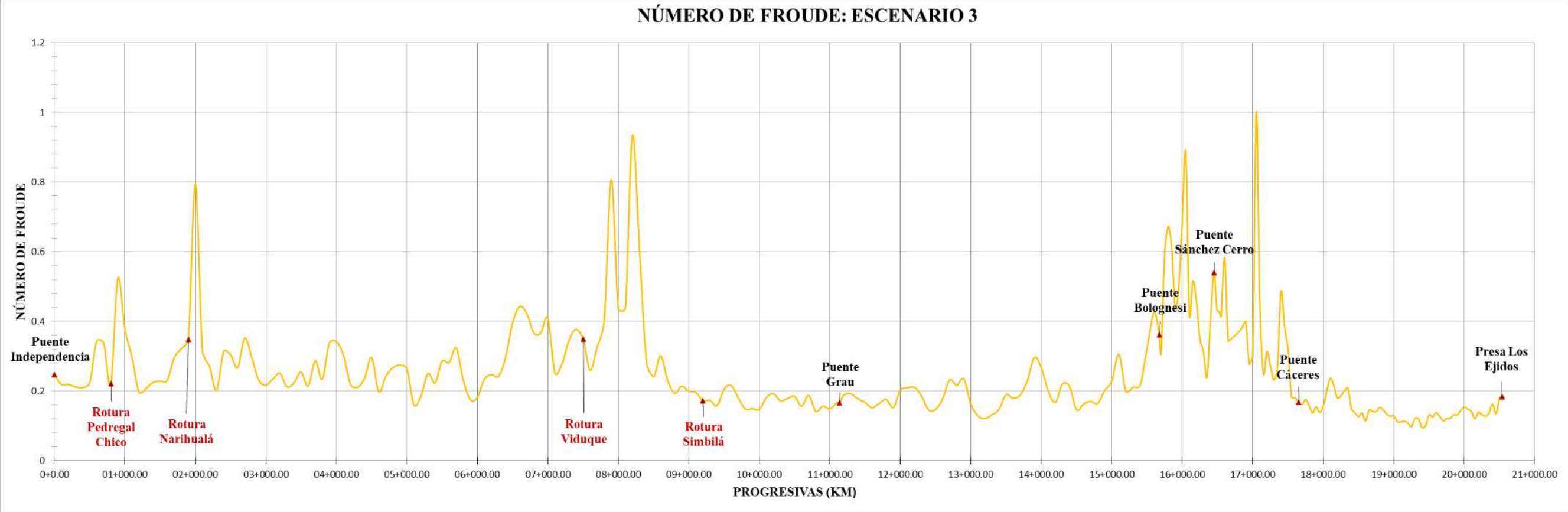


Figura 93. Valores de número de Froude alcanzados en el cauce del río Piura, para el escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

5.4. Mapa de inundación

La Figura 94 muestra el mapa de inundación perteneciente a los resultados del escenario 1 (Topografía 2015) para el tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484,32 km) – Puente Bolognesi (16+550,00 km), éste se obtuvo de la exportación de los datos del Hec-Ras al Arcgis.

Los resultados obtenidos en la modelación del tramo 2: Puente Bolognesi (16+550,00 km) – aguas abajo del Puente Independencia (0+000,00 km) fueron exportados al software Arcgis sin obtener éxito.

Las zonas identificadas con color azul oscuro corresponden a los mayores tirantes de agua del cauce del río y las de tonalidades de azul más bajas corresponden a zonas con tirantes menores.

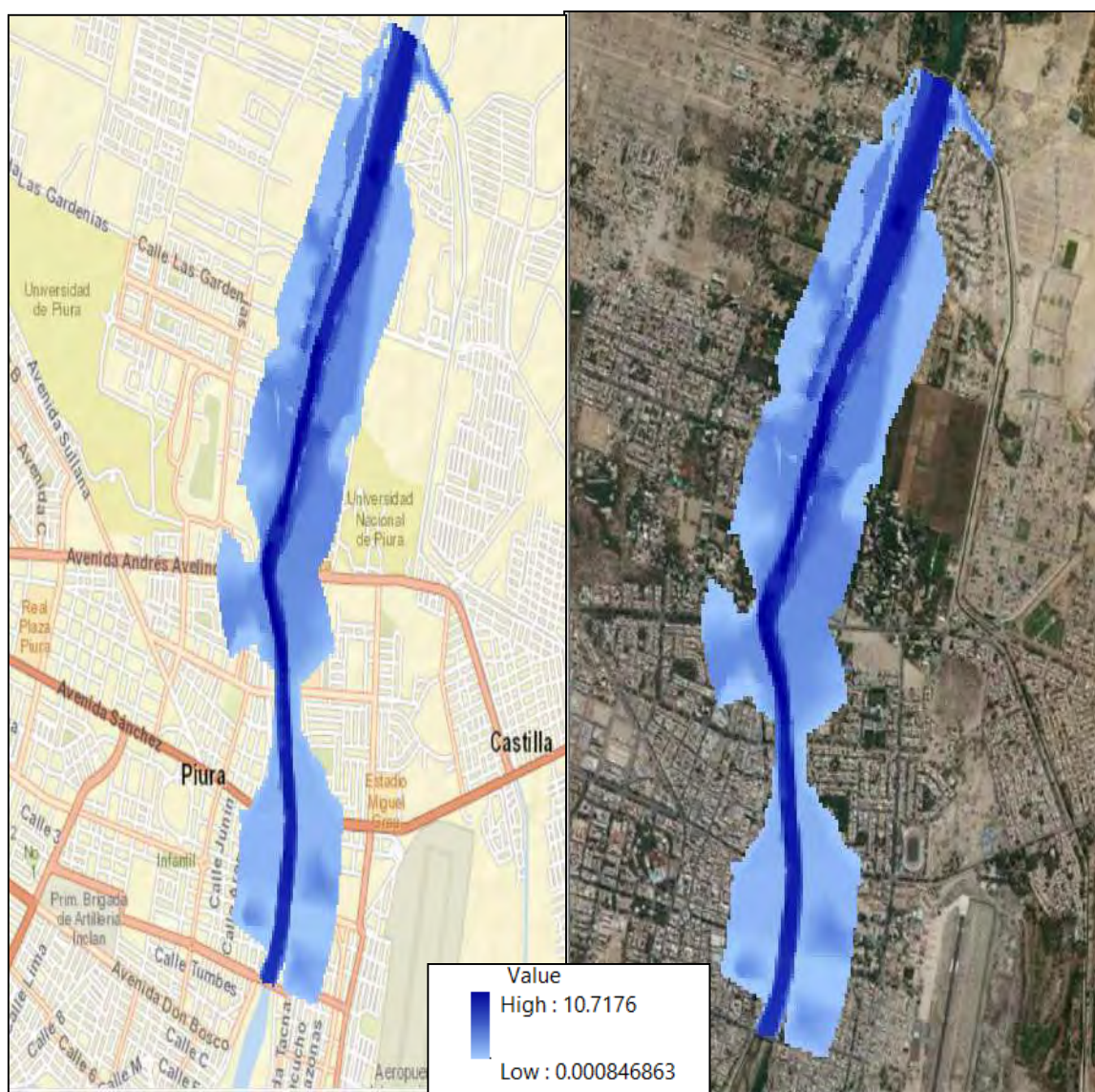


Figura 94. Profundidades de inundación del tramo 1, obtenido del Arcgis
Fuente: Elaboración propia

La Figura 95 muestra el de velocidades a lo largo del tramo 1: Presa Los Ejidos (21+484,32 km) – Puente Bolognesi (16+550,00 km), éste se obtuvo de la exportación de los datos del Hec-Ras al Arcgis. Las velocidades menores se identifican con las tonalidades de verde y las velocidades mayores con las tonalidades azules. Es en la margen izquierda del tramo urbano donde ocurren velocidades mayores a las del margen derecho.

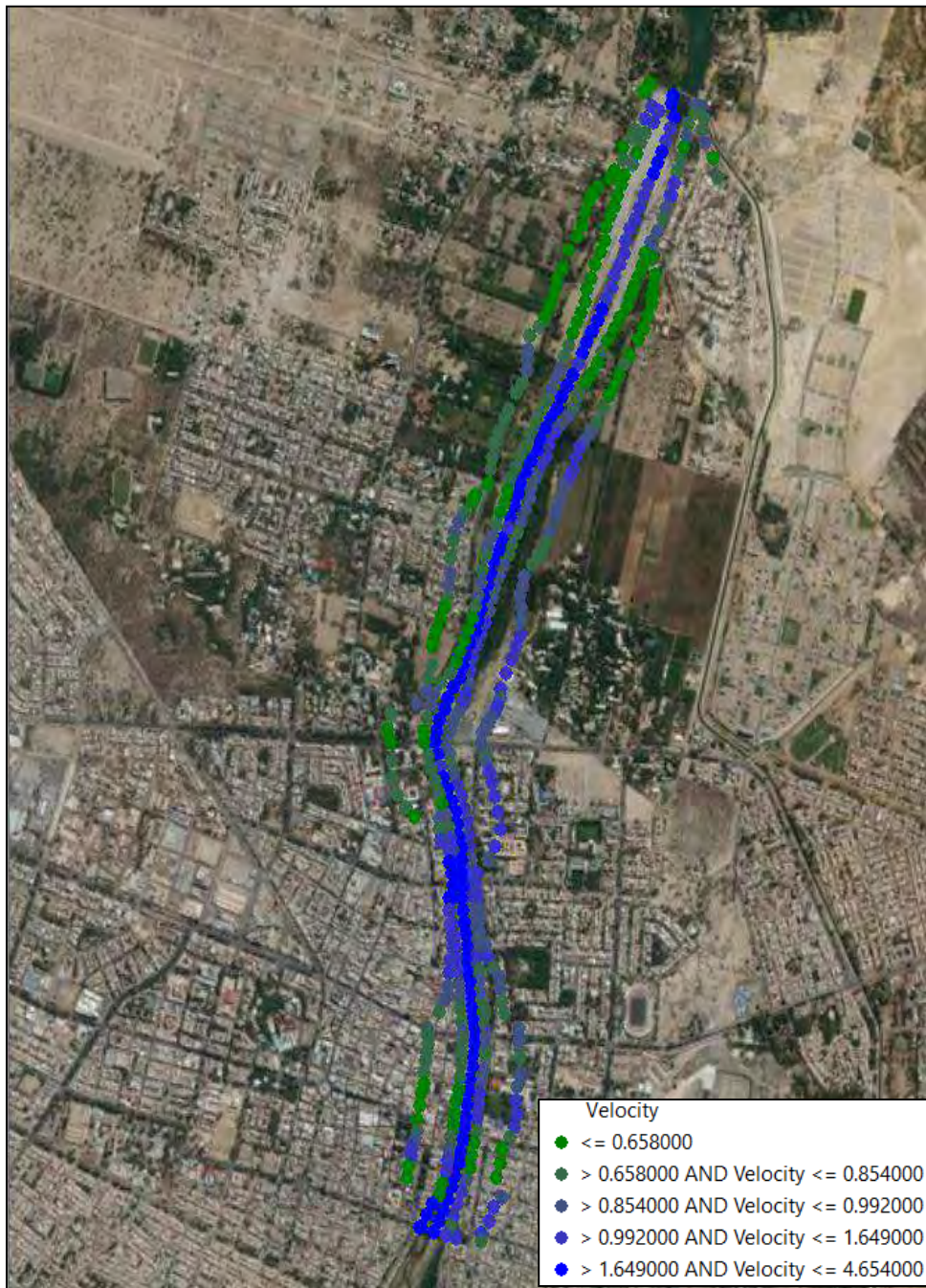


Figura 95. Velocidades de flujo en el tramo 1, obtenido del Arcgis
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6

Análisis de los resultados

El presente capítulo contiene el análisis de los resultados obtenidos de manera conjunta con cada uno de los tres escenarios modelados. Para tal análisis, se compararán los resultados mostrados en el Capítulo 5 y en el Apéndice A, de la siguiente manera:

- Resultados obtenidos con la modelación realizada con la topografía 2015 (Escenario 1), comparados con los datos reales medidos in situ durante la avenida máxima del FEN Costero, ocurrida el 27 de marzo del 2017. Lo que permite comprobar la eficacia de la modelación con Hec-Ras.
- Resultados obtenidos con la modelación realizada con la topografía 2015 (Escenario 1), comparados con los resultados obtenidos con la modelación realizada con la topografía 2015 (Escenario 2), en la que se ha considerado el Puente Independencia con su ensanchamiento a 362 metros. Lo que permite evaluar su influencia en los demás puentes y diques del tramo en estudio.
- Resultados obtenidos con la modelación realizada con la topografía 2015 (Escenario 1), antes del FEN Costero, comparados con los resultados obtenidos de la modelación realizada con la topografía 2017 (Escenario 3), posterior al FEN Costero. Lo que permite caracterizar las singularidades del FEN Costero 2017, al simular un escenario con datos geométricos obtenidos de la topografía post FEN Costero 2017 poco tiempo después de haber ocurrido éste y sin intervención de trabajos de reconstrucción en el cauce.

6.1. Generalidades

Tal como lo menciona el Capítulo 2, en el apartado 2.3 Descripción del área de estudio, para realizar un mejor análisis del río Piura, el tramo total en estudio se ha dividido en dos:

- Tramo 1: Presa Los Ejidos – Puente Bolognesi
- Tramo 2: Puente Bolognesi – aguas abajo del Puente Independencia

Asimismo, en el Capítulo 4: Modelación numérica del río Piura con Hec-Ras se describen las consideraciones para la modelación de cada uno de los escenarios analizados, y en el Capítulo 5: Resultados de las modelaciones, se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios de manera independiente.

6.2. Eficacia de la modelación del Río Piura con Hec-Ras

6.2.1. Niveles de superficie de agua en puentes

Durante el tránsito de la avenida máxima del FEN Costero sucedida el día 27/03/2017, se registraron los niveles máximos en los puentes mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14. Niveles máximos de superficie de agua para la avenida

Sección transversal	Progresiva km	Cota de agua el 27/03/2017 msnm
Presa Los Ejidos	21+484,32	33,55 ^(*)
Puente Cáceres	18+603,14	32,30
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	30,74 ^(*)
Puente Bolognesi	16+550,00	29,70
Puente Grau	11+996,76	28,21 ^(*)
Puente Independencia	0+739,72	24,55

^(*) Valores estimados

Fuente: Dr. Ing. Jorge Reyes Salazar

Es preciso aclarar que el valor del nivel de agua inmediatamente después de la presa Los Ejidos, es influenciado por las condiciones hidráulicas de la poza disipadora de la presa. Los demás valores se justifican con la medida in situ de los niveles máximos de agua en los puentes Independencia, Bolognesi y Cáceres. Los niveles de agua correspondientes a la Presa Los Ejidos, puente Sánchez Cerro y puente Grau no han sido medidos de manera directa, pero han sido estimados de acuerdo con los datos disponibles de los niveles en los demás puentes.

Para que los resultados de la modelación sean similares a los reales, se han adoptado distintos coeficientes de Manning en el proceso de calibración, los cuales se detallan en el Capítulo 4, Apartado 4.4. En la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos después de la calibración del modelo, y en la Tabla 16 se muestran las diferencias de niveles entre ambos resultados.

Tabla 15. Cotas de la superficie de agua con Hec-Ras para el escenario 1

Sección transversal	Progresiva	Cota de superficie de agua
	km	msnm
Presa Los Ejidos	21+484,32	33,51
Puente Cáceres	18+603,14	32,66
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	30,86
Puente Bolognesi	16+550,00	29,50
Puente Grau	11+996,76	27,83
Puente Independencia	0+739,72	24,55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Cuadro comparativo entre cotas de la superficie de agua para el escenario 1

Sección transversal	Progresiva	Cota de agua en avenida 27.03.17	Cota de superficie de agua con Hec-Ras	Diferencia
	km	msnm	msnm	msnm
Presa Los Ejidos	21+484,32	33,55	33,51	-0,04
Puente Cáceres	18+603,14	32,30	32,66	+0,36
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	30,74	30,86	+0,12
Puente Bolognesi	16+550,00	29,70	29,50	-0,20
Puente Grau	11+996,76	28,21	27,83	-0,38
Puente Independencia	0+739,72	24,55	24,55	0,00

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan los resultados medidos in situ en la avenida del 27 de marzo del 2017 con los obtenidos en el modelo con el software Hec-Ras, los valores son muy semejantes entre sí, evidenciándose diferencias poco considerables entre ambas cotas.

En la avenida, el agua desbordó por la zona donde se encuentran ubicados los puentes Cáceres y Sánchez Cerro, y el dique izquierdo aguas abajo del puente Grau falló por desborde. Este evento trajo como consecuencia que, debido a la descarga del río después del desborde y de la falla del dique, los niveles de agua variaron; por tanto, las diferencias de cotas pueden darse por tal razón.

Los resultados pueden mejorar si se efectuase un ajuste de los coeficientes de rugosidad en algunas zonas o se dispusiera de la topografía propia del río Piura en el año 2017 poco antes de sucedido el FEN Costero. Sin embargo, no existe tal levantamiento topográfico, por lo que los resultados más acertados son con la topografía 2015.

De esta manera, se puede considerar el modelo de utilidad para ingresar un caudal diferente y obtener resultados muy similares a los reales, siempre que las condiciones de la topografía a evaluar sean similares a las de la topografía 2015.

6.2.2. Niveles de Superficie de agua en el dique izquierdo

La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos de las cotas de superficie de agua en cada una de las secciones del dique izquierdo del río en las que ocurrieron los desbordes. Sin embargo, al no contar con datos reales de cotas de superficie de agua medidos en el mismo dique, se han considerado las cotas de corona del dique de los planos originales de diseño elaborados en el año 1981 por la empresa Energoprojekt, tal como se muestra el perfil longitudinal de la cota de corona del dique izquierdo en la Figura 96.

Se hace referencia que las cotas de corona de dique obtenidas de la topografía difieren de las cotas de los diques de los planos originales de diseño elaborados en 1981, sin embargo, para el análisis se ha tomado como referencia las cotas de diseño original.

De los resultados obtenidos, es notable la sobre elevación del nivel de agua sobre la cota de la corona del dique izquierdo, por lo que se confirma claramente su falla por desbordamiento.

En la localidad de Simbilá, el desborde fue controlado con roca y bolsas de arena. En la localidad de Viduque, de acuerdo con la modelación no se obtuvieron desbordes; sin embargo, en la avenida máxima sí existió desborde. Esta diferencia es aceptable, al tomar como referencia la cota de diseño con la que se construyó el dique, ya que con el transcurso de los años han de haber existido cambios en las cotas de corona.

En las secciones identificadas como roturas en las localidades de Narihualá, Pedregal Chico y Molino Azul, se evidencia con claridad la falla por desborde, tal como han sido registradas en fotografías y visita de campo realizada a la zona.

Tabla 17. Cotas de la superficie de agua para el escenario 1

Sección transversal	Progresiva	Cota de superficie de agua	Cota de corona de dique según topografía	Cota de corona dique según planos de diseño	Diferencia
	km	msnm	msnm	msnm	msnm
Rotura Simbilá	10+035,00	27,23	27,50	27,79	-0,56
Rotura Viduque	8+498,90	26,45	25,50	26,72	-0,27
Rotura Narihualá	2+699,33	24,83	22,50	23,55	+1,28 Desborde
Rotura Pedregal Chico	1+500,00	24,74	22,50	23,42	+1,32 Desborde
Rotura Molino Azul	0+000,00	24,48	22,50	22,58	+1,90 Desborde

Fuente: Elaboración propia

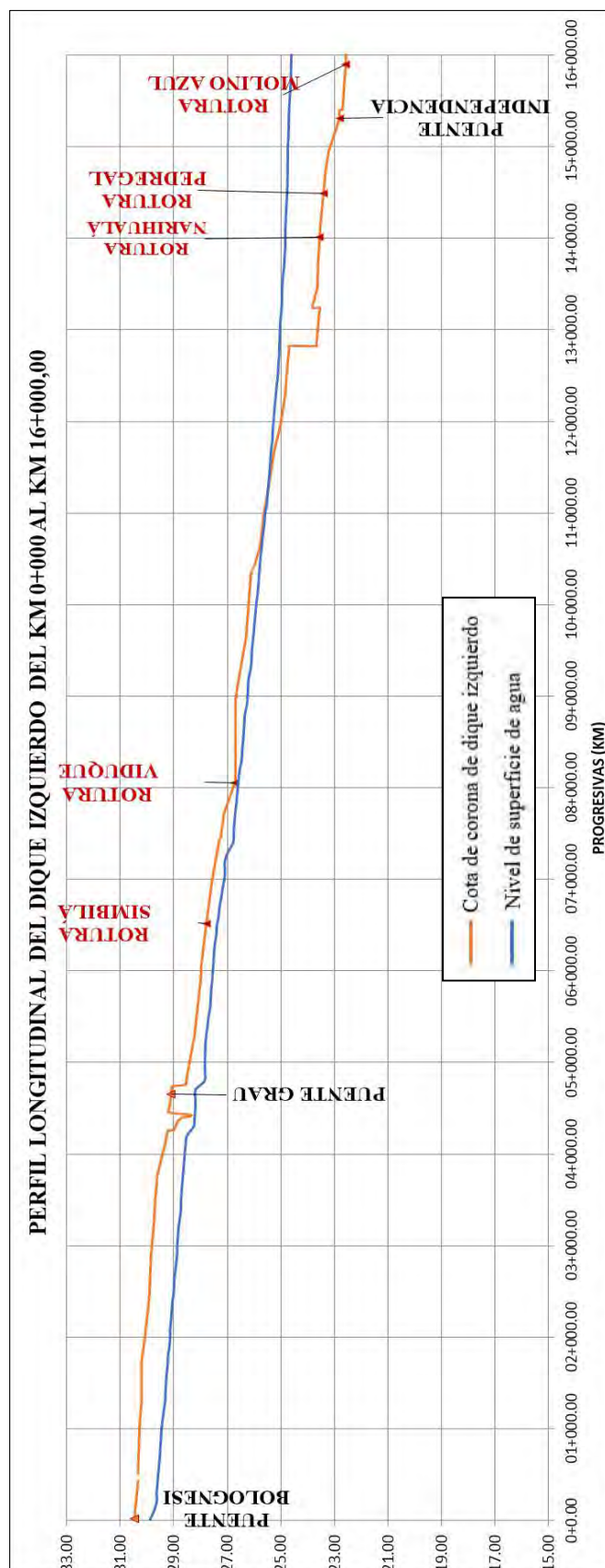


Figura 96. Perfil Longitudinal del dique izquierdo y nivel de superficie de agua con modelación.
Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Zonas vulnerables a inundaciones

Los resultados obtenidos en ambos tramos en estudio fueron exportados al software Arcgis, obteniéndose un mapa de inundación del tramo 1: Presa Los Ejidos- Puente Bolognesi, los resultados del tramo 2 fueron exportados sin éxito.

Al observar el mapa de inundación obtenido de la exportación de los resultados de la modelación del escenario 1, se evidencia que las zonas de inundación obtenidas son exactamente las mismas que han sido identificadas en la inundación del 27 de marzo del 2017 (Urb. Quinta Ana María, Urb. Cocos del Chipe, Urb. Angamos, Urb. Santa Isabel, Av. Andrés Avelino Cáceres colindante al Puente Cáceres, Urb. Miraflores, Calle Lima colindante al Puente Sánchez Cerro, Calle Libertad, Calle Tacna), por lo que los resultados obtenidos se asemejan a lo acontecido en el FEN Costero 2017.

