



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

UEN GESTIÓN AMBIENTAL

ÁREA FUNCIONAL ESTUDIOS BÁSICOS

PROYECTO

Determinación de caudales máximos para el Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José en las nuevas tuberías de los colectores de aguas residuales.
Parte II.

LOCALIZACIÓN

Provincia: San José

Cantón: Goicoechea

DATOS DEL PROFESIONAL QUE ELABORA ESTUDIOS

Nombre del profesional: Alina Trabado Sagot

Número de cédula: 1 1436 0496

Número de colegiado: IC-26851

Número de Consultor Individual SETENA: CI-153-16

Mes y año: Mayo 2020



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

N° Cédula: 5-251-0327

Dependencia: **Gerencia General**

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC).

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: gerenciageneral@aya.go.cr N° Teléfono: 2242-5090



Firmado digitalmente
por ERIC ALONSO
BOGANTES CABEZAS
(FIRMA)
Fecha: 2021.06.16
17:21:24 -06'00'

Firma: _____



CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
1. Resumen	7
1.1. Resumen de resultados.....	7
1.2. Resumen de conclusiones técnicas	8
2. Introducción	9
3. Objetivos del estudio.....	11
3.1. Objetivo general	11
3.2. Objetivos específicos.....	11
4. Alcances y limitaciones.....	11
5. Resultados.....	12
5.1. Características de las cuencas estudiadas	12
5.2. Cálculo de caudales	14
Método Racional	14
Método de Creager	17
5.3. Modelo hidrológico	18
Modelo Cuenca P17.....	18
Modelo Cuenca P19.....	24
Modelo Cuenca P16.....	30
Modelo Cuenca P15.....	34
Modelo Cuenca P3.....	38
Modelo Cuenca P1.....	42



Modelo Cuenca P11	48
Modelo Cuenca P5.....	54
Modelo Cuenca P2.....	58
Modelo Cuenca P4.....	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. RESUMEN DE RESULTADOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS	7
CUADRO 2. COORDENADAS DE LOS PUNTOS A EVALUAR HIDROLÓGICAMENTE	12
CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS	14
CUADRO 4. PORCENTAJES DE COBERTURA DEL SUELO DE LAS CUENCAS ANALIZADAS.	15
CUADRO 5. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.	15
CUADRO 6. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN MINUTOS DETERMINADO PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO.	16
CUADRO 7. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN EN MM/H SEGÚN VAHRSON PARA LA ZONA DE ESTUDIO.	17
CUADRO 8. CAUDALES MÁXIMOS EN M ³ /S PARA LAS CUENCAS P17 Y P19.	17
CUADRO 9. COEFICIENTE DE CREAGER C PARA LOS CAUDALES ESTIMADOS DE LA ESTACIÓN LINDA VISTA	18
CUADRO 10. CÁLCULO DE CAUDALES MEDIANTE MÉTODO DE CREAGER	18



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS PASOS ESTUDIADOS.	10
FIGURA 2. DELIMITACIÓN DE CUENCAS.	13
FIGURA 3. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P17	20
FIGURA 4. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P17	22
FIGURA 5. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P17	22
FIGURA 6. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P17	23
FIGURA 7. CALADO DEL MODELO HIDROLÓGICO T=50 PARA EL PASO P17 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	24
FIGURA 8. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P19	25
FIGURA 9. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P19	27
FIGURA 10. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P19	27
FIGURA 11. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P19	28
FIGURA 12. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P19 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	29
FIGURA 13. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P16	31
FIGURA 14. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P16	32
FIGURA 15. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P16 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	33
FIGURA 16. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P16	34
FIGURA 17. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P15	35
FIGURA 18. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P15 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	36
FIGURA 19. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P15	37
FIGURA 20. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P15	37
FIGURA 21. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P15	38
FIGURA 22. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P3	39
FIGURA 23. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P3	40
FIGURA 24. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P3	41
FIGURA 25. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P3	41
FIGURA 26. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P3 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	42
FIGURA 27. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P1	43
FIGURA 28. TOPOGRAFÍA DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P1	44
FIGURA 29. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P1	45
FIGURA 30. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P1	45
FIGURA 31. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P1	46
FIGURA 32. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P1 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	47
FIGURA 33. CALADO EN 3D DEL MODELO HIDROLÓGICO T=50 PARA EL PASO P11	48
FIGURA 34. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P11	49
FIGURA 35. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P11	50
FIGURA 36. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P11	51
FIGURA 37. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P11	52
FIGURA 38. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 4 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P11	52
FIGURA 39. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P11 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	53
FIGURA 40. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P5	55