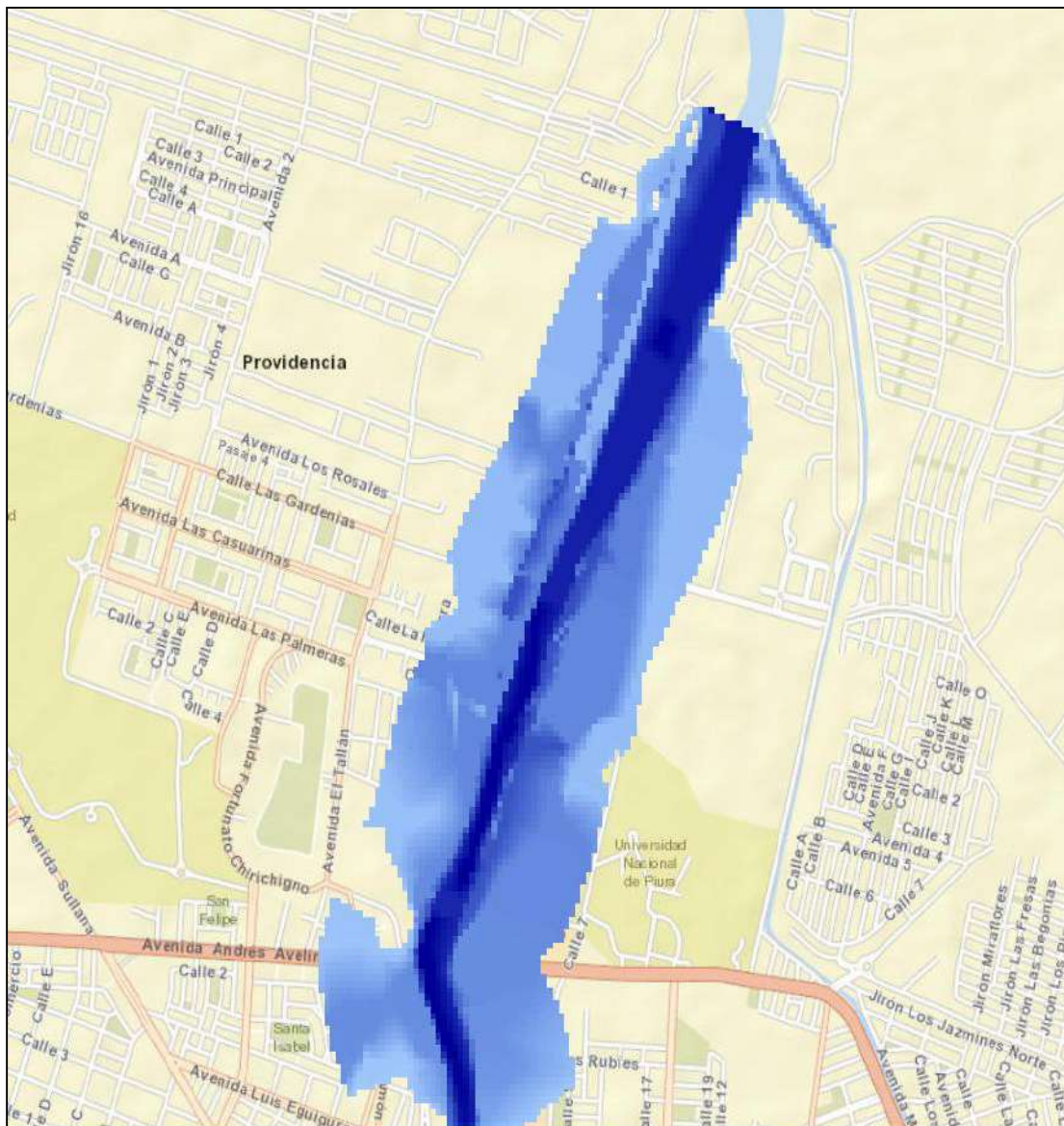


Figura 97. Zonas afectadas por la inundación desde la Presa Los Ejidos hasta el Puente Cáceres
Fuente: Elaboración propia

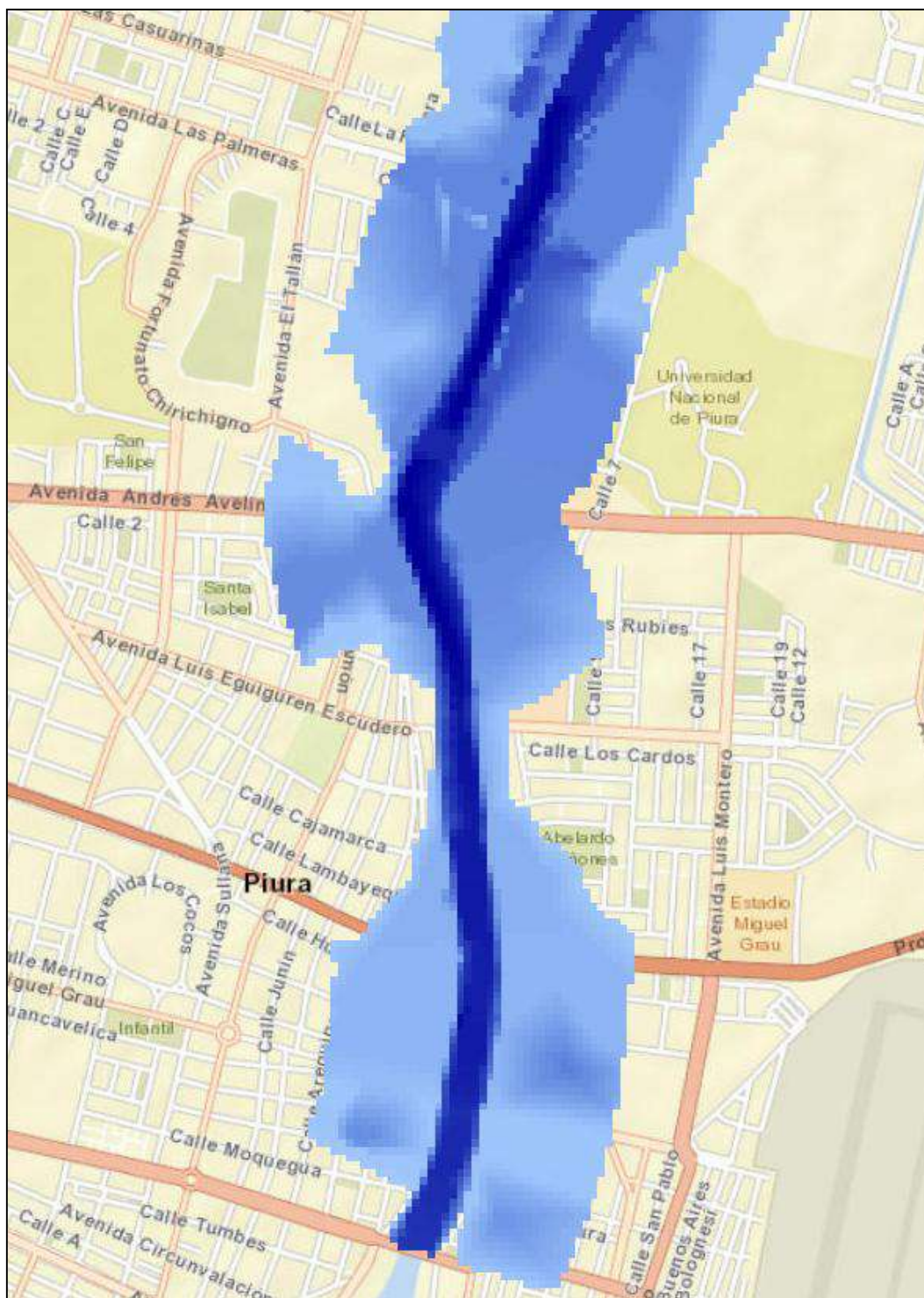


Figura 98. Zonas afectadas por la inundación desde el Puente Cáceres hasta el Puente Bolognesi
Fuente: Elaboración propia

6.3. Influencia del ensanchamiento del Puente Independencia

En la modelación del escenario 2, se plantea una modificación de la sección del puente Independencia a 362 m, tal como se muestra en las Figura 99 y Figura 100, con la finalidad de evaluar la influencia de su ensanchamiento en los demás puentes del tramo en

estudio. Asimismo, se eliminaron las secciones transversales que pasaban por el dique fusible ubicado en el margen izquierdo del puente Independencia, y que actualmente ha sido retirado.

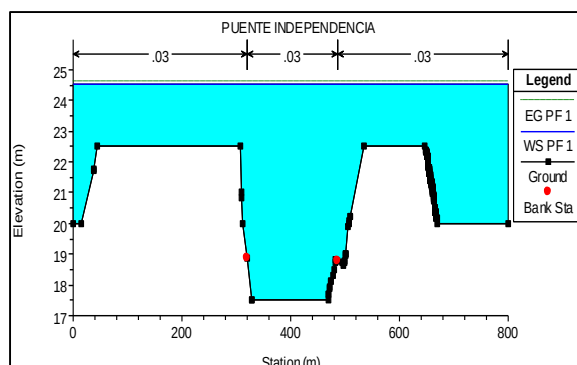


Figura 99. Puente Independencia

Fuente: Elaboración propia

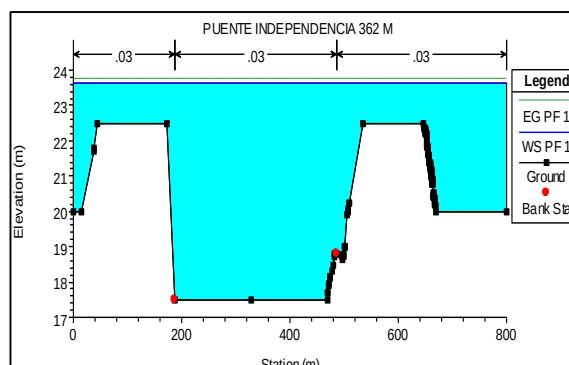


Figura 100. Sección del Puente a 362 m

La Tabla 18 muestra en su primera columna los resultados obtenidos de los niveles de agua con el puente sin modificaciones, es decir tal como se encontraba en la avenida del 27/03/17, y la columna siguiente muestra las cotas de la superficie de agua que se logran con el ensanchamiento del puente a 362 m, tal como ha sido modificado y se encuentra hasta la actualidad.

Tabla 18. Cuadro comparativo entre niveles de agua con y sin ensanchamiento del Puente Independencia

Sección transversal	Progresiva	Superficie de agua sin puente ensanchado	Superficie de agua con puente ensanchado	Diferencia
	km	msnm	msnm	msnm
Presa Los Ejidos	21+484,32	33,51	33,51	0,00
Puente Cáceres	18+603,14	32,66	32,66	0,00
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	30,86	30,86	0,00
Puente Bolognesi	16+550,00	29,50	29,50	0,00
Puente Grau	11+996,76	27,83	27,81	0,02
Rotura Simbilá	10+035,00	27,23	27,20	0,03
Rotura Viduque	8+498,90	26,45	26,36	0,09
Rotura Narihualá	2+699,33	24,83	24,13	0,70
Rotura Pedregal Chico	1+500,00	24,74	23,86	0,88
Puente Independencia	0+739,72	24,55	23,64	0,91
Rotura Molino Azul	0+000,00	24,48	23,43	1,05

Fuente: Elaboración propia

Si se analizan las cotas de agua mostradas en la Tabla 19, con el puente Independencia ensanchado y se comparan con las cotas de corona del dique izquierdo en las zonas de rotura, se muestra que a pesar de existir disminución del nivel de agua en las localidades de Simbilá y Viduque, no se hubieran podido evitar los desbordes en las localidades de Narihualá, Pedregal Chico y Molino Azul.

Cabe recalcar que la corona del dique fusible ubicado en la margen izquierda cerca del Puente Independencia se encuentra a una cota de 22,81 m de acuerdo con planos de diseño, y de haberse dado el ensanchamiento el nivel de agua alcanzaría los 23,64 m; es decir no se hubiera evitado el desborde.

Tabla 19. Cuadro comparativo entre niveles de agua con ensanchamiento del puente Independencia y nivel de corona de dique izquierdo

Sección transversal	Progresiva	Cota de superficie de agua con puente ensanchado	Cota de corona de dique según topografía	Cota de corona dique según planos de diseño	Diferencia
	km	msnm	msnm	msnm	msnm
Rotura Simbilá	10+035,00	27,20	27,50	27,79	-0,59
Rotura Viduque	8+498,90	26,36	25,50	26,72	-0,36
Rotura Narihualá	2+699,33	24,13	22,50	23,55	+0,58 Desborde
Rotura Pedregal Chico	1+500,00	23,86	22,50	23,42	+0,44 Desborde
Rotura Molino Azul	0+000,00	23,43	22,50	22,58	+0,85 Desborde

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo mostrado, se evidencia que:

- El ensanchamiento del puente Independencia no influye en los niveles de agua en las estructuras hidráulicas aguas arriba de éste, tales como: Presa Los Ejidos, Puente Cáceres, Puente Sánchez Cerro y Puente Bolognesi.
- Con respecto a las secciones de rotura del dique izquierdo ubicadas aguas arriba del Puente Independencia, tales como Simbilá y Viduque, es posible que se hubiera evitado falla por desborde en ambos casos.
- Existe un descenso de nivel de superficie de agua de 0,91 m en la misma sección del Puente Independencia; sin embargo, el agua sí hubiera sobrepasado por 0,83 m la corona del dique fusible ubicado a su margen izquierda.

Con respecto a las secciones de rotura del dique izquierdo ubicadas aguas abajo del Puente Independencia, a pesar de existir un descenso de niveles de agua, del mismo modo hubieran fallado y se hubieran originado desbordes. Esto debido a que tal como se muestra en la Figura 101, aguas abajo del Puente Independencia existen terrazas naturales en el margen izquierdo que originan el represamiento del agua por el estrangulamiento que presenta en esta parte del río.



Figura 101. Existencia de terraza natural aguas abajo del Puente Independencia
Fuente: Google

Las velocidades resultantes con el ensanchamiento del puente Independencia no varían significativamente con respecto a las velocidades resultantes con el puente Independencia sin ensanchamiento. De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 20, las velocidades no varían en lo absoluto en las obras hidráulicas aguas arriba del puente Independencia, y aumentan imperceptiblemente con su ensanchamiento.

Tabla 20. Cuadro comparativo entre velocidades con y sin ensanchamiento del puente Independencia.

Sección transversal	Progresiva	Sin ensanchamiento				Con ensanchamiento			
		V izq	V cauce	V der	V total	V izq	V cauce	V der	V total
	km	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Presa Los Ejidos	21+484,32	1,05	2,05	0,45	1,96	1,05	2,05	0,45	1,96
Puente Cáceres	18+603,14	1,02	2,13	0,52	1,50	1,02	2,13	0,52	1,50
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	0,91	3,78	0,88	2,58	0,91	3,78	0,88	2,58
Puente Bolognesi	16+550,00	1,83	4,38	2,58	4,22	1,84	4,38	2,58	4,22
Puente Grau	11+996,76	0,76	2,87	0,52	2,55	0,75	2,89	0,51	2,57
Rotura Simbilá	10+035,00	1,15	2,19	1,19	1,54	1,16	2,21	1,19	1,55
Rotura Viduque	8+498,90	1,09	1,76	1,14	1,42	1,11	1,83	1,17	1,47
Rotura Narihualá	2+699,33	0,81	1,06	0,86	0,92	0,94	1,30	1,02	1,12
Puente Independencia	0+739,72	1,05	1,11	0,78	0,97	1,30	1,39	0,89	1,19
Rotura Molino Azul	0+000,00	0,74	1,51	0,95	1,15	0,58	1,39	0,77	1,17

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera ocurre con los caudales. De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 21, la variación de estas no son significativas, salvo en la sección del mismo puente Independencia, en la que aumenta el caudal en el cauce y disminuye en sus márgenes, por la existencia de una mayor sección de agua.

Tabla 21. Cuadro comparativo entre caudales con y sin ensanchamiento del Puente Independencia.

Sección transversal	Progresiva	Sin ensanchamiento			Con ensanchamiento		
		Q izq	Q cauce	Q der	Q izq	Q cauce	Q der
	Km	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Presa Los Ejidos	21+484,32	144,32	3 319,39	4,29	144,32	3 319,39	4,29
Puente Cáceres	18+603,14	850,88	2 443,15	173,97	850,88	2 443,15	173,97
Puente Sánchez Cerro	17+370,74	267,10	2 962,65	238,25	267,10	2 962,65	238,25
Puente Bolognesi	16+550,00	28,43	3 311,80	127,77	28,41	3 311,88	127,72
Puente Grau	11+996,76	95,43	3 335,62	36,95	91,55	3 342,39	34,06
Rotura Simbilá	10+035,00	822,99	1 780,24	864,77	816,60	1 792,75	858,65
Rotura Viduque	8+498,90	564,83	2 023,63	879,54	551,97	2 051,93	864,10
Rotura Narihualá	2+699,33	1 099,66	1 652,36	715,99	1 019,55	1 754,85	693,60
Rotura Pedregal Chico	1+500,00	1 762,95	744,39	960,66	1 841,39	794,20	832,41
Puente Independencia	0+739,72	526,34	2 013,52	928,15	157,57	2 759,20	551,24

Fuente: Elaboración propia

6.4. Singularidades del FEN Costero 2017

6.4.1. Características hidráulicas del río Piura

Las características que se han obtenido de la modelación del río en el tramo en estudio para el escenario 1, es decir con datos geométricos similares a los que se encontraba el río en la avenida del 27/07/2017, muestran el comportamiento hidráulico del río Piura para el caudal máximo de 3 468 m³/s.

6.4.1.1. Generalidades

- Los números de Froude entre 0,12 y 0,58 obtenidos a lo largo del río, reflejan un flujo subcrítico propio de los ríos con pendiente suave.
- Las mayores velocidades del cauce ocurren en la zona urbana entre los puentes Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Cáceres (18+603,14 km) de hasta 4,22 m/s y 4,38 m/s en las progresivas 18+000,00 y 18+050,00 respectivamente.
- Las menores velocidades ocurren en la zona del Bajo Piura, dándose el menor valor en la progresiva 2+064,10 con 0,94 m/s, entre los puentes Independencia (0+739,72 km) y Grau (11+996,76 km).
- El tirante máximo obtenido es de 10,54 m en la sección 19+750,00 km, aguas debajo de la presa Los Ejidos, y con valores promedio de 8,69 m entre las progresivas entre los puentes Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Cáceres (18+603,14 km).
- El tirante mínimo obtenido es de 4,22 m en la sección 3+100,00 km, cerca de la localidad de Narihualá.

- f) El tirante promedio obtenido a lo largo del tramo en estudio es de 7,41 m.

6.4.1.2. Tramo del cauce entre Presa Los Ejidos y Puente Bolognesi

- a) El flujo en este tramo es gradualmente variado, presentándose remansos aguas abajo de los puentes Cáceres (18+603,14 km), Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Bolognesi (16+550,00 Km), siendo el más notorio el sucedido aguas abajo del puente Cáceres debido al estrangulamiento de la zona urbana, donde el área máxima disponible para el flujo es reducida de aproximadamente 2 850,10 m² a solamente 2 686,83 m².
- b) La velocidad promedio en el cauce es de 2,08 m/s, alejándose de este valor promedio en las secciones aguas abajo del Puente Cáceres (18+603,14 km), hasta el Puente Bolognesi (16+550,00 km), en donde existen velocidades de hasta 4,65 m/s.
- c) Las velocidades en los márgenes del río ocurren:
 - Margen derecho entre los puentes Sánchez Cerro (17+370,74 km) y Bolognesi (16+550,00 Km), con velocidad promedio de 0,76 m/s. Siendo la mayor velocidad la de 1,20 m/s en el margen derecho, en la progresiva 18+798,10.
 - Margen izquierdo entre la Presa Los Ejidos (21+484,32 km) y el puente Cáceres (18+603,14 km), con velocidad promedio de 0,87 m/s. Siendo la mayor velocidad la de 1,28 m/s en el margen izquierdo, en la progresiva 18+998,10 km.

6.4.1.3. Tramo del cauce entre Puente Bolognesi y Puente Independencia

- a) El flujo en este tramo es gradualmente variado, presentándose remansos aguas abajo de los puentes Grau (11+996,76 km) e Independencia (0+739,72 km), de manera notable en el Puente Grau debido al estrangulamiento, donde el área máxima disponible para el flujo es reducida de aproximadamente 2 503,34 m² a solamente 1 360,05 m².
- b) La velocidad promedio en el cauce es de 1,70 m/s, alejándose de este valor promedio en las secciones aguas arriba del Puente Grau (11+996,76 km), hasta el Puente Bolognesi (16+550,00 km), en donde existen velocidades de hasta 4,50 m/s cerca del puente Bolognesi.
- c) Las velocidades más altas en los márgenes del río se dan en:
 - Margen derecho con velocidad promedio de 1,05 m/s. Siendo la mayor velocidad la de 2,61 m/s en el margen derecho, en la progresiva 16+548,50, inmediatamente aguas abajo del Puente Bolognesi (16+550,00 km).

- Margen izquierdo entre y el puente, con velocidad promedio de 1,08 m/s. Siendo la mayor velocidad la de 2,44 m/s en el margen izquierdo, en la progresiva 16+498,50 km, inmediatamente aguas abajo del Puente Bolognesi (16+550,00 km).

d) Puente Independencia

El puente Independencia, ubicado en la progresiva 0+739,72 km origina un remanso aguas arriba de este debido a su capacidad hidráulica que no permite un tránsito de mayores caudales por encontrarse estrangulado. Por tanto, su modificación geométrica influye en la misma sección del puente, y de manera poco importante en las secciones cercanas.

e) Diques de defensa

- De acuerdo con las velocidades resultantes, se evidencia que en la sección correspondiente a la zona identificada como rotura en la localidad de Pedregal Chico se da una velocidad en el margen izquierdo (1,05 m/s) mayor a la del margen derecho (0,78 m/s). Sin embargo, en las demás localidades como Viduque, Simbilá, Narihualá las velocidades son ligeramente mayores en el margen derecho que en el margen izquierdo. Sin embargo, las cotas de corona en el dique derecho son mayores a las cotas de corona del dique izquierdo, razón por la cual las roturas sucedieron en el margen izquierdo.
- Se necesita una sobre elevación del dique izquierdo, en toda su extensión aguas abajo del Puente Grau (11+996,76 km, progresiva con respecto al eje del río), en aproximadamente 10 km del tramo en estudio, desde la localidad de Simbilá (6 400+00 km, progresiva con respecto al eje del dique) hasta la localidad de Molino Azul (16 100+00 km, progresiva con respecto al eje del dique).

6.4.2. Estado del río Piura post FEN Costero 2017

En el escenario 3 se modeló el río Piura con datos geométricos obtenidos de una topografía post FEN Costero (2017), sin existencia de intervenciones en su cauce por reconstrucción, por lo que los resultados obtenidos muestran el escenario que se hubiera presentado en el caso de haber ocurrido un FEN Costero con el mismo caudal, pocos meses después del ocurrido el del 27 de marzo del 2017.

De acuerdo con la Tabla 22, los niveles de cota de agua hubieran superado en la mayoría de los casos en 2 m a las cotas alcanzadas en la avenida del 27 de marzo del 2017, y por consiguiente las zonas de inundación hubieran sido mayores.

Tabla 22. Cuadro comparativo entre cotas de superficie de agua con topografía 2015 y 2017.

Sección transversal	Progresiva	Cota de superficie de agua	Cota de superficie de agua	Diferencia
		Topografía 2015	Topografía 2017	
	km	msnm	msnm	msnm
Presa Los Ejidos	20+537,44	33,51	36,42	2,91
Puente Cáceres	17+700,00	32,66	36,05	3,39
Puente Sánchez Cerro	16+490,00	30,86	33,25	2,39
Puente Bolognesi	15+673,53	29,50	31,37	1,87
Puente Grau	11+140,00	27,83	30,50	2,67
Puente Independencia	0+000,00	24,55	23,75	-0,80

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la sección transversal correspondiente al puente Independencia, el nivel de superficie de agua hubiera sido menor al presentado en la máxima avenida, esto debido a que, comparando ambas secciones obtenidas con ambas topografías, se evidencia que en esta sección se ha dado una erosión de fondo. Ver Figura 107

Las velocidades promedio que se muestran en la Tabla 23 y en la tabla resumen de resultados del Apéndice A, reflejan que a lo largo del cauce del río Piura, existen zonas en las que las velocidades obtenidas con la topografía post FEN disminuyen en comparación con las obtenidas en la topografía 2015, tales como: Presa Los Ejidos, Puente Cáceres, Puente Bolognesi y Puente Grau, esto en parte ocurre debido a que en la topografía post FEN se evidencian mayores áreas de flujo en las mismas zonas donde disminuye la velocidad, tal como lo muestra la Tabla 24 de áreas de flujo.

Tabla 23. Cuadro comparativo entre velocidades con topografía 2015 y 2017

Sección transversal	Topografía 2015				Topografía 2017			
	V i	V cauce	V d	V total	V i	V cauce	V d	V total
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Presa Los Ejidos	1,05	2,05	0,45	1,96	0,78	1,66	0,42	1,57
Puente Cáceres	1,02	2,13	0,52	1,50	0,66	1,47	0,48	1,35
Puente Sánchez Cerro	0,91	3,78	0,88	2,58	0,44	3,72	0,63	3,62
Puente Bolognesi	1,83	4,38	2,58	4,22	0,55	2,94	0,42	2,90
Puente Grau	0,76	2,87	0,52	2,55	0,94	1,43	0,54	1,20
Puente Independencia	0,74	1,51	0,95	1,15	0,33	1,87	1,07	1,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Cuadro comparativo entre áreas de flujo con topografía 2015 y 2017

Sección transversal	Área de flujo con topografía 2015	Área de flujo con topografía 2017	Diferencia
	m ²	m ²	m ²
Presa Los Ejidos	1 766,66	2 205,85	+439,19
Puente Cáceres	2 312,82	2 578,25	+265,43
Puente Sánchez Cerro	1 345,06	958,27	-386,79
Puente Bolognesi	821,58	1 197,75	+376,17
Puente Grau	1 360,05	2 890,99	+1 530,94
Puente Independencia	3 019,19	2 143,54	-875,65

Fuente: Elaboración propia

En las Figura 102, Figura 103, Figura 104, Figura 105, Figura 106, Figura 107 se muestran las secciones transversales obtenidas con ambas topografías, evidenciándose lo siguiente después del FEN Costero:

Asimismo, de manera general de acuerdo con los cálculos obtenidos de velocidades de flujo y fuerzas cortantes a lo largo del cauce del río, se pueden identificar progresivas del cauce en los que se han dado fenómenos tanto de erosión como de sedimentación:

- Entre las progresivas 0+000,00 km (Puente Independencia) y 8+798,00 km se evidencian valores altos de fuerza cortante y velocidad, así como la erosión del fondo del Puente Independencia en 0,90 m.
- Entre las progresivas 9+150,00 km y 14+900,00 km se evidencian valores bajos de fuerza cortante, así como la elevación del fondo en la sección del Puente Grau en 1,18 m siendo un tramo con sedimentación.
- Entre las progresivas 14+900,00 km y 17+600,00 km se evidencian altos valores de fuerza cortante y de velocidades en el flujo, así como la erosión de fondo de los puentes Bolognesi (15+673,53 km) en 0,10 m y elevación de fondo en el puente Sánchez Cerro (16+490,00 km) en 0,10 m.
- Desde la progresiva 17+600,00 km hacia aguas arriba hasta el fin del tramo en estudio, se evidencian valores bajos de fuerza cortante, así como la elevación de la cota de fondo en el puente Cáceres en 0,50 m y la erosión local del fondo de la Presa Los Ejidos.



Figura 102. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 de la Presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia

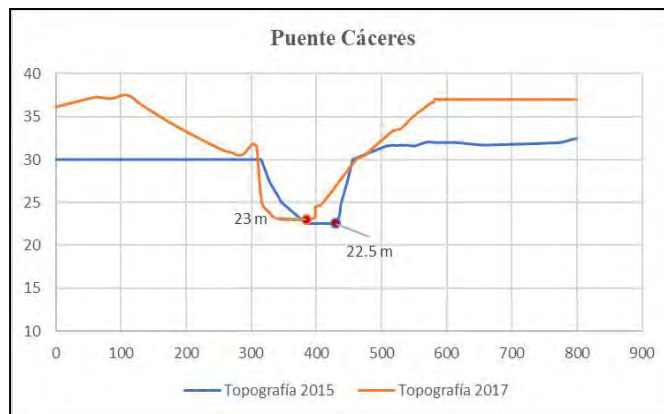


Figura 103. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Cáceres
Fuente: Elaboración propia

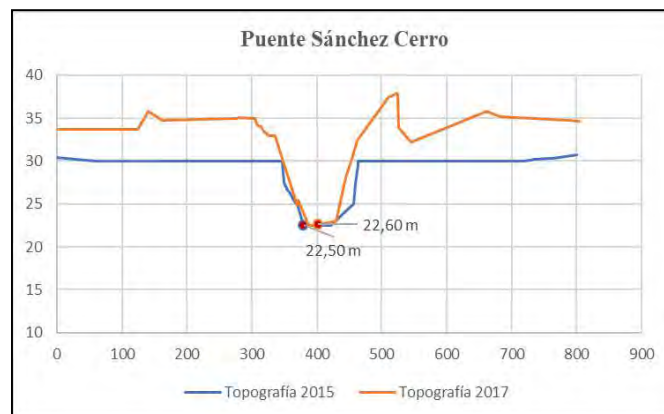


Figura 104. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Sánchez Cerro
Fuente: Elaboración propia

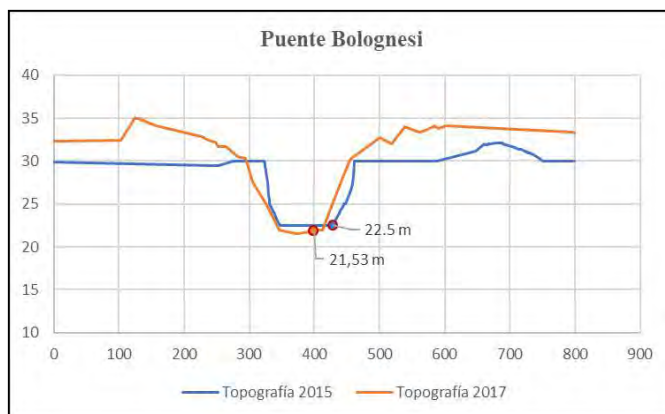


Figura 105. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Bolognesi
Fuente: Elaboración propia

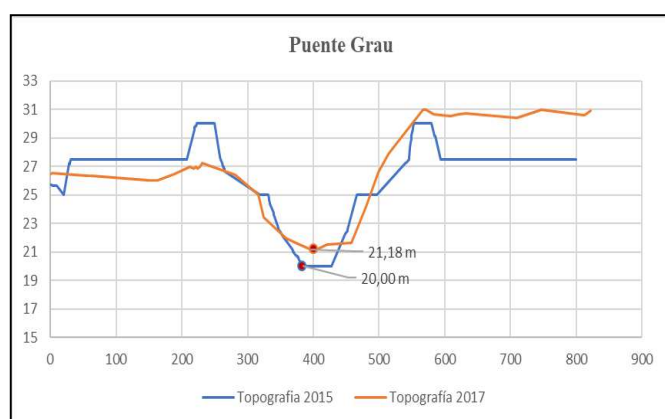


Figura 106. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Grau
Fuente: Elaboración propia

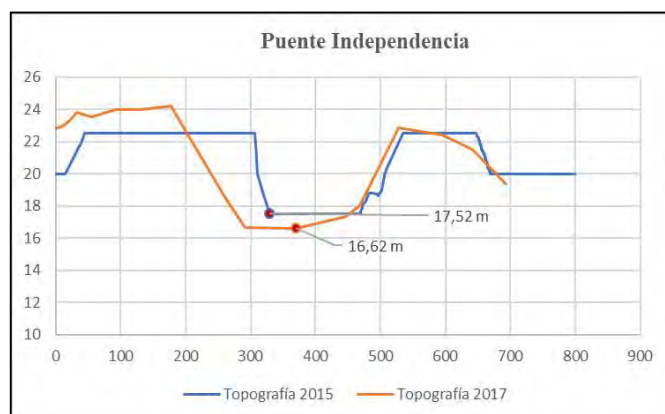


Figura 107. Secciones transversales con topografía 2015 y 2017 del Puente Independencia
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En base al análisis de los resultados obtenidos con las modelaciones en sus tres escenarios de estudio, se concluye lo siguiente:

a) Para el Escenario 1, con topografía 2015, con un caudal de 3 468 m³/s:

1. Al comparar los niveles de superficie de agua obtenidos con topografía 2015 y las medidas in situ el día 27/03/17 en el que se desbordó el río Piura, se obtienen diferencias poco considerables entre ambas cotas. Por tanto, se puede afirmar que el software Hec-Ras es una herramienta eficaz para predecir con alto grado de exactitud los niveles de agua para la prevención de avenidas, siempre que las condiciones hidráulicas (condiciones de contorno, caudal) y condiciones geométricas (secciones transversales, coeficientes de rugosidad, coeficientes de contracción y expansión), sean las más apropiadas al momento de ingresarlas al modelo.
2. Mediante la extensión Hec-GeoRas, se intercambió información entre los softwares Arcgis y Hec-Ras, y se obtuvo un mapa de inundación en el que se visualiza de manera efectiva las mismas zonas afectadas en la realidad; entre las que destacan: Urb. Quinta Ana María, Urb. Cocos del Chipe, Urb. Angamos, Urb. Santa Isabel, Av. Andrés Avelino Cáceres colindante al Puente Cáceres, Urb. Miraflores, Calle Lima colindante al Puente Sánchez Cerro, Calle Libertad, Calle Tacna.
3. Los números de Froude entre 0,12 (1+998,60 km) y 0,58 (18+050,00 km) obtenidos a lo largo del río, reflejan un flujo subcrítico propio de los ríos con pendiente suave.
4. El tirante promedio obtenido a lo largo del tramo de río en estudio es de 7,41 m, siendo el tirante máximo el de 10,54 m en la sección 19+750,00 km, aguas abajo de la Presa Los Ejidos.
5. La velocidad promedio en el cauce del tramo de río en estudio es de 2,00 m/s, alejándose de este valor las secciones aguas abajo pertenecientes al Puente Cáceres (18+603,14 km), hasta el Puente Bolognesi (16+550,00 km), en donde existen velocidades de hasta 4,65 m/s.

6. El flujo a lo largo del tramo en estudio es gradualmente variado, presentándose remansos aguas abajo de los puentes Cáceres (18+603,14 km), Sánchez Cerro (17+370,74 km), Bolognesi (16+550,00 km), Grau (11+996,76 km) e Independencia (0+739,72 km). Siendo los más notables los sucedidos aguas abajo del puente Cáceres debido al estrangulamiento de la zona urbana, donde el área máxima disponible para el flujo es reducida de aproximadamente 2 850,10 m² a solamente 2 686,83 m², y del Puente Grau, donde el área máxima disponible para el flujo es reducida de aproximadamente 2 503,34 m² a solamente 1 360,05 m².

b) Para el Escenario 2, con topografía 2015 modificada con ensanchamiento del Puente Independencia de 227,50 m a 362 m y retiro del dique fusible, con un caudal de 3 468 m³/s:

1. No existe influencia en los niveles de superficie de agua de las estructuras hidráulicas ubicadas aguas arriba del Puente Independencia, en el tramo urbano de la ciudad, tales como: Puente Bolognesi, Puente Sánchez Cerro, Puente Cáceres y Presa Los Ejidos.
2. En la misma sección transversal del Puente Independencia, se origina un descenso del nivel de superficie de agua en 0,91 m. Sin embargo, la superficie de agua hubiera seguido sobrepasando el tablero del puente.
3. En los niveles de superficie de agua pertenecientes a las secciones identificadas con rotura en el dique izquierdo, ubicadas aguas abajo del puente Independencia, se originan descensos de 0,62 m en promedio siendo 0,85 m el mayor descenso ubicado en la localidad de Molino Azul. Sin embargo, no se hubiera evitado el desborde en estas zonas, ya que las cotas resultantes de superficie de agua continúan sobrepasando la cota de la corona del dique izquierdo.
4. Comparando los niveles de superficie de agua en los puntos de rotura del dique izquierdo obtenidos en el escenario 1 y en el escenario 2, con el ensanchamiento del Puente Independencia se originan mayores descensos en los niveles de superficie de agua en las zonas de rotura del dique izquierdo, por lo que la sobreelevación necesaria en los diques será menor en comparación con la sobreelevación que se hubiera tenido que realizar con el puente Independencia sin ensanchamiento.

c) Para el Escenario 3, con topografía 2017, con un caudal de 3 468 m³/s:

1. A pesar de que la topografía 2017 presenta menor cantidad de puntos de levantamiento topográfico por sección en comparación con la topografía 2015, se evidencian cambios geométricos considerables en las secciones transversales pertenecientes a la misma estructura hidráulica, tales como:
 - Existencia de sedimentación tanto en el tramo urbano como en el Bajo Piura.

- Existencia de erosiones locales en las secciones hidráulicas pertenecientes a la Presa Los Ejidos, Puente Bolognesi y Puente Independencia.
2. En comparación con los FEN acontecidos en los años 1982-1983 y 1997-1998 en los que se presentó fenómenos de erosión a lo largo del cauce del río Piura por la presencia de lluvias menos intensas y de menor duración. En el FEN Costero sucedió lo contrario, ya que de manera general se presenta sedimentación en la mayor parte del tramo en estudio, esto debido a que el flujo del río no ha sido capaz de erosionar paulatinamente el fondo del río como naturalmente sucede ante la presencia de FEN extraordinarios, por lo que los sedimentos que ha traído consigo el flujo han sido depositados en el tramo urbano originando sedimentación, lo cual no permitió una limpieza del cauce gradual con el paso del flujo de agua. Así mismo, existió una ineficaz limpieza del cauce en el año 2016 como prevención ante inundaciones.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar una modelación con la topografía post FEN Costero 2017, considerando los trabajos de descolmatación realizados en el río Piura para obtener datos más exactos sobre futuros niveles de agua a alcanzar en una próxima avenida.
2. Se recomienda mejorar las características hidráulicas del puente Independencia, de manera que:
 - El flujo pueda transcurrir sin perturbaciones, ya que el puente se encuentra ubicado en un estrangulamiento, lo cual implica la limpieza de las terrazas laterales, de manera especial en el margen izquierdo aguas abajo del mismo puente, para de esta manera devolverle al río su cauce natural.
 - Se incremente la capacidad hidráulica de manera que sea igual a la capacidad de descarga aguas arriba de éste.
 - Ejecución de un nuevo puente en una sola estructura ya que el actual sólo se encuentra ampliado con un puente modular. En este nuevo puente se debe tener en cuenta un nuevo diseño de pilares por existir erosión en la zona, así mismo se debe considerar la cota alcanzada de 24,50 m en la avenida máxima del 27/03/17 para elevar la cota del tablero y de esta manera evitar futuros desbordes.
3. En relación con el puente Cáceres, es recomendable realizar una ampliación de su estructura sobre el cauce del río, ya que se encuentra ubicado sobre una zona de estrangulamiento, de esta manera el cauce recuperaría en parte su cauce natural. Así mismo es recomendable realizar una elevación de la cota de fondo de su tablero para evitar futuros desbordes.
4. En relación con los diques de defensa, se recomienda:
 - Rehabilitar y reforzar las zonas de rotura identificadas con falla por desborde, tales como:
 - Dique izquierdo, en la progresiva 6+400,00 km en la zona de Simbilá en una longitud aproximada de 150 m. Considerando una sobreelevación para borde libre de 0,5 m sobre la cota de corona de dique.

- Dique izquierdo, en la progresiva 8+120,00 km en la zona de Viduque en una longitud aproximada de 80 m. Considerando una sobreelevación para borde libre de 0,5 m sobre la cota de corona de dique.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 13+450,00 km en la zona de Narihualá en una longitud aproximada de 80 m. Considerando una sobreelevación de 0,60 m más 0,50 m de borde libre sobre la cota de corona de diseño.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 14+620,00 km en la zona de Pedregal Chico en una longitud aproximada de 80 m. Considerando una sobreelevación de 0,45 m más 0,50 m de borde libre sobre la cota de corona de diseño.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 16+100,00 km en la zona de Molino Azul en una longitud aproximada de 80 m. Considerando una sobreelevación de 0,90 m más 0,50 m de borde libre sobre la cota de corona de diseño.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 22+350,00 km en la zona de Chato Chico en una longitud aproximada de 200 m.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 26+560,00 km en la zona de La Bruja en una longitud aproximada de 200 m.
 - Dique izquierdo, en la progresiva 29+360,00 km en la zona de San Antonio en una longitud aproximada de 110 m.
 - El borde libre de 0,5 m que se recomienda como sobreelevación, corresponde al valor de la energía cinética del flujo.
 - Rediseñar la geometría de los diques en toda su extensión considerando el máximo caudal que han soportado. De acuerdo con la modelación se han presentado caudales de hasta 1 905 m³/s, habiendo sido construidos para soportar caudales de hasta 1 700 m³/s.
5. La solución al problema de las inundaciones debe priorizar la salida del río Piura al mar, puesto que ésta garantiza la salida de sedimentos que trae consigo el flujo, reduciendo el fenómeno de sedimentación el cual eleva la superficie del nivel de agua originando desbordes en el Bajo Piura. Sin realizarse esta tarea, los trabajos de descolmatación y reconstrucción de defensas serían vanas.
 6. El plan de defensas contra inundaciones deberá integrar la salida al mar junto a los siguientes trabajos:
 - Regulación del caudal aguas arriba del río Piura, con reservorios para que, al llegar a las zonas bajas como el Bajo Piura, lo haga con un caudal regulado menor; tal como lo han propuesto los especialistas.
 - Descolmatación de todo el cauce del río Piura.

- Reconstrucción de obras hidráulicas y de defensa del río tomando como consideración de diseño los caudales máximos soportados.
- Reforestación de las llanuras de inundación.

Referencias bibliográficas

- ANA. (2009). Proceso de elaboración del plan de gestión de la cuenca del río Piura
- Alvarado, C.A. & Ettmer, B. (2007). Control del fenómeno de agradación - degradación del Río Piura, mediante realineamiento del cauce principal inferior Fenómeno El Niño, Piura.
- ARCC. (2018). *Se eliminó el antiguo dique que generaba un remanso en el río Piura, y que fue uno de los factores del desborde en Pedregal y Catacaos*. Recuperado de: <https://rpp.pe/peru/piura/la-proxima-semana-se-reabrira-puente-independencia-hacia-el-bajo-piura-noticia-1098065>
- Azurín, C. (2010). Estudio para la conformación de un programa de inversión pública que permita disminuir la vulnerabilidad frente al incremento de caudales originados por precipitaciones extremas en la cuenca Media y Baja del río Piura. Piura.
- COER (2017). *Reporte de caudales del Río Piura para el 27/03/2017*. Recuperado de: <https://www.facebook.com/coerpiura/photos/a.511597718979442/840987742707103/?type=3&theater>
- Chow, V.T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. (1ª Ed.) Bogotá, Colombia: Editorial McGraw-Hill.
- Diario El Comercio. (2017). *Piura: puentes locales son afectados por desborde de río*. Piura: Grupo El Comercio.
- Diario El Comercio. (2018). *Piura: así luce el Puente Independencia tras ampliación*. Piura: Grupo El Comercio.
- Diario Perú 21. (2017). *¿Qué distingue a El Niño costero de los fenómenos anteriores?* Piura: Grupo El Comercio.
- ENFEN. (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017. Piura.
- Hydrologic Engineering Center Hec – Ras. (2008). Sistema de Análisis de Ríos, Hydraulic Referente Manual, U.S. CA. USA: Army Corps of Engineers.
- ENFEN (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN El Niño Costero 2017.
- INGEMMET (1994). Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura. Piura.
- INGEMMET (2017). Evaluación geológica de las zonas afectadas por El Niño Costero 2017 en la región Piura. Informe técnico N° 6765. Piura.
- Lane, E. (1955). *Estudio de la forma de los canales formados por corrientes naturales que fluyen en material erosionable*. Omaha, Nebraska.

- Leopold, L. & Wolman, M. (1957). *Patrones de canales fluviales: trenzado, serpenteante y recto*. Washington D, C.
- Ortega, R. (2017). *¿Por qué se inundó la Plaza de Armas de Piura? ¿La naturaleza venció a la ingeniería?* Recuperado de: <https://altavoz.pe/2012/02/21/22832/informe-por-que-se-inundo-la-plaza-de-arms-de-piura-la-naturaleza-vencio-a-la-ingenieria/>
- PECHP. (2017). Sectores del dique izquierdo afectados por avenidas máximas del río Piura 2017. Piura.
- PECHP. (2017). Mapa informativo del Valle del Bajo Piura. Piura.
- PECHP & Consorcio Class Salzgitter. (2001). Estudio definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del sistema de defensas contra inundaciones en el Bajo Piura. Piura.
- Reyes, J. (2017). Problemas en el Manejo del Río Piura en zonas Urbanas. Piura, Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Rocha, A. (2004). Aspectos Sedimentológicos del manejo de cuencas en zonas áridas sujetas al Fenómeno de El Niño. *II Simposio latinoamericano de control de la erosión*.
- Rocha, A. (1998-a). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Rocha, A. (1998-b). La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales. *VIII Congreso Internacional de obras de Infraestructura Vial*.
- Saucedo, K. (2017). *¿Por qué se inundó la Plaza de Armas de Piura? ¿La naturaleza venció a la ingeniería?* Recuperado de: <https://altavoz.pe/2012/02/21/22832/informe-por-que-se-inundo-la-plaza-de-arms-de-piura-la-naturaleza-vencio-a-la-ingenieria/>
- SENHAMI (2014). El Fenómeno El Niño en el Perú. Lima.
- UDEP & UNP. (2001). Estudio para el Tratamiento Integral del Río Piura, Proyecto PNUD – Gobierno PER 98/018, CTAR Piura. Piura.
- Vide, J.M. (2003). *Ingeniería de ríos*. (1ª Ed.) Barcelona, España: Ediciones UPC.
- Villón, M. (2007). *Hidráulica de Canales*. (2ª Ed.) Lima, Perú: Editorial Villón.
- Villón, M. (2011). *Hec-ras Ejemplos*. (2ª Ed.) Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.