FIGURA 41. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P5	56
FIGURA 42. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P5	57
FIGURA 43. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P5	57
FIGURA 44. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P5 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	58
FIGURA 45. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P2	59
FIGURA 46. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P2	60
FIGURA 47. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P2	61
FIGURA 48. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P2	61
FIGURA 49. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 4 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P2	62
FIGURA 50. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P2 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	63
FIGURA 51. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PASO P4	65
FIGURA 52. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 1 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P4	66
FIGURA 53. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 2 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P4	67
FIGURA 54. LÁMINAS DE AGUA PARA T=2, T=25 Y T=50 EN LA SECCIÓN 3 DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA PASO P4	67
FIGURA 55. CALADO DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS T=2, 25 Y 50 (EN ORDEN) PARA EL PASO P4 CON RESPECTO A UBICACIÓN DE TUBERÍA	68



1. Resumen

1.1. Resumen de resultados

Se determinó el caudal y la lámina de agua para 10 tramos de río en la cuenca del río Torres. En el siguiente cuadro se muestran las características principales de cada subcuenca y caudales calculados.

Cuadro 1. Resumen de resultados y características de las cuencas

Cuenca	P1	P5	P4	P3	P2	P19	P17	P16	P15	P11
Pozos respectivos	P-1, P-2, P-3 y P-4	Muro (P-5 y P-6)	Muro (P-4)	Muro (P-3)	Muro (P-2)	Muro (P-19)	Muro (P-17, P-18)	Muro (P-16)	Muro (P-15)	Muro (P-11)
Área (km ²)	11.55	36.50	25.02	26.78	25.84	1.67	1.65	4.53	21.15	30.13
Perímetro (km)	17.83	35.25	24.94	27.88	25.98	7.96	6.67	12.97	22.69	27.76
Long cauce principal (km)	8.85	20.76	14.96	17.24	15.77	2.29	1.49	6.37	9.59	15.05
Elevación mínima (msnm)	1201.36	1090.00	1200.00	1180.00	1190.00	1130.40	1171.18	1132.75	1160.00	1130.00
Elevación media (msnm)	1355.23	1256.18	1471.67	1454.53	1463.50	1179.80	1212.88	1215.27	1369.27	1281.64
Elevación máxima (msnm)	1641.01	1641.01	2049.34	2049.35	2049.30	1210.00	1254.56	1440.00	1890.00	1641.01
Pendiente media %	8.31	5.67	11.60	11.17	11.40	2.77	4.55	10.09	22.52	6.03
Q máximo T=2 años (m ³ /s)	20.40	47.23	36.25	38.04	37.09	26.36	31.62	9.57	32.11	41.35
Q máximo T=25 años (m ³ /s)	46.06	106.65	81.85	85.90	83.75	44.32	49.84	21.61	72.51	93.36
Q máximo T=50 años (m ³ /s)	52.43	121.41	93.17	97.79	95.33	53.18	59.05	24.60	82.54	106.28

Para el cálculo del caudal en las cuencas P17 y P19, se utilizó el método racional debido a que el área de las cuencas no supera los 2km², por lo tanto, se supone que la precipitación es uniforme en toda la cuenca. En el caso de las cuencas restantes, se utilizó el método de Creager para el traslado de caudales, utilizando información hidrológica de estación Linda Vista.



1.2. Resumen de conclusiones técnicas

A partir de los modelos hidrológicos se determina que hay riesgo de inundación en los puntos P19, P16, P15, P1, P11, P5, P2 y P4. El calado del agua en la mayoría de los casos no supera los 0.5m; sin embargo, es importante evaluar cada caso independientemente según se detalla en las conclusiones para tomar las respectivas medidas de seguridad.

En los puntos P17, P3 y P2, existen pasos de la tubería sobre el cuerpo de agua, por lo que es importante tener en cuenta las elevaciones máximas respectivas y proteger la tubería en caso de que el río arrastre objetos o material en una creciente.

Se recomienda ampliar la topografía 100m aguas arriba en el punto P11, para estimar las velocidades en las primeras dos secciones y el valor de la lámina de agua en la sección 2, la cual corresponde a un paso de la tubería sobre el cuerpo de agua.



2. Introducción

Se requiere determinar los caudales normales, caudales máximos y perfil de velocidades en 10 pasos elevados de tubería en la cuenca del río Torres. Específicamente, en un paso sobre la subcuenca del río Virilla, 4 pasos en la subcuenca del río Torres, 3 en la subcuenca del río María Aguilar y 2 en la subcuenca del río Tiribí. En la siguiente figura se muestra la ubicación de los pasos.