Apéndices

Apéndice A1. Resultados de la modelación para el Escenario 1

Tabla A-1 Resultados de la modelación para Escenario 1

RESULTADOS DEL ESCENARIO 1 (TOPOGRAFÍA 2015)															
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Fr # Chl	
TRAMO 1	21484.32	3468	144.32	3319.39	4.29	25.00	33.51		33.71	0.000275	2.05	1766.66	283.17	0.24	
TRAMO 1	21450	3468	148.68	3311.54	7.79	25.00	33.50		33.70	0.000271	1.97	1862.61	345.97	0.24	
TRAMO 1	21400	3468	214.73	3245.48	7.79	25.00	33.46		33.68	0.000306	2.13	1788.32	384.84	0.25	
TRAMO 1	21350	3468	248.06	3203.00	16.94	25.00	33.51		33.64	0.000181	1.61	2358.06	500.27	0.20	
TRAMO 1	21300	3468	265.88	3141.00	61.12	25.00	33.50		33.63	0.000215	1.68	2346.96	598.76	0.21	
TRAMO 1	21250	3468	86.59	3320.98	60.43	25.00	33.45		33.61	0.000229	1.82	2062.48	460.36	0.22	
TRAMO 1	21200	3468		3368.98	99.02	25.00	33.41		33.60	0.000253	1.96	1890.95	390.70	0.23	
TRAMO 1	21150	3468		3436.87	31.14	25.00	33.40		33.59	0.000240	1.93	1852.96	350.62	0.23	
TRAMO 1	21100	3468		3425.14	42.86	25.00	33.40		33.57	0.000220	1.84	1965.66	382.09	0.22	
TRAMO 1	21050	3468		3332.56	135.44	25.00	33.39		33.56	0.000214	1.84	2012.43	366.18	0.22	
TRAMO 1	21000	3468		3299.59	168.41	25.00	33.39		33.54	0.000192	1.77	2164.66	494.80	0.20	
TRAMO 1	20950	3468		3201.84	266.16	25.00	33.38		33.53	0.000192	1.76	2236.90	499.65	0.20	
TRAMO 1	20900	3468	0.11	3136.49	331.40	25.00	33.38		33.52	0.000210	1.76	2252.84	517.43	0.21	
TRAMO 1	20850	3468	26.46	3056.13	385.41	25.00	33.37		33.51	0.000203	1.74	2349.34	615.81	0.21	
TRAMO 1	20800.*	3468	35.32	3090.89	341.79	25.00	33.35		33.50	0.000207	1.76	2330.37	632.35	0.21	
TRAMO 1	20750.*	3468	44.48	3127.33	296.19	25.00	33.34		33.49	0.000210	1.79	2312.55	668.04	0.21	
TRAMO 1	20700.*	3468	22.37	3183.04	262.59	25.00	33.33		33.48	0.000229	1.74	2312.46	729.89	0.22	
TRAMO 1	20650	3468	114.15	3149.67	204.18	25.00	33.31		33.46	0.000209	1.80	2352.80	769.41	0.21	
TRAMO 1	20600	3468	266.54	3005.63	195.83	25.00	33.28		33.45	0.000219	1.97	2299.04	781.27	0.22	
TRAMO 1	20550	3468	148.57	3161.76	157.67	25.00	33.27		33.44	0.000241	1.92	2233.21	800.00	0.23	
TRAMO 1	20500	3468	127.27	3146.78	193.95	25.00	33.26		33.43	0.000241	1.90	2250.91	800.00	0.23	
TRAMO 1	20450	3468	213.67	3038.30	216.03	25.00	33.21		33.41	0.000281	2.09	2149.44	800.00	0.25	
TRAMO 1	20400	3468	245.80	2986.42	235.78	25.00	33.20		33.40	0.000281	2.11	2165.60	800.00	0.25	
TRAMO 1	20350	3468	237.15	2673.11	557.74	25.00	33.22		33.37	0.000237	1.92	2443.56	800.00	0.23	
TRAMO 1	20300	3468	283.47	2416.64	767.89	25.00	33.22		33.35	0.000218	1.85	2584.89	800.00	0.22	
TRAMO 1	20250	3468	346.39	2170.79	950.83	25.00	33.21		33.34	0.000232	1.90	2587.27	800.00	0.22	
TRAMO 1	20200	3468	401.91	2107.99	958.10	25.00	33.20		33.33	0.000242	1.93	2572.45	800.00	0.23	
TRAMO 1	20150	3468	455.52	2065.39	947.09	25.00	33.19		33.31	0.000235	1.85	2633.64	800.00	0.22	
TRAMO 1	20100	3468	508.78	2215.77	743.45	25.00	33.16		33.30	0.000265	1.95	2514.03	800.00	0.24	
TRAMO 1	20050	3468	389.62	2442.92	635.46	25.00	33.15		33.28	0.000267	1.82	2522.10	800.00	0.23	
TRAMO 1	20000	3468	606.40	2463.61	397.99	25.00	33.10		33.26	0.000331	2.05	2303.29	800.00	0.26	
TRAMO 1	19950	3468	614.26	2251.05	602.70	25.00	33.10		33.24	0.000300	1.97	2434.20	800.00	0.25	
TRAMO 1	19900	3468	625.14	2342.15	500.71	25.00	33.07		33.23	0.000306	2.01	2381.73	800.00	0.25	
TRAMO 1	19850	3468	707.58	2312.00	448.43	25.00	33.05		33.21	0.000297	2.05	2378.65	800.00	0.25	
TRAMO 1	19800	3468	868.88	2058.86	540.27	22.89	33.04		33.20	0.000251	2.11	2464.10	747.00	0.24	
TRAMO 1	19750	3468	900.35	1972.66	595.00	22.50	33.04		33.18	0.000219	2.01	2580.47	730.68	0.22	
TRAMO 1	19700	3468	779.00	2389.44	299.55	22.50	33.00		33.17	0.000279	2.10	2287.40	703.90	0.25	
TRAMO 1	19650	3468	748.01	2341.82	378.16	22.50	32.99		33.15	0.000257	2.01	2451.18	800.00	0.24	
TRAMO 1	19600	3468	725.25	2297.44	445.31	22.50	32.99		33.13	0.000243	1.98	2511.67	800.00	0.23	
TRAMO 1	19550	3468	579.55	2051.62	836.83	22.50	33.00		33.11	0.000189	1.77	2814.42	800.00	0.20	
TRAMO 1	19500	3468	485.51	2015.22	967.28	22.50	32.97		33.10	0.000219	1.91	2657.70	800.00	0.22	
TRAMO 1	19450	3468	527.63	2071.94	868.44	22.50	32.96		33.09	0.000208	1.89	2673.64	772.91	0.21	
TRAMO 1	19400	3468	47.37	2836.56	584.07	22.50	32.97		33.07	0.000170	1.53	2761.27	779.84	0.19	
TRAMO 1	19350	3468	56.75	2721.91	689.34	22.50	32.96		33.06	0.000192	1.56	2712.51	800.00	0.20	
TRAMO 1	19300	3468	54.54	2733.14	680.32	22.50	32.94		33.05	0.000230	1.62	2583.36	800.00	0.22	
TRAMO 1	19250	3468	129.71	2647.67	690.62	22.50	32.93		33.04	0.000258	1.63	2583.89	800.00	0.22	
TRAMO 1	19200	3468	389.85	2554.54	523.62	22.50	32.92		33.03	0.000233	1.64	2661.13	800.00	0.22	
TRAMO 1	19150	3468	545.54	2519.28	403.18	22.50	32.90		33.01	0.000243	1.65	2616.08	800.00	0.22	
TRAMO 1	19100	3468	1542.66	1706.06	219.28	22.50	32.83		33.00	0.000296	2.24	2335.75	800.00	0.26	
TRAMO 1	19050	3468	775.66	2556.57	135.77	22.50	32.82		32.98	0.000315	1.92	2262.16	800.00	0.25	
TRAMO 1	19000	3468	902.36	2429.40	136.24	22.50	32.80		32.96	0.000333	1.99	2231.59	800.00	0.26	
TRAMO 1	18950	3468	842.27	2462.33	163.41	22.50	32.79		32.94	0.000264	1.93	2375.51	800.00	0.24	
TRAMO 1	18900	3468	801.03	2438.05	228.92	22.50	32.79		32.92	0.000239	1.85	2445.08	700.87	0.23	
TRAMO 1	18850.*	3468	821.02	2384.28	262.71	22.57	32.74		32.91	0.000279	2.05	2177.16	550.37	0.25	
TRAMO 1	18800.*	3468	781.30	2447.17	239.53	22.63	32.73		32.89	0.000271	2.00	2156.92	517.50	0.24	
TRAMO 1	18750	3468	820.25	2632.11	15.64	22.70	32.72		32.88	0.000248	1.96	2178.90	524.88	0.23	
TRAMO 1	18700	3468	838.96	2578.41	50.63	22.50	32.69		32.87	0.000252	2.10	2136.27	667.68	0.24	
TRAMO 1	18650	3468	818.15	2619.19	30.66	22.50	32.66		32.85	0.000257	2.16	2109.36	742.97	0.24	
TRAMO 1	18603.14	3468	850.88	2443.15	173.97	22.50	32.66		32.84	0.000258	2.13	2312.82	800.00	0.24	
TRAMO 1	18550	3468	850.88	1993.62	623.50	22.50	32.67		32.80	0.000214	2.04	2645.52	800.00	0.22	
TRAMO 1	18500	3468	797.38	1837.14	833.49	22.50	32.68		32.79	0.000184	1.85	2850.10	800.00	0.20	
TRAMO 1	18450	3468	888.28	1788.11	791.61	22.50	32.65		32.77	0.000222	2.01	2686.83	800.00	0.22	
TRAMO 1	18400	3468	939.33	2128.96	399.71	22.50	32.56		32.76	0.000297	2.35	2308.01	800.00	0.26	
TRAMO 1	18350	3468	927.54	2305.17	235.29	22.50	32.49		32.73	0.000351	2.57	1968.22	590.86	0.28	
TRAMO 1	18300	3468	798.75	2547.90	121.35	22.50	32.41		32.71	0.000458	2.74	1764.29	571.33	0.32	
TRAMO 1	18250	3468	737.76	2597.93	132.32	22.50	32.29		32.67	0.000555	3.12	1614.61	576.47	0.35	
TRAMO 1	18200	3468	695.30	2655.48	117.22	22.50	32.22		32.64	0.000605	3.22	1556.74	578.91	0.36	
TRAMO 1	18150	3468	363.27	3064.90	39.83	22.50	31.92		32.58	0.000915	3.80	1194.02	484.22	0.44	
TRAMO 1	18100	3468	208.76	3256.40	2.85	22.50	31.70		32.51	0.001163	4.11	991.46	331.71	0.50	

Tabla A-1 Resultados de la modelación para el Escenario 1 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 1 (TOPOGRAFÍA 2015)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 1	18050	3468	71.90	3394.71	1.40	22.50	31.33		32.41	0.001641	4.65	802.50	226.21	0.58
TRAMO 1	18000	3468	47.64	3419.18	1.18	22.50	31.33		32.31	0.001404	4.42	825.85	195.47	0.54
TRAMO 1	17950	3468	45.68	3419.55	2.77	22.50	31.36		32.21	0.001173	4.11	886.53	200.27	0.50
TRAMO 1	17900	3468	42.76	3418.77	6.46	22.50	31.31		32.14	0.001161	4.07	896.86	210.52	0.49
TRAMO 1	17850	3468	38.99	3415.06	13.96	22.50	31.30		32.07	0.001032	3.92	937.27	224.48	0.47
TRAMO 1	17800	3468	33.94	3417.38	16.68	22.50	31.24		32.02	0.001043	3.93	935.93	230.67	0.47
TRAMO 1	17750	3468	89.17	3347.47	31.36	22.50	31.15		31.96	0.001169	4.05	954.78	292.20	0.49
TRAMO 1	17700	3468	138.06	3273.13	56.81	22.50	31.20		31.86	0.000888	3.70	1087.91	336.97	0.44
TRAMO 1	17650	3468	140.29	3244.99	82.73	22.50	31.16		31.81	0.000877	3.70	1129.13	415.16	0.43
TRAMO 1	17600	3468	176.03	3182.46	109.52	22.50	31.11		31.77	0.000924	3.74	1165.52	486.09	0.44
TRAMO 1	17550	3468	213.37	3108.25	146.37	22.50	31.22		31.66	0.000786	3.11	1393.90	571.84	0.40
TRAMO 1	17500	3468	166.64	3110.43	190.93	22.50	31.05		31.61	0.000815	3.49	1308.25	612.42	0.42
TRAMO 1	17450	3468	193.16	3017.27	257.57	22.50	31.01		31.57	0.000868	3.53	1372.41	742.74	0.43
TRAMO 1	17400	3468	252.28	2958.16	257.57	22.50	30.95		31.53	0.000946	3.63	1378.84	800.00	0.44
TRAMO 1	17370.74	3468	267.10	2962.65	238.25	22.50	30.86	28.41	31.49	0.000962	3.78	1345.06	800.00	0.45
TRAMO 1	17350	3468	258.96	2965.24	243.80	22.50	30.90		31.42	0.000767	3.44	1458.61	800.00	0.41
TRAMO 1	17300	3468	251.39	2981.17	235.44	22.50	30.86		31.38	0.000756	3.42	1458.06	800.00	0.40
TRAMO 1	17250	3468	335.43	2904.01	228.56	22.50	30.85		31.33	0.000725	3.35	1513.85	800.00	0.40
TRAMO 1	17200.*	3468	674.07	2549.06	244.87	22.50	30.86		31.28	0.000607	3.26	1686.75	800.00	0.37
TRAMO 1	17150	3468	944.34	2281.21	242.45	22.50	30.90		31.22	0.000487	2.97	1879.05	800.00	0.33
TRAMO 1	17100	3468	1045.70	2195.71	226.59	22.50	30.90		31.19	0.000450	2.83	1949.49	800.00	0.32
TRAMO 1	17050	3468	676.64	2598.04	193.32	22.50	30.82		31.16	0.000520	2.89	1792.95	800.00	0.34
TRAMO 1	17000	3468	278.78	3082.92	106.30	22.50	30.48	27.69	31.10	0.000874	3.67	1318.74	800.00	0.43
TRAMO 1	16950	3468	22.63	3300.06	145.32	22.50	30.17	27.77	31.02	0.001217	4.18	1036.73	800.00	0.51
TRAMO 1	16900	3468	43.95	3087.08	336.97	22.50	30.24	27.75	30.91	0.000992	3.82	1232.81	800.00	0.46
TRAMO 1	16850	3468	45.11	2923.11	499.78	22.50	30.26		30.83	0.000875	3.60	1345.87	800.00	0.43
TRAMO 1	16800	3468	440.89	2458.30	568.81	22.50	30.38		30.73	0.000634	3.00	1777.94	800.00	0.37
TRAMO 1	16750	3468	672.44	2735.27	60.29	22.50	30.23		30.68	0.000792	3.29	1482.48	800.00	0.41
TRAMO 1	16700	3468	676.07	2768.45	23.48	22.50	30.19		30.63	0.000773	3.24	1456.56	800.00	0.40
TRAMO 1	16650	3468	279.55	3180.97	7.47	22.50	29.90		30.57	0.001093	3.76	1126.88	443.63	0.47
TRAMO 1	16600	3468	115.85	3350.69	1.46	22.50	29.74		30.50	0.001191	3.92	1009.32	425.69	0.50
TRAMO 2	16550	3468	28.43	3311.80	127.77	22.50	29.50		30.45	0.001387	4.38	821.58	143.48	0.54
TRAMO 2	16500	3468	139.34	3244.16	84.50	22.50	29.38		30.36	0.001570	4.50	812.79	149.05	0.57
TRAMO 2	16400	3468	62.86	3233.67	171.47	22.50	29.61		30.11	0.000792	3.20	1233.92	353.36	0.41
TRAMO 2	16300	3468	72.57	3145.60	249.84	22.50	29.64		29.99	0.000644	2.72	1492.64	499.50	0.36
TRAMO 2	16200	3468	37.57	2827.99	602.44	22.50	29.64		29.90	0.000600	2.42	1722.78	564.79	0.34
TRAMO 2	16100	3468	152.57	2773.06	542.38	22.50	29.59		29.84	0.000571	2.43	1753.33	576.03	0.34
TRAMO 2	16000	3468	135.42	2858.19	474.40	22.50	29.55		29.78	0.000530	2.25	1823.27	571.55	0.32
TRAMO 2	15900	3468	162.51	2727.78	577.72	22.50	29.52		29.72	0.000518	2.17	1913.79	640.00	0.31
TRAMO 2	15800	3468	355.97	2473.35	638.68	22.50	29.48		29.66	0.000446	2.11	2050.28	695.84	0.30
TRAMO 2	15700	3468	540.76	2193.54	733.70	22.50	29.46		29.61	0.000375	1.93	2202.60	682.73	0.27
TRAMO 2	15600	3468	238.54	2435.46	794.01	22.50	29.42		29.57	0.000382	1.96	2196.31	705.01	0.27
TRAMO 2	15500	3468	247.15	2773.34	447.51	22.50	29.32		29.52	0.000519	2.16	1942.79	695.23	0.31
TRAMO 2	15400	3468	262.11	2767.03	438.86	22.50	29.31		29.46	0.000404	1.85	2222.09	745.70	0.28
TRAMO 2	15300	3468	289.31	2261.47	917.22	22.50	29.29		29.42	0.000358	1.72	2390.05	758.39	0.26
TRAMO 2	15200	3468	318.42	2033.38	1116.20	22.50	29.27		29.38	0.000317	1.61	2525.96	785.62	0.24
TRAMO 2	15100	3468	337.61	1962.26	1168.13	22.50	29.23		29.35	0.000337	1.66	2466.63	779.48	0.25
TRAMO 2	15000	3468	624.22	1978.54	865.24	22.50	29.22		29.31	0.000263	1.49	2692.39	767.68	0.22
TRAMO 2	14900	3468	303.08	2087.48	1077.45	22.50	29.17		29.28	0.000302	1.66	2469.76	740.85	0.24
TRAMO 2	14800	3468	406.62	1650.56	1410.83	22.50	29.14		29.25	0.000283	1.72	2555.47	760.23	0.24
TRAMO 2	14700	3468	752.08	1205.65	1510.27	22.50	29.14		29.22	0.000200	1.55	2926.98	789.15	0.20
TRAMO 2	14600	3468	344.31	2917.42	206.28	22.50	29.10		29.19	0.000243	1.42	2718.31	786.20	0.21
TRAMO 2	14500	3468	335.57	1650.42	1482.01	22.50	29.08		29.17	0.000251	1.49	2734.98	787.87	0.22
TRAMO 2	14400	3468	162.93	3240.67	64.40	22.50	29.05		29.14	0.000265	1.37	2681.28	790.66	0.22
TRAMO 2	14300	3468	999.03	1182.64	1286.33	22.50	29.00		29.11	0.000356	1.77	2454.10	770.89	0.26
TRAMO 2	14200	3468	451.25	2667.48	349.27	22.50	28.99		29.07	0.000221	1.33	2849.83	777.19	0.20
TRAMO 2	14100	3468	966.03	2216.03	285.94	22.50	28.96		29.05	0.000250	1.42	2724.83	787.86	0.22
TRAMO 2	14000	3468	1663.22	1339.95	464.83	22.50	28.92		29.02	0.000288	1.68	2586.17	788.81	0.24
TRAMO 2	13900	3468	1748.04	1190.81	529.15	22.50	28.87		28.99	0.000324	1.85	2476.19	792.01	0.25
TRAMO 2	13800	3468	957.61	1689.38	821.01	21.75	28.88		28.96	0.000176	1.41	3040.06	789.33	0.19
TRAMO 2	13700	3468	927.91	1905.74	634.35	21.46	28.85		28.94	0.000197	1.52	2891.06	787.48	0.20
TRAMO 2	13600	3468	924.52	2164.44	379.04	20.04	28.83		28.91	0.000207	1.47	2828.56	788.63	0.20
TRAMO 2	13500.*	3468	853.03	1893.44	721.53	20.02	28.78		28.89	0.000251	1.80	2656.68	800.00	0.23
TRAMO 2	13400	3468	553.94	1987.44	926.62	20.00	28.73		28.86	0.000271	1.92	2507.24	774.18	0.24
TRAMO 2	13300	3468	1056.19	1436.00	975.81	20.00	28.73		28.83	0.000210	1.73	2827.11	791.08	0.21
TRAMO 2	13200	3468	879.03	1461.43	1127.54	20.00	28.71		28.81	0.000216	1.74	2804.72	792.06	0.21
TRAMO 2	13100	3468	795.56	1582.11	1090.33	20.00	28.68		28.78	0.000236	1.72	2683.37	742.61	0.22
TRAMO 2	13000.*	3468	887.84	1476.44	1103.72	20.00	28.65		28.76	0.000261	1.77	2623.88	764.24	0.23
TRAMO 2	12900.*	3468	1000.68	1373.87	1093.46	20.00	28.62		28.73	0.000292	1.81	2620.38	800.00	0.24
TRAMO 2	12800	3468	1241.84	1056.09	1170.07	20.00	28.60		28.70	0.000288	1.87	2631.94	797.71	0.24
TRAMO 2	12700.*	3468	877.48	2287.66	302.87	20.00	28.56		28.67	0.000303	1.63	2561.47	800.00	0.24
TRAMO 2	12600	3468	664.57	2026.68	776.75	20.00	28.51		28.64	0.000284	1.87	2513.39	773.11	0.24

Tabla A-1 Resultados de la modelación para el Escenario 1 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 1 (TOPOGRAFÍA 2015)														
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Fr # Chl
TRAMO 2	12500	3468	292.61	2564.53	610.86	20.00	28.19		28.57	0.000776	3.04	1539.69	649.92	0.40
TRAMO 2	12400	3468	1218.77	2030.61	218.62	20.00	28.26		28.46	0.000461	2.31	2013.63	635.32	0.30
TRAMO 2	12300	3468	1036.15	2333.48	98.37	20.00	28.23		28.40	0.000461	2.11	2014.40	621.97	0.30
TRAMO 2	12200	3468	768.42	2574.58	125.00	20.00	28.20		28.36	0.000335	1.95	2174.40	703.87	0.26
TRAMO 2	12100	3468	814.66	2026.88	626.46	20.00	28.20		28.31	0.000309	1.71	2503.34	755.69	0.24
TRAMO 2	11996.76	3468	95.43	3335.62	36.95	20.00	27.83		28.23	0.001079	2.87	1360.05	705.31	0.44
TRAMO 2	11900	3468	1092.06	2171.77	204.17	20.00	27.85		28.06	0.000561	2.40	1953.72	800.00	0.33
TRAMO 2	11800	3468	1075.80	1924.82	467.38	20.00	27.84		27.99	0.000430	2.05	2263.47	800.00	0.29
TRAMO 2	11700	3468	870.98	2036.23	560.80	20.00	27.85		27.95	0.000217	1.59	2813.41	800.00	0.21
TRAMO 2	11600	3468	1229.01	1814.37	424.62	20.00	27.83		27.92	0.000221	1.58	2810.34	800.00	0.21
TRAMO 2	11500	3468	1028.27	1668.39	771.34	20.00	27.79		27.90	0.000328	1.68	2555.94	800.00	0.25
TRAMO 2	11400	3468	968.17	1325.45	1174.38	20.00	27.74		27.86	0.000399	1.82	2421.56	800.00	0.27
TRAMO 2	11300	3468	753.19	1900.68	814.14	20.00	27.71		27.82	0.000341	1.76	2487.79	800.00	0.25
TRAMO 2	11200	3468	1025.23	1845.16	597.61	20.00	27.65		27.79	0.000362	2.01	2384.46	800.00	0.27
TRAMO 2	11100	3468	1111.56	1638.41	718.03	20.00	27.63		27.75	0.000307	1.91	2534.29	800.00	0.25
TRAMO 2	11000	3468	984.71	1800.47	682.81	20.00	27.61		27.71	0.000261	1.76	2664.57	800.00	0.23
TRAMO 2	10900	3468	1004.41	1811.26	652.34	20.00	27.57		27.69	0.000296	1.83	2554.55	793.95	0.24
TRAMO 2	10800	3468	568.60	2234.81	664.59	20.00	27.55		27.66	0.000263	1.66	2641.43	800.00	0.23
TRAMO 2	10700	3468	919.39	1827.09	721.52	20.00	27.52		27.63	0.000294	1.74	2590.40	800.00	0.24
TRAMO 2	10600	3468	1188.59	1660.42	619.00	20.00	27.50		27.60	0.000239	1.60	2783.13	800.00	0.22
TRAMO 2	10500	3468	919.73	1949.49	598.78	20.00	27.47		27.57	0.000278	1.64	2641.59	792.66	0.23
TRAMO 2	10400	3468	774.25	1982.77	710.98	20.00	27.42		27.53	0.000398	1.75	2391.88	792.23	0.27
TRAMO 2	10300	3468	797.32	2049.82	620.87	20.00	27.40		27.50	0.000278	1.57	2656.81	790.14	0.23
TRAMO 2	10200	3468	898.89	1850.58	718.54	20.00	27.33		27.46	0.000391	1.88	2372.90	792.20	0.27
TRAMO 2	10100	3468	761.45	1631.49	1075.06	20.00	27.30		27.42	0.000328	1.89	2487.34	791.54	0.26
TRAMO 2	10035	3468	822.99	1780.24	864.77	20.00	27.23		27.39	0.000423	2.19	2256.63	783.27	0.29
TRAMO 2	9967.5*	3468	931.64	1596.96	939.40	20.00	27.19		27.36	0.000532	2.33	2141.29	797.84	0.32
TRAMO 2	9900	3468	1089.45	1317.26	1061.30	20.00	27.12		27.32	0.000650	2.66	2014.29	791.05	0.36
TRAMO 2	9800	3468	1127.79	1140.11	1200.10	20.00	27.10		27.24	0.000485	2.22	2245.96	788.96	0.31
TRAMO 2	9700	3468	1389.73	1280.27	798.00	20.00	27.10		27.19	0.000277	1.60	2683.72	789.75	0.23
TRAMO 2	9600	3468	1039.94	1421.06	1007.00	20.00	26.98		27.15	0.000551	2.34	2133.71	790.16	0.33
TRAMO 2	9500	3468	790.56	1781.59	895.85	20.00	26.79		27.07	0.000806	2.98	1817.31	793.69	0.40
TRAMO 2	9400	3468	641.30	1961.69	865.01	20.00	26.77		26.98	0.000616	2.44	1999.24	793.60	0.34
TRAMO 2	9300	3468	862.16	1934.83	671.02	20.00	26.75		26.91	0.000433	2.13	2249.55	800.00	0.29
TRAMO 2	9200	3468	1106.97	1664.32	696.70	20.00	26.72		26.86	0.000405	2.03	2324.83	800.00	0.28
TRAMO 2	9100	3468	1135.05	1750.89	582.06	20.00	26.68		26.82	0.000392	1.99	2335.32	794.38	0.28
TRAMO 2	9000.*	3468	803.75	1806.85	857.39	19.92	26.65		26.78	0.000404	1.86	2366.54	797.41	0.28
TRAMO 2	8900.*	3468	697.56	1736.11	1034.33	19.85	26.62		26.74	0.000379	1.82	2399.72	791.93	0.27
TRAMO 2	8800	3468	463.64	1797.18	1207.18	19.77	26.58		26.70	0.000347	1.76	2445.08	786.34	0.26
TRAMO 2	8700	3468	425.88	2244.28	797.85	20.00	26.54		26.66	0.000349	1.72	2414.49	784.84	0.26
TRAMO 2	8600	3468	532.30	2082.15	853.56	20.00	26.48		26.62	0.000445	1.97	2241.06	784.27	0.29
TRAMO 2	8498.9	3468	564.83	2023.63	879.54	20.00	26.45		26.57	0.000370	1.76	2436.89	817.62	0.26
TRAMO 2	8399.17*	3468	1556.26	1035.66	876.09	20.00	26.42		26.54	0.000335	1.93	2525.88	813.47	0.26
TRAMO 2	8299.45*	3468	1627.51	983.45	857.04	20.00	26.40		26.50	0.000302	1.89	2616.35	816.31	0.25
TRAMO 2	8199.72*	3468	1679.07	935.98	852.95	20.00	26.38		26.47	0.000268	1.77	2711.62	808.15	0.23
TRAMO 2	8100	3468	1726.11	859.51	882.39	20.00	26.36		26.44	0.000238	1.71	2804.03	800.00	0.22
TRAMO 2	8000	3468	2032.52	990.02	445.47	20.00	26.28		26.41	0.000349	2.04	2386.35	800.00	0.27
TRAMO 2	7900	3468	1905.92	937.72	624.36	20.00	26.25		26.37	0.000346	2.03	2438.17	800.00	0.27
TRAMO 2	7800	3468	1823.66	998.44	645.90	20.00	26.23		26.34	0.000299	1.72	2596.13	800.00	0.24
TRAMO 2	7700	3468	1039.85	1672.15	756.00	20.00	26.21		26.30	0.000281	1.50	2677.09	800.00	0.23
TRAMO 2	7600	3468	1365.88	1284.82	817.30	20.00	26.13		26.26	0.000430	2.01	2336.80	800.00	0.29
TRAMO 2	7500	3468	1528.75	1192.90	746.35	20.00	26.11		26.22	0.000363	1.85	2467.80	800.00	0.26
TRAMO 2	7400	3468	1476.46	954.02	1037.52	20.00	26.09		26.18	0.000285	1.64	2696.40	800.00	0.23
TRAMO 2	7300	3468	1367.90	1165.48	934.62	20.00	26.06		26.15	0.000297	1.65	2653.63	800.00	0.24
TRAMO 2	7200	3468	1487.10	1007.92	972.98	20.00	26.02		26.12	0.000341	1.64	2563.85	800.00	0.25
TRAMO 2	7100	3468	1480.06	1215.44	772.50	20.00	25.99		26.09	0.000302	1.59	2645.82	800.00	0.24
TRAMO 2	7000	3468	1477.30	1286.13	704.57	20.00	25.96		26.06	0.000303	1.59	2640.31	800.00	0.24
TRAMO 2	6900	3468	1496.86	1157.96	813.19	20.00	25.92		26.02	0.000341	1.77	2529.51	800.00	0.26
TRAMO 2	6800.*	3468	1521.69	959.32	986.99	20.00	25.88		25.99	0.000328	1.84	2558.53	800.00	0.25
TRAMO 2	6700	3468	1564.70	890.16	1013.14	20.00	25.85		25.96	0.000316	1.83	2592.25	800.00	0.25
TRAMO 2	6600.*	3468	1402.27	1049.77	1015.96	20.00	25.83		25.92	0.000297	1.67	2653.10	800.00	0.24
TRAMO 2	6500	3468	1302.61	990.72	1174.67	20.00	25.80		25.89	0.000277	1.69	2710.80	800.00	0.23
TRAMO 2	6400	3468	1273.00	1038.34	1156.67	20.00	25.78		25.87	0.000261	1.65	2759.14	800.00	0.23
TRAMO 2	6300	3468	1024.99	1166.93	1276.08	20.00	25.74		25.84	0.000300	1.79	2625.57	800.00	0.24
TRAMO 2	6200	3468	1140.59	1016.50	1310.92	20.00	25.71		25.81	0.000311	1.80	2612.01	800.00	0.25
TRAMO 2	6100	3468	826.15	1551.24	1090.60	20.00	25.66		25.77	0.000316	1.80	2558.01	800.00	0.25
TRAMO 2	6000	3468	1015.73	1150.24	1302.03	20.00	25.62		25.74	0.000391	1.94	2424.91	800.00	0.28
TRAMO 2	5900	3468	1000.91	1283.89	1183.20	20.00	25.60		25.70	0.000317	1.69	2597.16	800.00	0.25
TRAMO 2	5800	3468	723.40	1413.89	1330.71	20.00	25.52		25.66	0.000437	2.00	2320.22	800.00	0.29
TRAMO 2	5700	3468	1095.68	1251.66	1120.67	20.00	25.51		25.61	0.000313	1.65	2614.48	800.00	0.24
TRAMO 2	5600	3468	1061.37	1380.13	1026.50	20.00	25.48		25.58	0.000309	1.70	2604.24	800.00	0.24
TRAMO 2	5500	3468	1146.37	1104.00	1217.63	20.00	25.45		25.55	0.000314	1.72	2610.22	800.00	0.25

Tabla A-1 Resultados de la modelación para el Escenario 1 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 1 (TOPOGRAFÍA 2015)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 2	5400	3468	1138.08	970.71	1359.21	20.00	25.42		25.51	0.000293	1.68	2670.54	800.00	0.24
TRAMO 2	5300	3468	1102.22	892.68	1473.10	20.00	25.39		25.48	0.000280	1.62	2713.56	800.00	0.23
TRAMO 2	5200	3468	976.52	1135.65	1355.83	20.00	25.37		25.45	0.000264	1.53	2759.10	800.00	0.22
TRAMO 2	5100	3468	910.75	1409.20	1148.05	20.00	25.32		25.42	0.000326	1.66	2575.75	800.00	0.25
TRAMO 2	5000	3468	668.61	1488.06	1311.33	20.00	25.31		25.39	0.000227	1.35	2889.15	800.00	0.21
TRAMO 2	4900	3468	662.04	1331.68	1474.28	20.00	25.29		25.37	0.000244	1.38	2827.46	800.00	0.21
TRAMO 2	4800	3468	730.39	1220.58	1517.03	20.00	25.26		25.34	0.000258	1.40	2783.65	800.00	0.22
TRAMO 2	4700.*	3468	746.89	1253.41	1467.70	20.00	25.23		25.31	0.000278	1.44	2721.89	800.00	0.23
TRAMO 2	4600	3468	802.15	1194.41	1471.45	20.00	25.19		25.28	0.000300	1.54	2655.81	800.00	0.24
TRAMO 2	4500	3468	1068.69	1110.57	1288.74	20.00	25.17		25.25	0.000292	1.54	2687.83	800.00	0.23
TRAMO 2	4400	3468	1259.31	1327.01	881.68	20.00	25.12		25.22	0.000339	1.70	2544.78	800.00	0.25
TRAMO 2	4300	3468	1424.35	1113.84	929.81	20.00	25.11		25.19	0.000246	1.45	2829.21	800.00	0.22
TRAMO 2	4200	3468	463.63	2085.49	918.88	20.00	25.08		25.16	0.000241	1.40	2823.96	800.00	0.21
TRAMO 2	4100	3468	540.53	2704.11	223.36	20.00	25.07		25.14	0.000175	1.24	3087.61	800.00	0.18
TRAMO 2	4000	3468	897.19	2476.32	94.49	19.95	25.05		25.12	0.000163	1.22	3162.34	800.00	0.18
TRAMO 2	3900.*	3468	1011.68	2334.20	122.12	19.98	25.04		25.10	0.000157	1.17	3226.37	800.00	0.17
TRAMO 2	3800	3468	1128.12	2239.39	100.50	20.00	25.03		25.09	0.000142	1.13	3330.20	800.00	0.16
TRAMO 2	3700	3468	789.65	2551.82	126.54	20.00	24.99		25.07	0.000188	1.30	3000.43	792.83	0.19
TRAMO 2	3600	3468	766.98	2377.89	323.13	20.00	24.97		25.05	0.000195	1.32	2992.35	800.00	0.19
TRAMO 2	3500	3468	1152.34	1941.20	374.46	19.56	24.97		25.03	0.000150	1.17	3283.84	800.00	0.17
TRAMO 2	3400	3468	1009.70	2005.83	452.47	19.62	24.95		25.01	0.000153	1.18	3260.95	800.00	0.17
TRAMO 2	3300	3468	775.87	2182.57	509.56	19.48	24.93		24.99	0.000174	1.24	3120.26	800.00	0.18
TRAMO 2	3200	3468	798.97	2179.81	489.22	20.00	24.89		24.97	0.000247	1.45	2783.36	800.00	0.22
TRAMO 2	3100	3468	854.65	2086.36	526.99	20.00	24.87		24.95	0.000201	1.34	2971.73	800.00	0.20
TRAMO 2	3000	3468	740.69	2222.58	504.73	17.50	24.85		24.93	0.000194	1.38	2970.08	800.00	0.19
TRAMO 2	2900	3468	915.74	1973.21	579.05	17.50	24.84		24.90	0.000152	1.17	3274.54	800.00	0.17
TRAMO 2	2799.24	3468	1171.91	1882.20	413.89	17.50	24.84		24.89	0.000108	0.99	3884.48	946.64	0.14
TRAMO 2	2699.33	3468	1099.66	1652.36	715.99	17.50	24.83		24.87	0.000117	1.06	3762.51	938.08	0.15
TRAMO 2	2599.60*	3468	1172.00	1598.39	697.61	17.50	24.81		24.86	0.000128	1.12	3637.95	927.66	0.16
TRAMO 2	2499.87*	3468	1182.00	1894.47	391.53	17.50	24.80		24.85	0.000144	1.12	3508.24	917.24	0.16
TRAMO 2	2400.15	3468	1216.67	1854.76	396.57	17.50	24.77		24.83	0.000158	1.21	3370.03	906.82	0.17
TRAMO 2	2300.95	3468	1518.22	1688.58	261.20	17.50	24.77		24.81	0.000126	1.04	3653.94	911.94	0.15
TRAMO 2	2199.6	3468	1229.58	1890.52	347.90	17.50	24.76		24.80	0.000107	0.98	3780.37	879.51	0.14
TRAMO 2	2132.6*	3468	1196.61	1646.18	625.21	17.50	24.75		24.79	0.000089	0.94	4030.72	896.20	0.13
TRAMO 2	2065.6*	3468	1163.74	1438.24	866.02	17.50	24.75		24.79	0.000074	0.94	4272.82	912.89	0.12
TRAMO 2	1998.6	3468	1538.93	1175.38	753.69	17.50	24.75		24.78	0.000062	0.97	4506.50	929.58	0.12
TRAMO 2	1900	3468	1271.78	1148.63	1047.59	17.50	24.73		24.77	0.000084	1.11	3885.94	800.00	0.13
TRAMO 2	1800	3468	1440.95	928.32	1098.73	17.50	24.72		24.77	0.000092	1.14	3791.42	800.00	0.14
TRAMO 2	1700	3468	1805.18	751.79	911.03	17.50	24.71		24.76	0.000085	1.05	3882.51	800.00	0.13
TRAMO 2	1600	3468	1522.42	700.53	1245.05	17.50	24.70		24.75	0.000087	1.06	3875.81	800.00	0.13
TRAMO 2	1500	3468	1762.95	744.39	960.66	17.50	24.69		24.74	0.000111	1.11	3576.25	800.00	0.15
TRAMO 2	1400	3468	1659.71	859.18	949.11	17.50	24.66		24.72	0.000138	1.25	3343.78	800.00	0.17
TRAMO 2	1300	3468	746.35	2023.94	697.71	17.50	24.64		24.71	0.000132	1.31	3294.55	800.00	0.17
TRAMO 2	1200	3468	588.29	1939.66	940.06	17.50	24.63		24.69	0.000134	1.24	3334.65	796.74	0.16
TRAMO 2	1100	3468	1273.32	1097.81	1096.87	17.50	24.63		24.68	0.000113	1.22	3558.15	800.00	0.15
TRAMO 2	1000	3468	1278.20	1151.87	1037.93	17.50	24.62		24.67	0.000109	1.20	3601.97	800.00	0.15
TRAMO 2	900	3468	1296.88	1117.66	1053.46	17.50	24.60		24.66	0.000122	1.25	3479.02	800.00	0.16
TRAMO 2	826.27	3468	962.72	1437.87	1067.41	17.50	24.59		24.65	0.000124	1.33	3411.08	800.00	0.16
TRAMO 2	739.72	3468	526.34	2013.52	928.15	17.50	24.55		24.63	0.000165	1.51	3019.19	800.00	0.19
TRAMO 2	600	3468	322.40	1911.73	1233.87	17.50	24.54		24.60	0.000113	1.23	3434.84	800.00	0.15
TRAMO 2	500.6	3468	559.89	1567.76	1340.35	17.50	24.53		24.59	0.000134	1.22	3402.24	851.57	0.16
TRAMO 2	400	3468	881.94	1272.58	1313.48	17.50	24.52		24.57	0.000118	1.14	3681.88	912.42	0.15
TRAMO 2	301	3468	1197.59	1007.92	1262.49	17.50	24.51		24.56	0.000119	1.21	3705.64	929.57	0.16
TRAMO 2	200	3468	946.77	1258.90	1262.33	17.50	24.50		24.55	0.000122	1.12	3713.69	946.36	0.15
TRAMO 2	100	3468	828.17	1303.48	1336.34	17.50	24.49		24.54	0.000110	1.08	3822.49	949.36	0.15
TRAMO 2	0	3468	931.32	1184.54	1352.14	17.50	24.48	21.28	24.52	0.000113	1.09	3820.64	961.30	0.15

Fuente: Elaboración propia

Apéndice A2. Resultados de la modelación para el Escenario 2

Tabla A-2 Resultados de la modelación para Escenario 2

RESULTADOS DEL ESCENARIO 2 (TOPOGRAFÍA 2015 MODIFICADA)														
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Fr # Chl
TRAMO 1	21484.32	3468	144.32	3319.39	4.29	25.00	33.51		33.71	0.000275	2.05	1766.66	283.17	0.24
TRAMO 1	21450	3468	148.68	3311.54	7.79	25.00	33.50		33.70	0.000271	1.97	1862.61	345.97	0.24
TRAMO 1	21400	3468	214.73	3245.48	7.79	25.00	33.46		33.68	0.000306	2.13	1788.32	384.84	0.25
TRAMO 1	21350	3468	248.06	3203.00	16.94	25.00	33.51		33.64	0.000181	1.61	2358.06	500.27	0.20
TRAMO 1	21300	3468	265.88	3141.00	61.12	25.00	33.50		33.63	0.000215	1.68	2346.96	598.76	0.21
TRAMO 1	21250	3468	86.59	3320.98	60.43	25.00	33.45		33.61	0.000229	1.82	2062.48	460.36	0.22
TRAMO 1	21200	3468		3368.98	99.02	25.00	33.41		33.60	0.000253	1.96	1890.95	390.70	0.23
TRAMO 1	21150	3468		3436.87	31.14	25.00	33.40		33.59	0.000240	1.93	1852.96	350.62	0.23
TRAMO 1	21100	3468		3425.14	42.86	25.00	33.40		33.57	0.000220	1.84	1965.66	382.09	0.22
TRAMO 1	21050	3468		3332.56	135.44	25.00	33.39		33.56	0.000214	1.84	2012.43	366.18	0.22
TRAMO 1	21000	3468		3299.59	168.41	25.00	33.39		33.54	0.000192	1.77	2164.66	494.80	0.20
TRAMO 1	20950	3468		3201.84	266.16	25.00	33.38		33.53	0.000192	1.76	2236.90	499.65	0.20
TRAMO 1	20900	3468	0.11	3136.49	331.40	25.00	33.38		33.52	0.000210	1.76	2252.84	517.43	0.21
TRAMO 1	20850	3468	26.46	3056.13	385.41	25.00	33.37		33.51	0.000203	1.74	2349.34	615.81	0.21
TRAMO 1	20800.*	3468	35.32	3090.89	341.79	25.00	33.35		33.50	0.000207	1.76	2330.37	632.35	0.21
TRAMO 1	20750.*	3468	44.48	3127.33	296.19	25.00	33.34		33.49	0.000210	1.79	2312.55	668.04	0.21
TRAMO 1	20700.*	3468	22.37	3183.04	262.59	25.00	33.33		33.48	0.000229	1.74	2312.46	729.89	0.22
TRAMO 1	20650	3468	114.15	3149.67	204.18	25.00	33.31		33.46	0.000209	1.80	2352.80	769.41	0.21
TRAMO 1	20600	3468	266.54	3005.63	195.83	25.00	33.28		33.45	0.000219	1.97	2299.04	781.27	0.22
TRAMO 1	20550	3468	148.57	3161.76	157.67	25.00	33.27		33.44	0.000241	1.92	2233.21	800.00	0.23
TRAMO 1	20500	3468	127.27	3146.78	193.95	25.00	33.26		33.43	0.000241	1.90	2250.91	800.00	0.23
TRAMO 1	20450	3468	213.67	3038.30	216.03	25.00	33.21		33.41	0.000281	2.09	2149.44	800.00	0.25
TRAMO 1	20400	3468	245.80	2986.42	235.78	25.00	33.20		33.40	0.000281	2.11	2165.60	800.00	0.25
TRAMO 1	20350	3468	237.15	2673.11	557.74	25.00	33.22		33.37	0.000237	1.92	2443.56	800.00	0.23
TRAMO 1	20300	3468	283.47	2416.64	767.89	25.00	33.22		33.35	0.000218	1.85	2584.89	800.00	0.22
TRAMO 1	20250	3468	346.39	2170.79	950.83	25.00	33.21		33.34	0.000232	1.90	2587.27	800.00	0.22
TRAMO 1	20200	3468	401.91	2107.99	958.10	25.00	33.20		33.33	0.000242	1.93	2572.45	800.00	0.23
TRAMO 1	20150	3468	455.52	2065.39	947.09	25.00	33.19		33.31	0.000235	1.85	2633.64	800.00	0.22
TRAMO 1	20100	3468	508.78	2215.77	743.45	25.00	33.16		33.30	0.000265	1.95	2514.03	800.00	0.24
TRAMO 1	20050	3468	389.62	2442.92	635.46	25.00	33.15		33.28	0.000267	1.82	2522.10	800.00	0.23
TRAMO 1	20000	3468	606.40	2463.61	397.99	25.00	33.10		33.26	0.000331	2.05	2303.29	800.00	0.26
TRAMO 1	19950	3468	614.26	2251.05	602.70	25.00	33.10		33.24	0.000300	1.97	2434.20	800.00	0.25
TRAMO 1	19900	3468	625.14	2342.15	500.71	25.00	33.07		33.23	0.000306	2.01	2381.73	800.00	0.25
TRAMO 1	19850	3468	707.58	2312.00	448.43	25.00	33.05		33.21	0.000297	2.05	2378.65	800.00	0.25
TRAMO 1	19800	3468	868.88	2058.86	540.27	22.89	33.04		33.20	0.000251	2.11	2464.10	747.00	0.24
TRAMO 1	19750	3468	900.35	1972.66	595.00	22.50	33.04		33.18	0.000219	2.01	2580.47	730.68	0.22
TRAMO 1	19700	3468	779.00	2389.44	299.55	22.50	33.00		33.17	0.000279	2.10	2287.40	703.90	0.25
TRAMO 1	19650	3468	748.01	2341.82	378.16	22.50	32.99		33.15	0.000257	2.01	2451.18	800.00	0.24
TRAMO 1	19600	3468	725.25	2297.44	445.31	22.50	32.99		33.13	0.000243	1.98	2511.67	800.00	0.23
TRAMO 1	19550	3468	579.55	2051.62	836.83	22.50	33.00		33.11	0.000189	1.77	2814.42	800.00	0.20
TRAMO 1	19500	3468	485.51	2015.22	967.28	22.50	32.97		33.10	0.000219	1.91	2657.70	800.00	0.22
TRAMO 1	19450	3468	527.63	2071.94	868.44	22.50	32.96		33.09	0.000208	1.89	2673.64	772.91	0.21
TRAMO 1	19400	3468	47.37	2836.56	584.07	22.50	32.97		33.07	0.000170	1.53	2761.27	779.84	0.19
TRAMO 1	19350	3468	56.75	2721.91	689.34	22.50	32.96		33.06	0.000192	1.56	2712.51	800.00	0.20
TRAMO 1	19300	3468	54.54	2733.14	680.32	22.50	32.94		33.05	0.000230	1.62	2583.36	800.00	0.22
TRAMO 1	19250	3468	129.71	2647.67	690.62	22.50	32.93		33.04	0.000258	1.63	2583.89	800.00	0.22
TRAMO 1	19200	3468	389.85	2554.54	523.62	22.50	32.92		33.03	0.000233	1.64	2661.13	800.00	0.22
TRAMO 1	19150	3468	545.54	2519.28	403.18	22.50	32.90		33.01	0.000243	1.65	2616.08	800.00	0.22
TRAMO 1	19100	3468	1542.66	1706.06	219.28	22.50	32.83		33.00	0.000296	2.24	2335.75	800.00	0.26
TRAMO 1	19050	3468	775.66	2556.57	135.77	22.50	32.82		32.98	0.000315	1.92	2262.16	800.00	0.25
TRAMO 1	19000	3468	902.36	2429.40	136.24	22.50	32.80		32.96	0.000333	1.99	2231.59	800.00	0.26
TRAMO 1	18950	3468	842.27	2462.33	163.41	22.50	32.79		32.94	0.000264	1.93	2375.51	800.00	0.24
TRAMO 1	18900	3468	801.03	2438.05	228.92	22.50	32.79		32.92	0.000239	1.85	2445.08	700.87	0.23
TRAMO 1	18850.*	3468	821.02	2384.28	262.71	22.57	32.74		32.91	0.000279	2.05	2177.16	550.37	0.25
TRAMO 1	18800.*	3468	781.30	2447.17	239.53	22.63	32.73		32.89	0.000271	2.00	2156.92	517.50	0.24
TRAMO 1	18750	3468	820.25	2632.11	15.64	22.70	32.72		32.88	0.000248	1.96	2178.90	524.88	0.23
TRAMO 1	18700	3468	838.96	2578.41	50.63	22.50	32.69		32.87	0.000252	2.10	2136.27	667.68	0.24
TRAMO 1	18650	3468	818.15	2619.19	30.66	22.50	32.66		32.85	0.000257	2.16	2109.36	742.97	0.24
TRAMO 1	18603.14	3468	850.88	2443.15	173.97	22.50	32.66		32.84	0.000258	2.13	2312.82	800.00	0.24
TRAMO 1	18550	3468	850.88	1993.62	623.50	22.50	32.67		32.80	0.000214	2.04	2645.52	800.00	0.22
TRAMO 1	18500	3468	797.38	1837.14	833.49	22.50	32.68		32.79	0.000184	1.85	2850.10	800.00	0.20
TRAMO 1	18450	3468	888.28	1788.11	791.61	22.50	32.65		32.77	0.000222	2.01	2686.83	800.00	0.22
TRAMO 1	18400	3468	939.33	2128.96	399.71	22.50	32.56		32.76	0.000297	2.35	2308.01	800.00	0.26
TRAMO 1	18350	3468	927.54	2305.17	235.29	22.50	32.49		32.73	0.000351	2.57	1968.22	590.86	0.28
TRAMO 1	18300	3468	798.75	2547.90	121.35	22.50	32.41		32.71	0.000458	2.74	1764.29	571.33	0.32
TRAMO 1	18250	3468	737.76	2597.93	132.32	22.50	32.29		32.67	0.000555	3.12	1614.61	576.47	0.35
TRAMO 1	18200	3468	695.30	2655.48	117.22	22.50	32.22		32.64	0.000605	3.22	1556.74	578.91	0.36
TRAMO 1	18150	3468	363.27	3064.90	39.83	22.50	31.92		32.58	0.000915	3.80	1194.02	484.22	0.44
TRAMO 1	18100	3468	208.76	3256.40	2.85	22.50	31.70		32.51	0.001163	4.11	991.46	331.71	0.50

Tabla A-2 Resultados de la modelación para el Escenario 2 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 2 (TOPOGRAFÍA 2015 MODIFICADA)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 1	18050	3468	71.90	3394.71	1.40	22.50	31.33		32.41	0.001641	4.65	802.50	226.21	0.58
TRAMO 1	18000	3468	47.64	3419.18	1.18	22.50	31.33		32.31	0.001404	4.42	825.85	195.47	0.54
TRAMO 1	17950	3468	45.68	3419.55	2.77	22.50	31.36		32.21	0.001173	4.11	886.53	200.27	0.50
TRAMO 1	17900	3468	42.76	3418.77	6.46	22.50	31.31		32.14	0.001161	4.07	896.86	210.52	0.49
TRAMO 1	17850	3468	38.99	3415.06	13.96	22.50	31.30		32.07	0.001032	3.92	937.27	224.48	0.47
TRAMO 1	17800	3468	33.94	3417.38	16.68	22.50	31.24		32.02	0.001043	3.93	935.93	230.67	0.47
TRAMO 1	17750	3468	89.17	3347.47	31.36	22.50	31.15		31.96	0.001169	4.05	954.78	292.20	0.49
TRAMO 1	17700	3468	138.06	3273.13	56.81	22.50	31.20		31.86	0.000888	3.70	1087.91	336.97	0.44
TRAMO 1	17650	3468	140.29	3244.99	82.73	22.50	31.16		31.81	0.000877	3.70	1129.13	415.16	0.43
TRAMO 1	17600	3468	176.03	3182.46	109.52	22.50	31.11		31.77	0.000924	3.74	1165.52	486.09	0.44
TRAMO 1	17550	3468	213.37	3108.25	146.37	22.50	31.22		31.66	0.000786	3.11	1393.90	571.84	0.40
TRAMO 1	17500	3468	166.64	3110.43	190.93	22.50	31.05		31.61	0.000815	3.49	1308.25	612.42	0.42
TRAMO 1	17450	3468	193.16	3017.27	257.57	22.50	31.01		31.57	0.000868	3.53	1372.41	742.74	0.43
TRAMO 1	17400	3468	252.28	2958.16	257.57	22.50	30.95		31.53	0.000946	3.63	1378.84	800.00	0.44
TRAMO 1	17370.74	3468	267.10	2962.65	238.25	22.50	30.86	28.41	31.49	0.000962	3.78	1345.06	800.00	0.45
TRAMO 1	17350	3468	258.96	2965.24	243.80	22.50	30.90		31.42	0.000767	3.44	1458.61	800.00	0.41
TRAMO 1	17300	3468	251.39	2981.17	235.44	22.50	30.86		31.38	0.000756	3.42	1458.06	800.00	0.40
TRAMO 1	17250	3468	335.43	2904.01	228.56	22.50	30.85		31.33	0.000725	3.35	1513.85	800.00	0.40
TRAMO 1	17200.*	3468	674.07	2549.06	244.87	22.50	30.86		31.28	0.000607	3.26	1686.75	800.00	0.37
TRAMO 1	17150	3468	944.34	2281.21	242.45	22.50	30.90		31.22	0.000487	2.97	1879.05	800.00	0.33
TRAMO 1	17100	3468	1045.70	2195.71	226.59	22.50	30.90		31.19	0.000450	2.83	1949.49	800.00	0.32
TRAMO 1	17050	3468	676.64	2598.04	193.32	22.50	30.82		31.16	0.000520	2.89	1792.95	800.00	0.34
TRAMO 1	17000	3468	278.78	3082.92	106.30	22.50	30.48	27.69	31.10	0.000874	3.67	1318.74	800.00	0.43
TRAMO 1	16950	3468	22.63	3300.06	145.32	22.50	30.17	27.77	31.02	0.001217	4.18	1036.73	800.00	0.51
TRAMO 1	16900	3468	43.95	3087.08	336.97	22.50	30.24	27.75	30.91	0.000992	3.82	1232.81	800.00	0.46
TRAMO 1	16850	3468	45.11	2923.11	499.78	22.50	30.26		30.83	0.000875	3.60	1345.87	800.00	0.43
TRAMO 1	16800	3468	440.89	2458.30	568.81	22.50	30.38		30.73	0.000634	3.00	1777.94	800.00	0.37
TRAMO 1	16750	3468	672.44	2735.27	60.29	22.50	30.23		30.68	0.000792	3.29	1482.48	800.00	0.41
TRAMO 1	16700	3468	676.07	2768.45	23.48	22.50	30.19		30.63	0.000773	3.24	1456.56	800.00	0.40
TRAMO 1	16650	3468	279.55	3180.97	7.47	22.50	29.90		30.57	0.001093	3.76	1126.88	443.63	0.47
TRAMO 1	16600	3468	115.85	3350.69	1.46	22.50	29.74		30.50	0.001191	3.92	1009.32	425.69	0.50
TRAMO 2	16550	3468	28.41	3311.88	127.72	22.50	29.50		30.44	0.001389	4.38	821.29	142.03	0.54
TRAMO 2	16500	3468	139.24	3244.30	84.46	22.50	29.38		30.36	0.001572	4.50	812.42	149.04	0.57
TRAMO 2	16400	3468	62.77	3234.15	171.08	22.50	29.61		30.10	0.000794	3.20	1233.06	353.17	0.41
TRAMO 2	16300	3468	72.46	3146.23	249.30	22.50	29.64		29.99	0.000646	2.72	1491.41	499.15	0.36
TRAMO 2	16200	3468	37.50	2828.75	601.76	22.50	29.64		29.90	0.000602	2.43	1721.33	564.62	0.34
TRAMO 2	16100	3468	152.40	2773.89	541.71	22.50	29.59		29.84	0.000573	2.43	1751.77	575.85	0.34
TRAMO 2	16000	3468	135.26	2858.92	473.82	22.50	29.55		29.77	0.000532	2.25	1821.68	571.41	0.32
TRAMO 2	15900	3468	162.28	2728.66	577.06	22.50	29.51		29.72	0.000519	2.17	1911.91	639.78	0.31
TRAMO 2	15800	3468	355.72	2474.36	637.92	22.50	29.48		29.66	0.000447	2.11	2048.16	695.60	0.30
TRAMO 2	15700	3468	540.78	2194.34	732.88	22.50	29.46		29.61	0.000376	1.94	2200.48	682.58	0.27
TRAMO 2	15600	3468	238.32	2436.50	793.18	22.50	29.41		29.57	0.000383	1.97	2194.01	704.82	0.27
TRAMO 2	15500	3468	246.54	2774.66	446.80	22.50	29.32		29.52	0.000521	2.16	1940.27	695.14	0.31
TRAMO 2	15400	3468	261.68	2768.19	438.12	22.50	29.31		29.46	0.000405	1.85	2219.35	745.62	0.28
TRAMO 2	15300	3468	288.81	2262.39	916.80	22.50	29.29		29.41	0.000359	1.72	2387.20	758.32	0.26
TRAMO 2	15200	3468	317.85	2034.21	1115.94	22.50	29.27		29.37	0.000318	1.61	2522.94	785.60	0.24
TRAMO 2	15100	3468	336.96	1963.12	1167.92	22.50	29.23		29.34	0.000339	1.66	2463.51	779.45	0.25
TRAMO 2	15000	3468	623.76	1979.20	865.04	22.50	29.21		29.31	0.000264	1.50	2689.28	767.60	0.22
TRAMO 2	14900	3468	302.35	2088.40	1077.25	22.50	29.16		29.28	0.000303	1.66	2466.60	740.81	0.24
TRAMO 2	14800	3468	405.87	1651.50	1410.63	22.50	29.14		29.24	0.000284	1.73	2552.15	760.16	0.24
TRAMO 2	14700	3468	751.52	1206.39	1510.09	22.50	29.13		29.21	0.000201	1.55	2923.52	789.13	0.20
TRAMO 2	14600	3468	343.59	2918.32	206.09	22.50	29.10		29.19	0.000244	1.42	2714.76	786.16	0.21
TRAMO 2	14500	3468	334.99	1651.17	1481.84	22.50	29.07		29.16	0.000252	1.49	2731.35	787.84	0.22
TRAMO 2	14400	3468	162.49	3241.30	64.21	22.50	29.05		29.14	0.000266	1.37	2677.54	790.63	0.22
TRAMO 2	14300	3468	998.61	1183.47	1285.93	22.50	29.00		29.11	0.000357	1.78	2450.26	770.81	0.26
TRAMO 2	14200	3468	450.98	2668.17	348.86	22.50	28.99		29.07	0.000222	1.33	2845.94	777.12	0.20
TRAMO 2	14100	3468	965.85	2216.86	285.29	22.50	28.95		29.04	0.000251	1.43	2720.76	787.83	0.22
TRAMO 2	14000	3468	1663.21	1340.93	463.86	22.50	28.91		29.02	0.000290	1.68	2581.92	788.78	0.24
TRAMO 2	13900	3468	1748.11	1191.93	527.96	22.50	28.87		28.99	0.000325	1.85	2471.73	791.97	0.25
TRAMO 2	13800	3468	957.35	1690.44	820.21	21.75	28.88		28.95	0.000177	1.42	3035.64	789.30	0.19
TRAMO 2	13700	3468	927.55	1907.10	633.36	21.46	28.84		28.93	0.000198	1.52	2886.53	787.42	0.20
TRAMO 2	13600	3468	924.13	2165.75	378.12	20.04	28.82		28.91	0.000208	1.47	2823.94	788.58	0.20
TRAMO 2	13500.*	3468	852.21	1895.50	720.29	20.02	28.77		28.88	0.000253	1.80	2651.74	800.00	0.23
TRAMO 2	13400	3468	552.74	1989.67	925.60	20.00	28.73		28.86	0.000272	1.92	2502.27	774.09	0.24
TRAMO 2	13300	3468	1055.57	1437.59	974.85	20.00	28.73		28.82	0.000211	1.73	2822.04	791.04	0.21
TRAMO 2	13200	3468	878.21	1463.09	1126.70	20.00	28.70		28.80	0.000217	1.74	2799.53	792.03	0.21
TRAMO 2	13100	3468	794.74	1583.67	1089.59	20.00	28.68		28.78	0.000237	1.73	2678.41	742.52	0.22
TRAMO 2	13000.*	3468	887.07	1477.96	1102.97	20.00	28.65		28.75	0.000263	1.77	2618.63	763.61	0.23
TRAMO 2	12900.*	3468	999.77	1375.65	1092.58	20.00	28.62		28.72	0.000294	1.81	2614.69	800.00	0.24
TRAMO 2	12800	3468	1241.49	1057.53	1168.99	20.00	28.59		28.69	0.000290	1.88	2626.11	797.53	0.24
TRAMO 2	12700.*	3468	876.32	2289.77	301.91	20.00	28.55		28.66	0.000305	1.64	2555.42	800.00	0.24
TRAMO 2	12600	3468	662.89	2029.40	775.71	20.00	28.51		28.63	0.000286	1.87	2507.25	773.06	0.24

Tabla A-2 Resultados de la modelación para el Escenario 2 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 2 (TOPOGRAFÍA 2015 MODIFICADA)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 2	12500	3468	288.08	2570.31	609.61	20.00	28.18		28.56	0.000785	3.05	1532.10	649.81	0.40
TRAMO 2	12400	3468	1216.06	2034.22	217.72	20.00	28.25		28.45	0.000465	2.31	2006.83	635.11	0.31
TRAMO 2	12300	3468	1033.64	2336.55	97.80	20.00	28.21		28.39	0.000466	2.11	2007.54	621.54	0.30
TRAMO 2	12200	3468	766.67	2577.96	123.37	20.00	28.19		28.35	0.000339	1.95	2166.45	703.29	0.26
TRAMO 2	12100	3468	813.56	2029.83	624.61	20.00	28.19		28.30	0.000312	1.72	2494.70	755.59	0.25
TRAMO 2	11996.76	3468	91.55	3342.39	34.06	20.00	27.81		28.22	0.001098	2.89	1347.69	705.03	0.45
TRAMO 2	11900	3468	1088.86	2179.84	199.30	20.00	27.83		28.05	0.000571	2.42	1939.57	800.00	0.33
TRAMO 2	11800	3468	1073.09	1931.42	463.49	20.00	27.83		27.98	0.000438	2.06	2249.26	800.00	0.29
TRAMO 2	11700	3468	868.31	2041.29	558.40	20.00	27.84		27.93	0.000221	1.60	2799.43	800.00	0.21
TRAMO 2	11600	3468	1227.24	1818.91	421.85	20.00	27.82		27.91	0.000225	1.59	2796.10	800.00	0.21
TRAMO 2	11500	3468	1025.38	1672.73	769.89	20.00	27.77		27.88	0.000334	1.69	2541.09	800.00	0.25
TRAMO 2	11400	3468	965.72	1329.71	1172.57	20.00	27.73		27.84	0.000407	1.83	2405.89	800.00	0.27
TRAMO 2	11300	3468	749.23	1906.63	812.13	20.00	27.69		27.80	0.000348	1.78	2471.45	800.00	0.26
TRAMO 2	11200	3468	1021.46	1853.24	593.30	20.00	27.63		27.77	0.000370	2.03	2366.92	800.00	0.27
TRAMO 2	11100	3468	1108.44	1645.58	713.99	20.00	27.60		27.73	0.000314	1.93	2516.38	800.00	0.25
TRAMO 2	11000	3468	981.60	1807.50	678.90	20.00	27.58		27.69	0.000266	1.77	2646.34	800.00	0.23
TRAMO 2	10900	3468	1000.64	1818.31	649.05	20.00	27.55		27.67	0.000303	1.85	2535.83	793.27	0.25
TRAMO 2	10800	3468	565.50	2242.48	660.02	20.00	27.52		27.63	0.000269	1.68	2622.16	800.00	0.23
TRAMO 2	10700	3468	930.16	1812.63	725.21	20.00	27.50		27.61	0.000294	1.73	2572.28	782.99	0.24
TRAMO 2	10600	3468	1214.66	1645.08	608.26	20.00	27.48		27.57	0.000238	1.59	2765.13	789.01	0.22
TRAMO 2	10500	3468	916.55	1955.80	595.65	20.00	27.44		27.55	0.000284	1.65	2622.19	792.52	0.23
TRAMO 2	10400	3468	770.70	1989.47	707.83	20.00	27.39		27.51	0.000409	1.77	2371.34	792.09	0.27
TRAMO 2	10300	3468	793.64	2056.05	618.31	20.00	27.37		27.47	0.000285	1.59	2635.95	790.03	0.23
TRAMO 2	10200	3468	894.30	1859.38	714.33	20.00	27.30		27.43	0.000403	1.90	2350.30	792.02	0.28
TRAMO 2	10100	3468	755.80	1640.22	1071.98	20.00	27.27		27.39	0.000337	1.91	2464.01	791.32	0.26
TRAMO 2	10035	3468	816.60	1792.75	858.65	20.00	27.20		27.36	0.000437	2.21	2231.52	783.13	0.30
TRAMO 2	9967.5*	3468	924.57	1610.29	933.14	20.00	27.15		27.33	0.000553	2.37	2113.94	797.61	0.33
TRAMO 2	9900	3468	1082.49	1332.12	1053.39	20.00	27.08		27.29	0.000680	2.71	1983.90	790.87	0.37
TRAMO 2	9800	3468	1123.29	1150.73	1193.98	20.00	27.06		27.21	0.000506	2.26	2215.25	788.78	0.31
TRAMO 2	9700	3468	1388.71	1286.64	792.65	20.00	27.06		27.16	0.000287	1.62	2653.15	789.55	0.23
TRAMO 2	9600	3468	1032.15	1436.90	998.95	20.00	26.93		27.11	0.000581	2.38	2097.84	789.95	0.33
TRAMO 2	9500	3468	773.11	1818.54	876.36	20.00	26.72		27.02	0.000873	3.08	1765.44	793.25	0.42
TRAMO 2	9400	3468	625.01	1992.97	850.02	20.00	26.70		26.92	0.000664	2.51	1947.14	792.96	0.36
TRAMO 2	9300	3468	850.18	1962.25	655.58	20.00	26.68		26.85	0.000464	2.18	2196.11	800.00	0.30
TRAMO 2	9200	3468	1101.43	1687.23	679.34	20.00	26.65		26.80	0.000435	2.09	2270.01	800.00	0.29
TRAMO 2	9100	3468	1128.29	1774.51	565.21	20.00	26.61		26.76	0.000422	2.04	2278.50	794.11	0.29
TRAMO 2	9000.*	3468	796.96	1828.67	842.36	19.92	26.58		26.71	0.000436	1.91	2307.39	797.00	0.29
TRAMO 2	8900.*	3468	687.91	1756.84	1023.25	19.85	26.54		26.67	0.000410	1.88	2338.64	791.16	0.28
TRAMO 2	8800	3468	451.66	1817.58	1198.75	19.77	26.50		26.63	0.000376	1.81	2382.23	785.81	0.27
TRAMO 2	8700	3468	413.23	2266.91	787.86	20.00	26.46		26.59	0.000378	1.77	2349.10	784.09	0.27
TRAMO 2	8600	3468	519.74	2114.33	833.93	20.00	26.38		26.54	0.000490	2.04	2169.02	783.69	0.30
TRAMO 2	8498.9	3468	551.97	2051.93	864.10	20.00	26.36		26.49	0.000408	1.83	2359.69	816.77	0.28
TRAMO 2	8399.17*	3468	1550.94	1056.49	860.57	20.00	26.33		26.45	0.000369	2.00	2446.45	812.31	0.27
TRAMO 2	8299.45*	3468	1626.34	1004.32	837.34	20.00	26.30		26.41	0.000333	1.96	2534.10	816.31	0.26
TRAMO 2	8199.72*	3468	1680.23	954.12	833.65	20.00	26.27		26.37	0.000295	1.83	2628.41	808.15	0.24
TRAMO 2	8100	3468	1729.09	875.70	863.21	20.00	26.25		26.34	0.000261	1.77	2719.97	800.00	0.23
TRAMO 2	8000	3468	2041.20	1013.43	413.37	20.00	26.16		26.31	0.000390	2.13	2294.83	800.00	0.28
TRAMO 2	7900	3468	1913.31	961.78	592.91	20.00	26.13		26.27	0.000390	2.12	2343.44	800.00	0.28
TRAMO 2	7800	3468	1830.48	1017.67	619.85	20.00	26.11		26.22	0.000336	1.80	2499.76	800.00	0.25
TRAMO 2	7700	3468	1042.37	1692.77	732.85	20.00	26.09		26.19	0.000316	1.57	2578.43	800.00	0.24
TRAMO 2	7600	3468	1354.58	1321.37	792.05	20.00	26.00		26.14	0.000498	2.13	2227.95	800.00	0.31
TRAMO 2	7500	3468	1525.41	1223.16	719.44	20.00	25.97		26.09	0.000420	1.95	2355.29	800.00	0.28
TRAMO 2	7400	3468	1471.75	975.16	1021.09	20.00	25.95		26.05	0.000327	1.73	2581.93	800.00	0.25
TRAMO 2	7300	3468	1360.86	1191.22	915.92	20.00	25.91		26.01	0.000344	1.74	2534.71	800.00	0.26
TRAMO 2	7200	3468	1483.57	1028.80	955.63	20.00	25.87		25.98	0.000400	1.73	2439.90	800.00	0.27
TRAMO 2	7100	3468	1474.35	1240.41	753.24	20.00	25.83		25.94	0.000355	1.68	2517.60	800.00	0.26
TRAMO 2	7000	3468	1470.39	1313.19	684.42	20.00	25.80		25.90	0.000358	1.68	2507.33	800.00	0.26
TRAMO 2	6900	3468	1491.98	1192.44	783.58	20.00	25.74		25.86	0.000408	1.89	2388.87	800.00	0.28
TRAMO 2	6800.*	3468	1518.34	993.54	956.11	20.00	25.70		25.82	0.000396	1.97	2412.24	800.00	0.28
TRAMO 2	6700	3468	1563.01	923.23	981.76	20.00	25.66		25.78	0.000382	1.96	2440.68	800.00	0.27
TRAMO 2	6600.*	3468	1396.15	1082.20	989.65	20.00	25.63		25.74	0.000361	1.79	2497.01	800.00	0.26
TRAMO 2	6500	3468	1290.88	1025.32	1151.81	20.00	25.60		25.70	0.000337	1.82	2549.82	800.00	0.26
TRAMO 2	6400	3468	1259.78	1073.89	1134.33	20.00	25.57		25.67	0.000318	1.77	2593.64	800.00	0.25
TRAMO 2	6300	3468	995.76	1215.17	1257.07	20.00	25.52		25.64	0.000373	1.94	2451.38	800.00	0.27
TRAMO 2	6200	3468	1114.11	1061.09	1292.80	20.00	25.48		25.60	0.000390	1.96	2431.49	800.00	0.27
TRAMO 2	6100	3468	792.52	1619.10	1056.38	20.00	25.43		25.56	0.000402	1.96	2367.65	800.00	0.28
TRAMO 2	6000	3468	980.48	1211.57	1275.95	20.00	25.37		25.51	0.000515	2.15	2222.27	800.00	0.31
TRAMO 2	5900	3468	979.40	1337.38	1151.22	20.00	25.34		25.46	0.000415	1.86	2388.93	800.00	0.28
TRAMO 2	5800	3468	668.60	1501.86	1297.54	20.00	25.23		25.40	0.000606	2.25	2087.57	800.00	0.34
TRAMO 2	5700	3468	1078.28	1307.67	1082.06	20.00	25.22		25.34	0.000424	1.84	2378.62	800.00	0.28
TRAMO 2	5600	3468	1032.97	1451.91	983.12	20.00	25.17		25.29	0.000424	1.91	2356.92	800.00	0.28
TRAMO 2	5500	3468	1117.26	1166.52	1184.23	20.00	25.13		25.25	0.000437	1.94	2353.26	800.00	0.29

Tabla A-2 Resultados de la modelación para el Escenario 2 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 2 (TOPOGRAFÍA 2015 MODIFICADA)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
TRAMO 2	5400	3468	1102.37	1026.43	1339.20	20.00	25.09		25.20	0.000411	1.90	2404.63	800.00	0.28
TRAMO 2	5300	3468	1061.99	941.34	1464.67	20.00	25.05		25.16	0.000395	1.83	2438.86	800.00	0.27
TRAMO 2	5200	3468	934.62	1189.53	1343.84	20.00	25.02		25.12	0.000375	1.73	2475.51	800.00	0.26
TRAMO 2	5100	3468	868.14	1478.03	1121.83	20.00	24.95		25.08	0.000477	1.90	2275.84	787.71	0.30
TRAMO 2	5000	3468	629.57	1507.41	1331.02	20.00	24.93		25.03	0.000313	1.50	2586.68	781.96	0.24
TRAMO 2	4900	3468	620.98	1331.97	1515.05	20.00	24.90		25.00	0.000334	1.52	2518.54	768.33	0.24
TRAMO 2	4800	3468	674.76	1231.76	1561.49	20.00	24.86		24.96	0.000367	1.56	2463.56	783.49	0.25
TRAMO 2	4700.*	3468	690.58	1299.95	1477.47	20.00	24.81		24.92	0.000426	1.66	2386.25	800.00	0.27
TRAMO 2	4600	3468	736.96	1222.90	1508.14	20.00	24.76		24.88	0.000448	1.75	2309.60	783.15	0.28
TRAMO 2	4500	3468	1007.78	1138.76	1321.46	20.00	24.71		24.83	0.000439	1.75	2330.71	782.25	0.28
TRAMO 2	4400	3468	1235.42	1405.38	827.20	20.00	24.64		24.78	0.000550	2.01	2164.71	780.78	0.32
TRAMO 2	4300	3468	1452.88	1139.32	875.80	20.00	24.62		24.72	0.000373	1.66	2442.09	782.77	0.26
TRAMO 2	4200	3468	430.71	2156.44	880.85	20.00	24.57		24.69	0.000385	1.64	2424.63	783.85	0.26
TRAMO 2	4100	3468	502.04	2762.16	203.80	20.00	24.56		24.65	0.000267	1.42	2685.68	779.39	0.22
TRAMO 2	4000	3468	638.61	2536.19	93.20	19.95	24.53		24.62	0.000250	1.40	2754.09	780.44	0.21
TRAMO 2	3900.*	3468	965.47	2398.23	104.30	19.98	24.51		24.59	0.000247	1.36	2803.53	797.07	0.21
TRAMO 2	3800	3468	1088.02	2289.33	90.66	20.00	24.49		24.57	0.000221	1.30	2904.10	793.11	0.20
TRAMO 2	3700	3468	702.39	2659.42	106.19	20.00	24.44		24.54	0.000309	1.53	2559.78	788.03	0.24
TRAMO 2	3600	3468	664.85	2494.19	308.96	20.00	24.40		24.51	0.000328	1.57	2534.62	800.00	0.24
TRAMO 2	3500	3468	1102.71	2012.84	352.45	19.56	24.39		24.47	0.000246	1.38	2822.55	800.00	0.21
TRAMO 2	3400	3468	955.33	2082.81	429.86	19.62	24.36		24.45	0.000254	1.40	2790.79	800.00	0.22
TRAMO 2	3300	3468	693.50	2277.59	496.91	19.48	24.32		24.42	0.000299	1.48	2636.47	800.00	0.23
TRAMO 2	3200	3468	710.89	2338.09	419.02	20.00	24.24		24.38	0.000468	1.81	2268.95	800.00	0.29
TRAMO 2	3100	3468	800.86	2219.39	447.76	20.00	24.22		24.33	0.000372	1.65	2447.01	800.00	0.26
TRAMO 2	3000	3468	655.13	2395.35	417.53	17.50	24.17		24.29	0.000361	1.72	2427.71	800.00	0.26
TRAMO 2	2900	3468	851.29	2055.35	561.36	17.50	24.16		24.25	0.000275	1.42	2729.77	800.00	0.22
TRAMO 2	2799.24	3468	1101.74	1965.15	401.11	17.50	24.16		24.22	0.000196	1.20	3235.00	946.64	0.19
TRAMO 2	2699.33	3468	1019.55	1754.85	693.60	17.50	24.13		24.20	0.000218	1.30	3106.92	938.08	0.20
TRAMO 2	2599.60*	3468	1083.50	1717.01	667.49	17.50	24.10		24.17	0.000245	1.39	2976.05	927.66	0.21
TRAMO 2	2499.87*	3468	1092.37	2011.55	364.08	17.50	24.07		24.15	0.000285	1.40	2839.00	917.24	0.23
TRAMO 2	2400.15	3468	1105.68	2012.44	349.88	17.50	24.02		24.12	0.000325	1.55	2687.37	906.82	0.24
TRAMO 2	2300.95	3468	1455.33	1771.44	241.24	17.50	24.01		24.08	0.000252	1.31	2961.05	911.94	0.21
TRAMO 2	2199.6	3468	1206.93	1953.94	307.14	17.50	23.99		24.05	0.000204	1.21	3104.50	879.51	0.19
TRAMO 2	2132.6*	3468	1168.49	1713.38	586.14	17.50	23.98		24.04	0.000165	1.15	3339.15	896.20	0.18
TRAMO 2	2065.6*	3468	1128.71	1526.69	812.60	17.50	23.98		24.03	0.000133	1.14	3565.59	912.89	0.16
TRAMO 2	1998.6	3468	1489.06	1283.65	695.29	17.50	23.97		24.02	0.000109	1.19	3783.72	929.58	0.15
TRAMO 2	1900	3468	1248.53	1247.97	971.50	17.50	23.94		24.01	0.000149	1.36	3255.38	800.00	0.18
TRAMO 2	1800	3468	1435.21	1012.07	1020.72	17.50	23.92		23.99	0.000167	1.41	3154.27	800.00	0.18
TRAMO 2	1700	3468	1848.28	801.47	818.25	17.50	23.91		23.97	0.000152	1.28	3241.03	800.00	0.17
TRAMO 2	1600	3468	1536.10	750.70	1181.20	17.50	23.90		23.96	0.000159	1.30	3228.71	800.00	0.18
TRAMO 2	1500	3468	1841.39	794.20	832.41	17.50	23.86		23.94	0.000212	1.39	2915.09	800.00	0.20
TRAMO 2	1400	3468	1706.83	944.53	816.65	17.50	23.82		23.91	0.000284	1.61	2665.36	800.00	0.23
TRAMO 2	1300	3468	687.28	2255.30	525.43	17.50	23.77		23.88	0.000267	1.70	2595.49	800.00	0.23
TRAMO 2	1200	3468	528.25	2128.26	811.49	17.50	23.75		23.85	0.000281	1.61	2631.33	794.08	0.23
TRAMO 2	1100	3468	1237.02	1224.73	1006.25	17.50	23.74		23.82	0.000231	1.58	2845.00	800.00	0.21
TRAMO 2	1000	3468	1240.60	1281.58	945.83	17.50	23.71		23.80	0.000223	1.55	2879.97	800.00	0.21
TRAMO 2	900	3468	1249.32	1254.82	963.87	17.50	23.68		23.77	0.000262	1.64	2742.75	800.00	0.23
TRAMO 2	826.27	3468	829.61	1624.59	1013.80	17.50	23.65		23.75	0.000260	1.75	2660.33	799.58	0.23
TRAMO 2	739.72	3468	157.57	2759.20	551.24	17.50	23.64		23.73	0.000165	1.39	2967.87	800.00	0.18
TRAMO 2	600	3468	182.09	2114.45	1171.47	17.50	23.59		23.70	0.000234	1.59	2677.52	800.00	0.22
TRAMO 2	500.6	3468	377.53	1743.96	1346.51	17.50	23.56		23.67	0.000311	1.64	2579.21	851.57	0.24
TRAMO 2	400	3468	712.64	1430.33	1325.04	17.50	23.55		23.63	0.000283	1.55	2789.09	912.42	0.23
TRAMO 2	301	3468	1028.31	1179.82	1259.88	17.50	23.51		23.61	0.000296	1.69	2777.28	929.57	0.24
TRAMO 2	200	3468	776.31	1424.86	1266.84	17.50	23.48		23.57	0.000315	1.57	2751.04	946.36	0.24
TRAMO 2	100	3468	658.58	1465.12	1344.30	17.50	23.46		23.54	0.000282	1.50	2841.42	949.36	0.23
TRAMO 2	0	3468	754.07	1342.43	1371.50	17.50	23.43	21.28	23.51	0.000300	1.53	2808.52	961.30	0.24

Fuente: Elaboración propia

Apéndice A3. Resultados de la modelación para el Escenario 3

Tabla A-3 Resultados de la modelación para Escenario 3

RESULTADOS DEL ESCENARIO 3 (TOPOGRAFÍA 2017)														
Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Q Left (m ³ /s)	Q Channel (m ³ /s)	Q Right (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Fr # Chl
TRAMO 1	20537.44	3468	150.68	3306.87	10.45	23.97	36.42		36.56	0.000149	1.66	2205.85	334.84	0.18
TRAMO 1	20500	3468	36.21	3367.09	64.71	26.00	36.42		36.55	0.000144	1.59	2286.97	364.81	0.18
TRAMO 1	20450	3468	24.34	3283.60	160.06	23.09	36.45		36.53	0.000077	1.29	2865.59	408.80	0.14
TRAMO 1	20400	3468	141.62	3271.67	54.71	25.77	36.42		36.52	0.000117	1.47	2569.35	442.50	0.16
TRAMO 1	20350	3468	162.82	3166.06	139.12	24.32	36.43		36.51	0.000077	1.33	2886.77	423.17	0.14
TRAMO 1	20300	3468	184.81	3110.60	172.58	23.27	36.43		36.50	0.000068	1.29	3009.49	419.32	0.13
TRAMO 1	20250	3468	8.17	3127.34	332.49	22.38	36.42		36.50	0.000073	1.30	2956.25	426.51	0.13
TRAMO 1	20200	3468	62.10	3276.26	129.63	22.00	36.40		36.50	0.000080	1.37	2776.22	425.84	0.14
TRAMO 1	20150	3468	23.86	3351.45	92.69	22.05	36.41		36.49	0.000059	1.23	3040.64	436.50	0.12
TRAMO 1	20100	3468	40.70	3320.12	107.18	22.86	36.39		36.48	0.000085	1.35	2774.99	441.28	0.14
TRAMO 1	20050	3468	21.70	3377.14	69.16	23.00	36.39		36.48	0.000095	1.34	2719.54	429.99	0.15
TRAMO 1	20000	3468	140.51	3275.60	51.89	23.88	36.37		36.47	0.000102	1.44	2607.75	418.73	0.15
TRAMO 1	19950	3468	71.74	3342.63	53.63	22.39	36.37		36.47	0.000088	1.39	2682.68	427.69	0.14
TRAMO 1	19900	3468	26.49	3383.46	58.06	22.55	36.38		36.46	0.000072	1.28	2883.26	496.62	0.13
TRAMO 1	19850	3468	68.68	3383.78	15.55	22.74	36.37		36.45	0.000074	1.25	2946.63	534.15	0.13
TRAMO 1	19800	3468	81.30	3274.97	111.74	22.02	36.38		36.45	0.000061	1.19	3231.33	605.62	0.12
TRAMO 1	19750	3468	144.12	3235.52	88.36	23.42	36.38		36.44	0.000062	1.17	3325.80	617.48	0.12
TRAMO 1	19700	3468	346.89	2969.67	151.44	23.12	36.38		36.44	0.000055	1.10	3666.45	666.37	0.11
TRAMO 1	19650	3468	238.44	3072.73	156.82	24.12	36.36		36.43	0.000070	1.21	3408.55	726.02	0.13
TRAMO 1	19600	3468	287.36	2956.03	224.61	24.26	36.35		36.43	0.000081	1.30	3297.64	738.13	0.14
TRAMO 1	19550	3468	157.27	3025.46	285.26	23.00	36.36		36.42	0.000067	1.20	3512.91	751.17	0.13
TRAMO 1	19500	3468	140.21	3005.63	322.17	23.18	36.35		36.42	0.000075	1.23	3434.52	763.77	0.13
TRAMO 1	19450	3468	164.88	2054.75	1248.37	23.25	36.37		36.41	0.000041	1.01	4348.92	776.86	0.10
TRAMO 1	19400	3468	209.50	2078.69	1179.81	22.28	36.36		36.40	0.000036	1.03	4532.81	796.82	0.10
TRAMO 1	19350	3468	246.62	2594.55	626.84	23.22	36.35		36.40	0.000061	1.15	3864.83	800.00	0.12
TRAMO 1	19300	3468	397.39	2307.30	763.31	23.83	36.35		36.40	0.000062	1.15	3956.59	800.00	0.12
TRAMO 1	19250	3468	332.90	2526.48	608.62	23.08	36.35		36.39	0.000039	0.99	4510.04	800.00	0.10
TRAMO 1	19200	3468	542.39	2525.25	400.36	23.65	36.34		36.39	0.000048	1.06	4221.44	800.00	0.11
TRAMO 1	19150	3468	808.61	2274.16	385.24	23.07	36.33		36.38	0.000052	1.17	4078.74	800.00	0.11
TRAMO 1	19100	3468	703.80	2520.52	243.68	22.14	36.33		36.38	0.000050	1.14	4012.52	800.00	0.11
TRAMO 1	19050	3468	532.79	2560.74	374.47	22.93	36.33		36.38	0.000053	1.10	3895.59	665.48	0.11
TRAMO 1	19000	3468	767.09	2273.61	427.30	26.00	36.32		36.37	0.000072	1.19	3608.97	652.87	0.13
TRAMO 1	18950	3468	486.60	2669.13	312.27	24.83	36.31		36.37	0.000071	1.18	3539.62	640.93	0.13
TRAMO 1	18900	3468	385.53	2979.28	103.19	25.96	36.30		36.37	0.000079	1.19	3332.84	609.63	0.13
TRAMO 1	18850	3468	461.91	2872.82	133.27	25.41	36.29		36.36	0.000095	1.29	3101.51	569.78	0.15
TRAMO 1	18800	3468	700.29	2501.56	266.15	24.45	36.28		36.36	0.000101	1.39	3043.65	563.20	0.15
TRAMO 1	18750	3468	507.44	2799.19	161.37	23.00	36.27		36.35	0.000083	1.39	3091.43	572.49	0.14
TRAMO 1	18700	3468	364.05	3006.36	97.59	23.00	36.26		36.35	0.000084	1.36	3056.12	582.40	0.14
TRAMO 1	18650	3468	260.71	3064.80	142.49	24.14	36.25		36.34	0.000090	1.38	2977.97	600.00	0.15
TRAMO 1	18600	3468	107.43	3287.85	72.73	24.76	36.27		36.33	0.000056	1.09	3497.73	597.03	0.11
TRAMO 1	18550	3468	137.69	3294.51	35.80	24.12	36.24		36.32	0.000080	1.30	2975.17	580.13	0.14
TRAMO 1	18500	3468	83.47	3124.14	260.39	22.85	36.24		36.32	0.000065	1.30	3073.83	564.43	0.13
TRAMO 1	18450	3468	192.59	2883.89	391.52	22.70	36.22		36.31	0.000075	1.46	2928.57	541.60	0.14
TRAMO 1	18400	3468	102.20	3069.89	295.91	24.47	36.21		36.31	0.000094	1.46	2753.64	517.91	0.15
TRAMO 1	18350	3468	280.13	2802.77	385.10	26.17	36.14		36.30	0.000188	1.91	2223.11	485.49	0.21
TRAMO 1	18300	3468	109.97	3142.57	215.46	24.98	36.13		36.29	0.000174	1.84	2199.48	492.61	0.20
TRAMO 1	18250	3468	212.56	3117.52	137.93	23.30	36.14		36.27	0.000152	1.72	2330.96	499.29	0.19
TRAMO 1	18200	3468	76.73	3207.92	183.34	23.92	36.13		36.26	0.000142	1.67	2357.83	491.14	0.18
TRAMO 1	18150	3468	2.55	3335.20	130.25	25.79	36.11		36.26	0.000221	1.71	2158.55	485.16	0.22
TRAMO 1	18100	3468	45.54	3303.09	119.37	26.91	36.06		36.24	0.000266	1.93	1950.32	445.95	0.24
TRAMO 1	18050	3468	69.66	3396.82	1.53	26.26	36.08		36.21	0.000186	1.65	2178.43	408.78	0.20
TRAMO 1	18000	3468	68.61	3385.11	14.28	24.41	36.09		36.20	0.000108	1.44	2525.23	404.02	0.16
TRAMO 1	17950	3468	107.07	3266.47	94.46	23.31	36.10		36.19	0.000079	1.40	2714.41	405.46	0.14
TRAMO 1	17900	3468	194.17	3270.87	2.96	23.93	36.09		36.19	0.000104	1.42	2621.41	413.31	0.15
TRAMO 1	17850	3468	246.54	3200.59	20.87	23.28	36.09		36.18	0.000078	1.36	2813.06	413.35	0.14
TRAMO 1	17800	3468	22.43	3443.20	2.37	23.49	36.08		36.17	0.000113	1.34	2636.94	416.78	0.16
TRAMO 1	17750	3468	265.17	3172.25	30.58	25.01	36.05		36.16	0.000138	1.56	2433.61	413.57	0.18
TRAMO 1	17700	3468	193.26	3237.79	36.94	23.00	36.05		36.15	0.000116	1.47	2578.25	429.59	0.16
TRAMO 1	17650	3468	153.65	3240.61	73.74	23.39	36.03		36.15	0.000124	1.51	2502.40	428.98	0.17
TRAMO 1	17600	3468	225.65	3106.16	136.19	24.00	36.00		36.14	0.000140	1.68	2323.08	410.27	0.18
TRAMO 1	17550	3468	71.67	3377.71	18.63	23.43	36.00		36.13	0.000151	1.64	2238.86	404.58	0.18
TRAMO 1	17500	3468	55.77	3398.31	13.92	27.11	35.80		36.10	0.000497	2.45	1482.83	362.74	0.32
TRAMO 1	17450.*	3468	16.34	3447.80	3.86	26.97	35.66		36.06	0.000764	2.80	1268.39	330.40	0.39
TRAMO 1	17400	3468	0.89	3465.46	1.64	26.82	35.46		36.00	0.001268	3.24	1075.95	281.13	0.49
TRAMO 1	17350	3468	13.61	3437.49	16.90	23.35	35.59		35.90	0.000312	2.48	1459.75	306.29	0.27
TRAMO 1	17300	3468	474.26	2990.08	3.66	23.00	35.63		35.87	0.000224	2.26	1672.63	317.49	0.23
TRAMO 1	17250	3468	27.70	3439.25	1.06	23.37	35.52		35.84	0.000337	2.51	1439.38	306.27	0.27
TRAMO 1	17200	3468	27.55	3423.11	17.33	23.26	35.42		35.82	0.000456	2.82	1304.04	336.17	0.31
TRAMO 1	17150	3468	34.02	3427.79	6.19	23.00	35.48		35.77	0.000283	2.38	1548.17	374.51	0.25

Tabla A-3 Resultados de la modelación para el Escenario 3 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 3 (TOPOGRAFÍA 2017)														
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Fr # Chl
TRAMO 2	11500	3468	1515.95	1822.57	129.48	23.00	30.57		30.64	0.000131	1.37	3113.51	750.09	0.17
TRAMO 2	11400	3468	1505.54	1901.97	60.49	22.90	30.55		30.63	0.000151	1.39	2929.45	693.30	0.18
TRAMO 2	11300	3468	1554.42	1892.61	20.97	22.40	30.52		30.61	0.000177	1.52	2652.42	648.68	0.19
TRAMO 2	11200	3468	1266.14	2151.12	50.75	21.64	30.49		30.59	0.000165	1.57	2634.49	625.28	0.19
TRAMO 2	11140	3468	1066.39	2341.63	59.98	21.18	30.50		30.58	0.000124	1.43	2890.99	586.40	0.17
TRAMO 2	11100	3468	1119.41	2241.15	107.45	21.81	30.50		30.57	0.000131	1.34	2988.40	608.26	0.17
TRAMO 2	11000	3468	981.33	2424.41	62.26	21.27	30.49		30.56	0.000103	1.22	3306.90	770.54	0.15
TRAMO 2	10900	3468	918.76	2482.86	66.38	22.46	30.48		30.55	0.000118	1.21	3231.37	788.68	0.16
TRAMO 2	10800	3468	1390.21	2040.40	37.39	21.09	30.48		30.53	0.000092	1.21	3373.23	642.22	0.14
TRAMO 2	10700	3468	1625.69	1740.62	101.68	24.59	30.44		30.52	0.000178	1.36	2817.55	643.61	0.19
TRAMO 2	10600	3468	521.16	2908.43	38.41	22.29	30.43		30.50	0.000120	1.20	3127.39	642.75	0.16
TRAMO 2	10500	3468	502.92	2929.54	35.54	22.00	30.39		30.48	0.000164	1.44	2724.07	612.51	0.18
TRAMO 2	10400	3468	460.99	2884.95	122.06	21.96	30.37		30.47	0.000149	1.47	2718.91	576.00	0.18
TRAMO 2	10300	3468	474.67	2680.11	313.23	21.22	30.36		30.45	0.000133	1.49	2753.06	538.00	0.17
TRAMO 2	10200	3468	482.57	2817.18	168.26	22.20	30.33		30.44	0.000177	1.52	2584.35	548.39	0.19
TRAMO 2	10100	3468	755.33	2511.00	201.67	22.97	30.33		30.42	0.000158	1.42	2865.01	718.70	0.18
TRAMO 2	10000	3468	652.73	2675.96	139.31	22.15	30.33		30.40	0.000100	1.24	3163.86	648.60	0.15
TRAMO 2	9900	3468	928.64	2351.18	188.19	22.00	30.32		30.39	0.000103	1.26	3110.71	561.66	0.15
TRAMO 2	9800	3468	787.02	2595.60	85.38	22.00	30.31		30.38	0.000106	1.18	3215.19	636.36	0.15
TRAMO 2	9700	3468	605.26	2810.38	52.36	22.00	30.27		30.36	0.000160	1.40	2824.42	653.00	0.18
TRAMO 2	9600	3468	370.12	2965.10	132.78	22.68	30.23		30.34	0.000239	1.54	2505.06	637.45	0.22
TRAMO 2	9500	3468	1087.27	2258.31	122.42	23.54	30.22		30.31	0.000210	1.52	2655.75	646.26	0.21
TRAMO 2	9400	3468	706.36	2666.70	94.94	22.36	30.22		30.29	0.000120	1.25	3112.10	640.56	0.16
TRAMO 2	9300	3468	1125.38	2133.46	209.16	22.00	30.20		30.28	0.000141	1.42	3006.93	671.50	0.17
TRAMO 2	9200	3468	633.35	2774.52	60.13	22.00	30.18		30.26	0.000141	1.37	2963.94	695.88	0.17
TRAMO 2	9100	3468	833.08	2501.62	133.29	22.48	30.14		30.24	0.000184	1.56	2717.17	669.04	0.20
TRAMO 2	9000	3468	965.30	2352.28	150.41	23.00	30.13		30.22	0.000193	1.55	2757.46	797.67	0.20
TRAMO 2	8900	3468	1083.83	2176.52	207.66	23.63	30.10		30.20	0.000229	1.58	2644.39	699.67	0.21
TRAMO 2	8800	3468	888.67	2450.94	128.39	23.18	30.09		30.18	0.000185	1.47	2770.18	686.22	0.19
TRAMO 2	8700	3468	1025.81	2152.97	289.22	23.00	30.04		30.16	0.000264	1.72	2430.21	656.12	0.23
TRAMO 2	8600	3468	698.75	2718.77	50.48	23.00	29.92		30.11	0.000472	2.10	1970.51	627.00	0.30
TRAMO 2	8500	3468	482.90	2904.83	80.27	22.94	29.92		30.06	0.000297	1.73	2333.05	707.38	0.24
TRAMO 2	8400	3468	450.12	2929.87	88.01	22.00	29.82		30.02	0.000399	2.09	2001.24	637.30	0.28
TRAMO 2	8300	3468	550.88	2749.38	167.74	24.11	29.23		29.90	0.001985	3.96	1135.91	544.00	0.61
TRAMO 2	8200	3468	29.28	3414.96	23.76	23.18	28.25	28.25	29.53	0.005348	5.05	715.36	323.70	0.93
TRAMO 2	8100	3468	274.50	3025.73	167.77	22.00	28.46		28.93	0.000965	3.18	1233.06	354.61	0.44
TRAMO 2	8000	3468	145.04	3024.27	298.69	22.87	28.40		28.81	0.000991	3.00	1284.06	354.18	0.44
TRAMO 2	7900	3468	15.04	3398.61	54.36	23.42	27.62	27.28	28.58	0.003993	4.38	819.37	329.37	0.81
TRAMO 2	7800	3468	63.98	3404.02		22.00	27.90		28.23	0.000894	2.58	1385.41	388.67	0.40
TRAMO 2	7700	3468	430.22	2884.94	152.84	21.00	27.90		28.13	0.000548	2.32	1767.81	549.33	0.33
TRAMO 2	7600	3468	308.47	2923.85	235.67	21.00	27.91		28.07	0.000340	1.90	2103.62	570.08	0.26
TRAMO 2	7500	3468	168.25	3131.35	168.40	22.00	27.75		28.01	0.000649	2.34	1634.89	489.64	0.35
TRAMO 2	7400	3468	106.88	3178.34	182.78	22.00	27.64		27.94	0.000759	2.51	1518.65	460.81	0.38
TRAMO 2	7300	3468	144.79	3076.91	246.30	22.10	27.61		27.85	0.000648	2.26	1700.31	531.24	0.35
TRAMO 2	7200	3468	87.35	3331.26	49.40	22.00	27.61		27.78	0.000410	1.85	1984.12	548.01	0.28
TRAMO 2	7100	3468	49.22	3316.30	102.48	21.25	27.58		27.74	0.000329	1.77	2091.29	554.89	0.25
TRAMO 2	7000	3468	59.46	3369.38	39.16	22.62	27.36		27.67	0.000949	2.50	1446.90	456.19	0.41
TRAMO 2	6900	3468	97.36	3122.42	248.22	21.30	27.29		27.58	0.000711	2.50	1549.84	480.69	0.37
TRAMO 2	6800	3468	33.25	3272.49	162.26	22.00	27.23		27.50	0.000740	2.34	1583.57	512.34	0.37
TRAMO 2	6700	3468	295.94	3135.80	36.26	22.00	27.11		27.41	0.001031	2.53	1504.93	663.07	0.42
TRAMO 2	6600	3468	948.23	2406.25	113.52	21.70	26.97		27.30	0.001073	2.85	1519.88	716.18	0.44
TRAMO 2	6500	3468	1111.83	1957.83	398.34	20.88	26.92		27.19	0.000810	2.77	1748.97	780.70	0.40
TRAMO 2	6400	3468	350.50	2626.91	490.59	20.59	26.92		27.11	0.000447	2.12	2124.12	800.00	0.30
TRAMO 2	6300	3468	229.29	2921.67	317.05	20.06	26.92		27.06	0.000300	1.74	2401.05	800.00	0.24
TRAMO 2	6200	3468	356.85	2448.81	662.34	20.86	26.90		27.03	0.000307	1.81	2457.02	800.00	0.25
TRAMO 2	6100	3468	166.56	2742.39	559.05	21.00	26.88		26.99	0.000286	1.63	2532.63	800.00	0.23
TRAMO 2	6000	3468	1121.75	1336.27	1009.99	21.00	26.89		26.95	0.000169	1.30	3137.34	800.00	0.18
TRAMO 2	5900	3468	789.58	1578.48	1099.93	20.24	26.87		26.94	0.000151	1.33	3232.20	800.00	0.18
TRAMO 2	5800	3468	408.06	1915.06	1144.89	21.18	26.82		26.92	0.000282	1.58	2661.55	800.00	0.23
TRAMO 2	5700	3468	632.13	2026.55	809.33	21.52	26.70		26.87	0.000563	2.14	2106.52	800.00	0.32
TRAMO 2	5600	3468	698.81	2317.34	451.86	19.55	26.65		26.82	0.000395	2.10	2142.61	679.93	0.28
TRAMO 2	5500	3468	741.11	2544.88	182.02	19.77	26.60		26.78	0.000417	2.05	1982.29	537.18	0.29
TRAMO 2	5400	3468	850.01	2410.39	207.61	19.02	26.60		26.74	0.000235	1.79	2341.90	538.60	0.22
TRAMO 2	5300	3468	619.43	2326.47	522.10	20.51	26.58		26.71	0.000317	1.82	2439.26	800.00	0.25
TRAMO 2	5200	3468	183.06	2298.89	986.05	20.82	26.60		26.67	0.000180	1.30	3053.87	800.00	0.19
TRAMO 2	5100	3468	406.36	2576.87	484.77	18.16	26.58		26.65	0.000121	1.33	3250.34	800.00	0.16
TRAMO 2	5000	3468	94.82	3206.22	166.96	19.00	26.43		26.62	0.000343	2.00	2009.88	710.97	0.26
TRAMO 2	4900	3468	104.04	2782.12	581.84	19.00	26.40		26.58	0.000372	2.06	2078.74	687.65	0.27
TRAMO 2	4800	3468	308.47	2668.52	491.01	19.93	26.39		26.54	0.000369	1.88	2246.63	745.34	0.27
TRAMO 2	4700	3468	123.39	2828.85	515.76	20.86	26.38		26.49	0.000317	1.57	2515.06	800.00	0.24
TRAMO 2	4600	3468	118.54	2796.06	553.40	19.45	26.37		26.46	0.000211	1.33	2888.35	794.35	0.20
TRAMO 2	4500													

Tabla A-3 Resultados de la modelación para el Escenario 3 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 3 (TOPOGRAFÍA 2017)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 1	17100	3468		3445.61	8.84	23.00	35.01		35.70	0.000968	3.68	977.61	260.66	0.45
TRAMO 1	17050	3468		3468.00		26.76	33.16	33.16	35.45	0.005438	6.70	517.23	113.03	1.00
TRAMO 1	17000	3468		3468.00		24.72	34.18		34.54	0.000441	2.66	1303.16	169.64	0.31
TRAMO 1	16950	3468		3468.00	0.00	22.38	34.18		34.51	0.000340	2.56	1352.76	155.60	0.28
TRAMO 1	16900	3468	3.69	3460.59	3.73	22.81	33.91		34.47	0.000760	3.30	1061.28	178.48	0.40
TRAMO 1	16850.*	3468	2.80	3460.63	4.57	22.76	33.88		34.43	0.000687	3.26	1074.74	174.93	0.38
TRAMO 1	16800.*	3468	2.07	3460.00	5.94	22.71	33.86		34.39	0.000633	3.24	1084.23	172.20	0.37
TRAMO 1	16750.*	3468	1.46	3458.46	8.09	22.67	33.83		34.36	0.000594	3.23	1089.59	168.94	0.36
TRAMO 1	16700.*	3468	0.96	3455.93	11.11	22.62	33.80		34.33	0.000568	3.23	1090.73	164.98	0.35
TRAMO 1	16650	3468	0.55	3451.69	15.76	22.57	33.76		34.30	0.000553	3.25	1088.80	170.73	0.35
TRAMO 1	16600	3468		3462.66	5.34	22.68	33.16		34.20	0.001721	4.53	770.98	144.66	0.58
TRAMO 1	16550	3468	0.66	3461.04	6.30	22.94	33.40		34.02	0.000826	3.50	1004.33	180.42	0.42
TRAMO 1	16520.*	3468	1.20	3457.29	9.51	22.70	33.32		33.99	0.000862	3.63	974.07	187.93	0.43
TRAMO 1	16490	3468	2.33	3448.39	17.28	22.47	33.25		33.96	0.000877	3.72	958.27	194.24	0.43
TRAMO 1	16450	3468		3447.63	20.37	22.64	32.95		33.85	0.001456	4.22	842.24	178.07	0.54
TRAMO 1	16400	3468		3418.41	49.59	22.80	33.12		33.71	0.000772	3.40	1060.91	201.40	0.41
TRAMO 1	16350	3468	34.65	3333.74	99.61	20.05	33.33		33.59	0.000246	2.33	1622.71	276.79	0.24
TRAMO 1	16300	3468	63.67	3186.47	217.86	21.77	33.13		33.56	0.000423	3.00	1297.46	240.44	0.31
TRAMO 1	16250	3468	8.58	3418.62	40.80	22.00	33.01		33.53	0.000551	3.20	1138.76	213.49	0.35
TRAMO 1	16200	3468	123.68	3326.96	17.36	22.85	32.74		33.47	0.000976	3.85	955.48	197.21	0.46
TRAMO 1	16150	3468	167.98	3294.95	5.07	22.51	32.53		33.40	0.001283	4.21	861.18	170.95	0.52
TRAMO 1	16100	3468	39.37	3427.02	1.61	22.00	32.59		33.30	0.000815	3.75	966.44	191.97	0.42
TRAMO 1	16050	3468		3468.00		22.25	31.25	30.68	33.11	0.004221	6.03	575.20	121.66	0.89
TRAMO 1	16000	3468		3468.00		22.61	31.50		32.77	0.002455	4.99	694.42	129.69	0.69
TRAMO 1	15950	3468		3462.08	5.92	22.00	31.70		32.56	0.001211	4.13	847.96	149.82	0.50
TRAMO 1	15900	3468	22.94	3437.55	7.52	22.26	31.80		32.45	0.000904	3.58	1001.54	205.41	0.44
TRAMO 1	15850	3468	30.23	3436.09	1.68	22.00	31.36		32.35	0.001927	4.42	807.85	198.30	0.61
TRAMO 1	15800	3468	143.05	3319.64	5.31	22.00	31.08		32.22	0.002451	4.82	757.31	192.43	0.67
TRAMO 1	15750	3468	0.02	3456.27	11.71	21.81	31.09		32.07	0.001821	4.40	801.13	179.39	0.59
TRAMO 1	15700	3468	3.96	3419.79	44.25	21.08	31.47		31.85	0.000433	2.72	1311.05	205.80	0.31
TRAMO 2	15673.53	3468	8.94	3455.84	3.22	21.53	31.37		31.81	0.000595	2.94	1197.75	221.84	0.36
TRAMO 2	15600	3468	4.86	3457.28	5.85	22.00	31.25		31.75	0.000918	3.12	1127.07	244.77	0.43
TRAMO 2	15500	3468	50.82	3324.86	92.33	22.00	31.32		31.62	0.000503	2.50	1509.57	386.61	0.32
TRAMO 2	15400	3468	32.31	3298.95	136.75	22.00	31.39		31.55	0.000217	1.77	2130.39	481.62	0.22
TRAMO 2	15300	3468	98.63	3306.10	63.27	22.41	31.39		31.52	0.000220	1.60	2272.06	460.76	0.21
TRAMO 2	15200	3468	71.70	3387.15	9.15	22.00	31.37		31.49	0.000192	1.55	2318.16	451.39	0.20
TRAMO 2	15100	3468		3355.62	112.39	25.50	31.26		31.46	0.000508	1.99	1798.18	459.27	0.31
TRAMO 2	15000	3468	126.20	3337.12	4.68	23.91	31.26		31.40	0.000263	1.68	2160.04	483.04	0.23
TRAMO 2	14900	3468	109.00	3199.73	159.28	23.23	31.26		31.37	0.000199	1.55	2435.86	554.48	0.20
TRAMO 2	14800	3468	81.66	3316.60	69.74	22.13	31.27		31.35	0.000132	1.26	2903.99	605.61	0.16
TRAMO 2	14700	3468	219.88	2748.86	499.26	22.10	31.24		31.33	0.000132	1.45	2888.33	680.60	0.17
TRAMO 2	14600	3468	119.05	3024.12	324.83	23.61	31.24		31.32	0.000125	1.32	3014.14	768.51	0.16
TRAMO 2	14500	3468	619.20	2638.79	210.01	23.23	31.24		31.30	0.000100	1.21	3438.29	765.05	0.15
TRAMO 2	14400	3468	580.38	2728.33	159.29	25.36	31.18		31.28	0.000233	1.53	2664.84	760.44	0.21
TRAMO 2	14300	3468	912.43	2432.50	123.08	25.53	31.16		31.26	0.000254	1.52	2645.51	749.90	0.22
TRAMO 2	14200	3468	518.92	2814.97	134.11	24.10	31.16		31.23	0.000139	1.26	3159.03	778.93	0.17
TRAMO 2	14100	3468	496.02	2847.21	124.77	24.37	31.12		31.21	0.000200	1.44	2764.37	729.93	0.20
TRAMO 2	14000	3468	574.97	2683.34	209.69	25.37	31.03		31.18	0.000372	1.85	2240.01	710.28	0.27
TRAMO 2	13900	3468	472.56	2734.17	261.27	25.66	30.96		31.14	0.000464	2.00	2061.48	684.66	0.30
TRAMO 2	13800	3468	274.10	2934.56	259.34	24.47	30.96		31.09	0.000263	1.67	2360.98	621.75	0.23
TRAMO 2	13700	3468	309.93	2482.05	676.02	23.08	30.96		31.06	0.000167	1.53	2682.65	581.81	0.19
TRAMO 2	13600	3468	649.66	2349.50	468.85	24.16	30.96		31.04	0.000159	1.36	2876.17	618.66	0.18
TRAMO 2	13500	3468	191.73	3030.88	245.39	24.71	30.93		31.02	0.000184	1.36	2788.16	726.27	0.19
TRAMO 2	13400	3468	1064.29	2147.69	256.03	24.00	30.94		30.99	0.000107	1.13	3526.86	779.96	0.15
TRAMO 2	13300	3468	258.56	2888.54	320.90	23.50	30.93		30.98	0.000083	1.05	3693.95	753.46	0.13
TRAMO 2	13200	3468	227.57	2917.18	323.26	22.03	30.93		30.98	0.000067	1.02	3914.56	800.00	0.12
TRAMO 2	13100	3468	101.52	3047.13	319.35	22.76	30.92		30.97	0.000079	1.04	3752.49	800.00	0.13
TRAMO 2	13000	3468	669.68	2406.40	391.92	23.37	30.88		30.96	0.000125	1.33	3231.81	800.00	0.16
TRAMO 2	12900	3468	106.17	3116.95	244.89	23.77	30.80		30.93	0.000285	1.66	2389.55	747.77	0.24
TRAMO 2	12800	3468	33.34	3308.31	126.36	22.78	30.78		30.91	0.000233	1.62	2378.83	720.94	0.22
TRAMO 2	12700	3468	93.14	3248.23	126.63	23.39	30.74		30.88	0.000268	1.72	2279.17	732.27	0.23
TRAMO 2	12600	3468	417.57	2790.94	259.49	21.83	30.75		30.85	0.000145	1.49	2925.96	800.00	0.18
TRAMO 2	12500	3468	325.00	2862.18	280.81	21.55	30.76		30.83	0.000099	1.25	3360.70	800.00	0.15
TRAMO 2	12400	3468	228.55	2861.74	377.71	22.00	30.75		30.82	0.000099	1.23	3410.19	818.71	0.15
TRAMO 2	12300	3468	258.14	2935.28	274.58	22.54	30.71		30.80	0.000173	1.40	2934.43	846.66	0.19
TRAMO 2	12200	3468	362.05	2682.36	423.60	23.00	30.67		30.78	0.000216	1.63	2711.96	846.58	0.21
TRAMO 2	12100	3468	464.13	2585.88	418.00	23.95	30.65		30.76	0.000214	1.60	2772.53	858.73	0.21
TRAMO 2	12000	3468	447.86	2784.42	235.72	22.25	30.61		30.73	0.000192	1.68	2601.29	760.10	0.20
TRAMO 2	11900	3468	798.55	2531.23	138.22	22.00	30.63		30.70	0.000106	1.30	3344.28	904.10	0.15
TRAMO 2	11800	3468	776.15	2506.56	185.30	22.00	30.60		30.69	0.000144	1.47	2937.79	732.54	0.18
TRAMO 2	11700	3468	933.65	2378.02	156.34	22.23	30.60		30.67	0.000129	1.32	3210.06	771.31	0.16
TRAMO 2	11600	3468	1196.78	2168.51	102.71	21.64	30.59		30.66	0.000106	1.28	3376.46	777.15	0.15

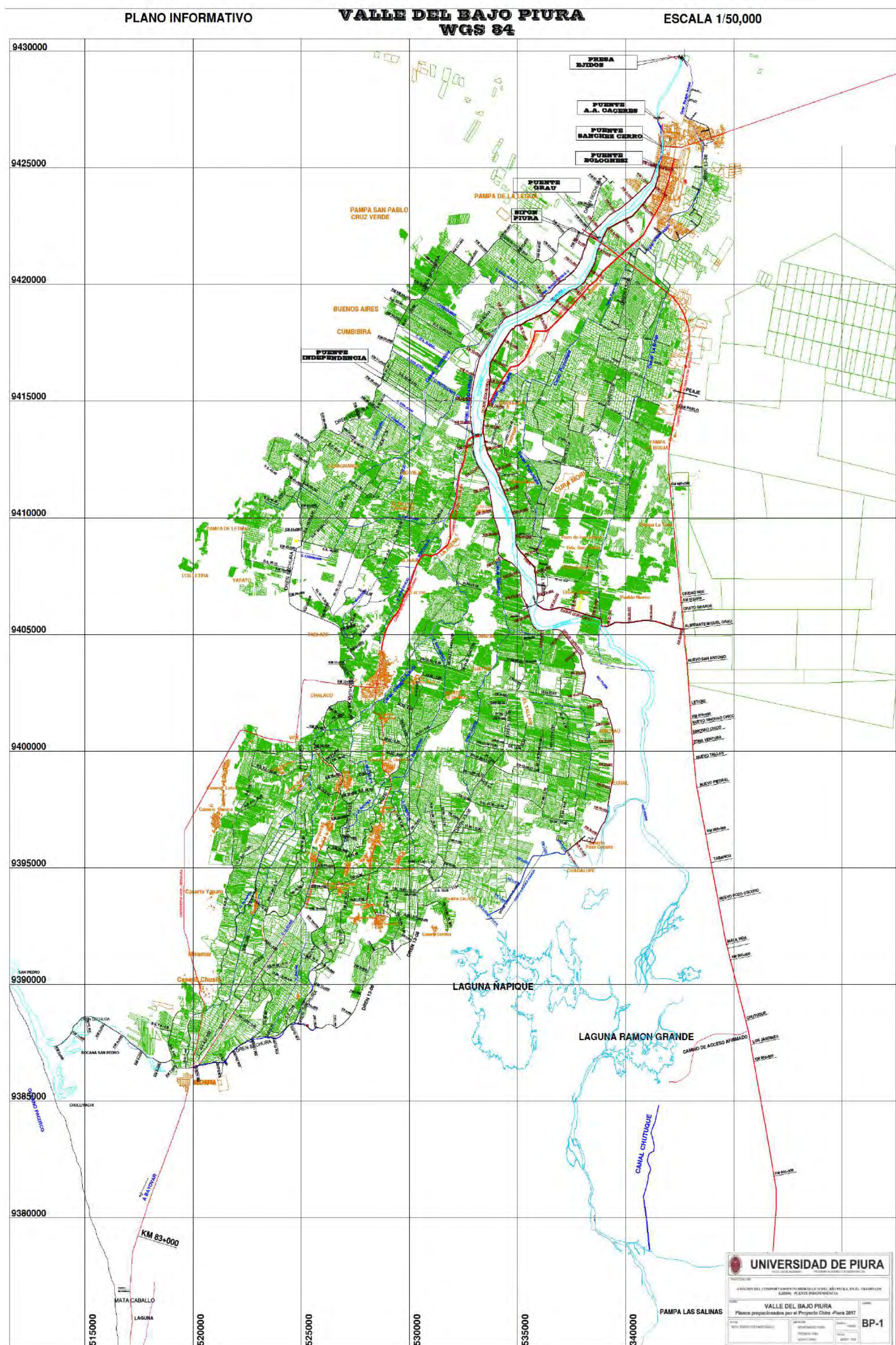
Tabla A-3 Resultados de la modelación para el Escenario 3 (Continuación)

RESULTADOS DEL ESCENARIO 3 (TOPOGRAFÍA 2017)														
Reach	River Sta	Q Total	Q Left	Q Channel	Q Right	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 2	4400	3468	1083.46	1334.55	1049.99	20.09	26.27		26.37	0.000283	1.74	2658.58	800.00	0.24
TRAMO 2	4300	3468	613.34	1814.09	1040.58	20.25	26.26		26.34	0.000229	1.47	2845.50	800.00	0.21
TRAMO 2	4200	3468	437.25	1911.61	1119.14	20.76	26.23		26.32	0.000254	1.49	2759.34	800.00	0.22
TRAMO 2	4100	3468	685.14	1874.95	907.91	20.22	26.12		26.28	0.000473	2.14	2205.88	800.00	0.30
TRAMO 2	4000	3468	796.84	1892.37	778.80	20.05	26.02		26.22	0.000605	2.42	2028.86	800.00	0.34
TRAMO 2	3900	3468	1078.16	1703.24	686.60	21.00	25.98		26.15	0.000643	2.09	2075.18	800.00	0.34
TRAMO 2	3800	3468	938.89	2211.63	317.48	20.01	25.98		26.09	0.000287	1.61	2592.85	800.00	0.23
TRAMO 2	3700	3468	849.42	2322.27	296.30	20.61	25.90		26.05	0.000439	1.93	2241.31	800.00	0.29
TRAMO 2	3600	3468	1112.39	2194.30	161.31	19.17	25.90		26.00	0.000229	1.59	2706.01	800.00	0.21
TRAMO 2	3500	3468	1269.68	1935.40	262.93	20.58	25.86		25.97	0.000347	1.69	2467.74	800.00	0.25
TRAMO 2	3400	3468	521.65	2585.54	360.81	20.85	25.84		25.94	0.000266	1.51	2669.43	800.00	0.22
TRAMO 2	3300	3468	671.42	2246.98	549.60	19.46	25.81		25.91	0.000223	1.59	2763.59	800.00	0.21
TRAMO 2	3200	3468	537.31	1964.58	966.11	19.82	25.76		25.88	0.000323	1.77	2474.95	800.00	0.25
TRAMO 2	3100	3468	316.21	1213.61	1938.18	19.29	25.74		25.85	0.000276	1.74	2540.30	776.11	0.24
TRAMO 2	3000	3468	467.01	1600.23	1400.76	19.99	25.73		25.82	0.000238	1.57	2709.36	800.00	0.22
TRAMO 2	2900	3468	453.05	2408.74	606.21	19.79	25.68		25.80	0.000272	1.65	2567.40	800.00	0.23
TRAMO 2	2800	3468	180.51	3040.85	246.65	20.09	25.57		25.75	0.000466	2.00	2033.06	800.00	0.30
TRAMO 2	2700	3468	65.61	3321.75	80.64	20.89	25.48		25.69	0.000719	2.09	1794.80	747.28	0.35
TRAMO 2	2600	3468	114.73	3218.57	134.70	19.12	25.46		25.63	0.000373	1.86	2098.47	718.11	0.27
TRAMO 2	2500	3468	423.04	1798.06	1246.90	19.98	25.43		25.58	0.000504	1.98	2189.17	800.00	0.30
TRAMO 2	2400	3468	262.56	1578.20	1627.24	21.19	25.38		25.52	0.000587	1.76	2142.00	800.00	0.31
TRAMO 2	2300	3468	183.70	3191.59	92.71	18.58	25.37		25.48	0.000205	1.50	2679.85	888.19	0.20
TRAMO 2	2200	3468	192.97	3230.93	44.11	20.18	25.31		25.45	0.000414	1.70	2262.92	859.09	0.27
TRAMO 2	2100	3468	826.38	2542.33	99.29	20.54	25.23		25.40	0.000557	2.01	2149.34	898.75	0.32
TRAMO 2	2000	3468	294.82	2912.66	260.53	20.91	24.42	24.42	25.22	0.003885	4.26	1026.59	770.44	0.79
TRAMO 2	1900	3468	26.30	3177.79	263.91	19.21	24.63		24.87	0.000664	2.25	1722.19	728.68	0.35
TRAMO 2	1800	3468	37.10	2958.51	472.40	19.00	24.60		24.79	0.000577	2.02	1882.07	654.95	0.32
TRAMO 2	1700	3468	168.13	2543.06	756.81	19.00	24.57		24.73	0.000483	1.88	2047.34	633.77	0.30
TRAMO 2	1600	3468	37.25	2584.64	846.11	18.48	24.57		24.68	0.000289	1.49	2509.58	750.14	0.23
TRAMO 2	1500	3468	219.93	2431.09	816.98	18.23	24.55		24.65	0.000273	1.58	2593.07	770.52	0.23
TRAMO 2	1400	3468	86.96	2416.52	964.52	18.57	24.52		24.62	0.000260	1.59	2611.63	798.22	0.22
TRAMO 2	1300	3468	211.31	2344.73	911.96	18.00	24.50		24.60	0.000217	1.51	2830.35	847.41	0.21
TRAMO 2	1200	3468	151.10	2622.63	694.28	18.72	24.49		24.57	0.000207	1.33	2992.27	901.02	0.20
TRAMO 2	1100	3468	200.03	2273.54	994.44	20.00	24.41		24.53	0.000528	1.70	2284.86	876.33	0.30
TRAMO 2	1000	3468	176.58	1964.28	1327.14	20.15	24.28		24.46	0.000836	2.19	1943.53	845.63	0.38
TRAMO 2	900	3468	7.62	2105.78	1354.60	20.95	24.05		24.33	0.001845	2.47	1504.85	800.00	0.52
TRAMO 2	800	3468	9.02	2865.69	593.29	18.04	24.13		24.22	0.000278	1.34	2653.26	815.99	0.22
TRAMO 2	700	3468	268.81	2105.07	1094.11	19.23	23.97		24.16	0.000639	2.08	1847.78	651.58	0.34
TRAMO 2	600	3468	170.40	2196.93	1100.67	19.31	23.91		24.10	0.000670	2.06	1846.41	730.25	0.34
TRAMO 2	500	3468	97.62	2504.83	865.55	17.63	23.92		24.03	0.000254	1.61	2558.69	775.38	0.22
TRAMO 2	400	3468	359.41	2257.78	850.81	17.68	23.91		24.00	0.000224	1.52	2776.32	789.85	0.21
TRAMO 2	300	3468	248.71	2444.88	774.41	17.40	23.87		23.98	0.000219	1.63	2717.37	800.00	0.21
TRAMO 2	200	3468	76.19	2339.46	1052.35	16.93	23.85		23.96	0.000238	1.64	2602.57	770.40	0.22
TRAMO 2	100	3468	13.07	1991.37	1463.57	17.13	23.83		23.93	0.000252	1.51	2461.56	603.50	0.22
TRAMO 2	0	3468	7.95	2798.78	661.28	16.62	23.75	20.11	23.90	0.000300	1.87	2143.54	573.07	0.25

Fuente: Elaboración propia

Anexos

Anexo A. Plano de ubicación del área en estudio



Anexo B. Plano de ubicación de los puntos de rotura de los diques del Bajo Piura