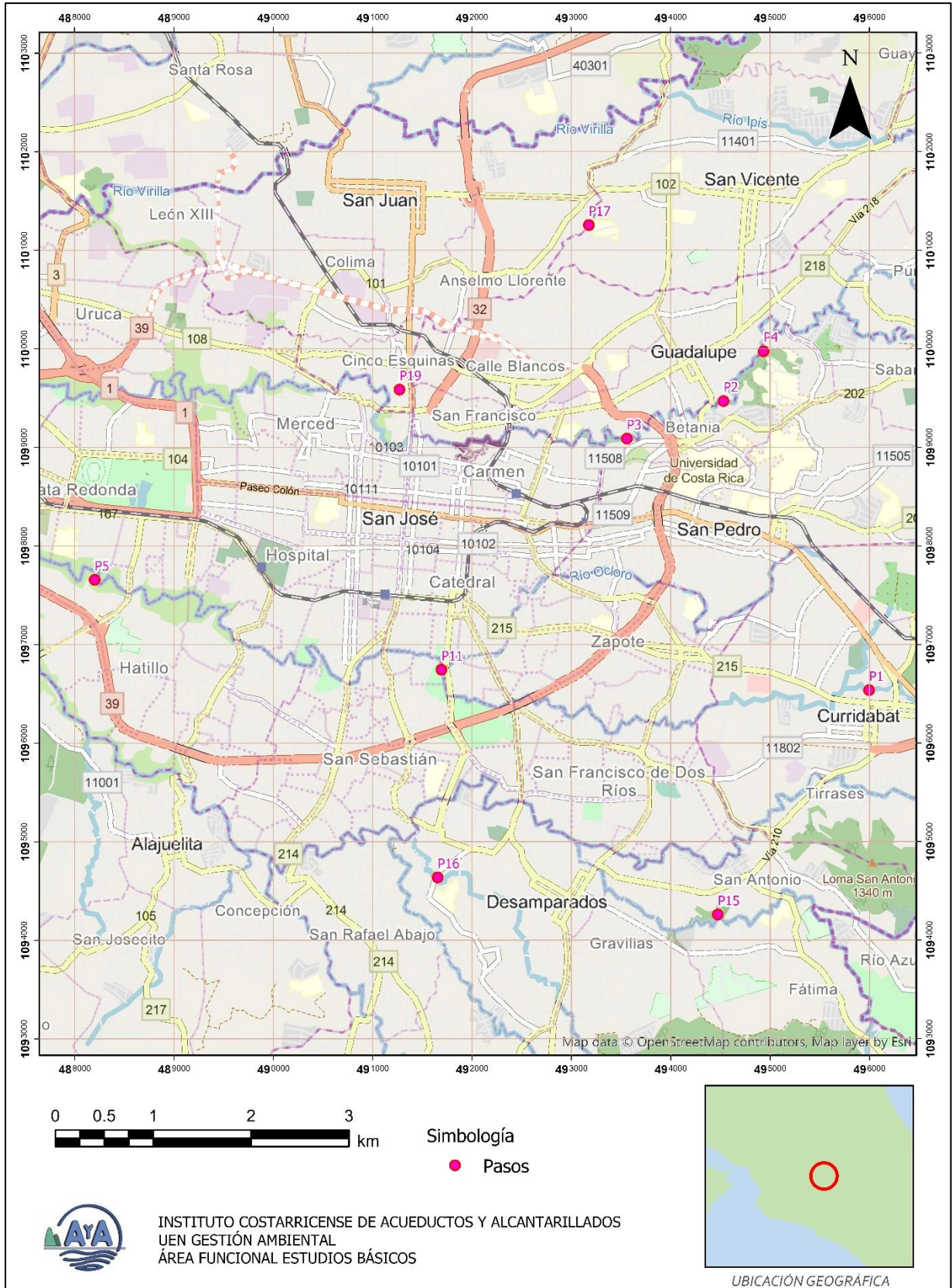


Figura 1. Ubicación de los pasos estudiados.



3. Objetivos del estudio

3.1. Objetivo general

- Determinar si los cuerpos de agua que atraviesa la tubería corresponden a amenazas para la integridad de esta en caso de una crecida.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar morfológicamente las cuencas correspondientes a pasos elevados de tubería.
- Determinar los caudales normales y máximos de cada cuerpo de agua que atraviese la tubería en los puntos especificados para periodos de retorno de 2, 25 y 50 años.
- Modelar hidrológicamente cada paso elevado de tubería sobre un cuerpo de agua para estimar la lámina de agua que puede alcanzar el río y perfil de velocidades para cada caudal estimado.
- Realizar conclusiones y recomendaciones sobre la colocación de la tubería en cada paso de río o quebrada.

4. Alcances y limitaciones

- El estudio es válido únicamente para los pasos señalados en las coordenadas específicas.
- Los resultados del modelo hidrológico se limitan a la extensión y el detalle de la topografía suministrada.
- Los valores de velocidades indicados son estimados del ráster de resultados obtenidos, los cuales se visualizan en un mapa de calor.
- La estimación de caudales depende de la información hidrológica disponible en las cuencas estudiadas.
- Los caudales normales (formativos) de los ríos se calcularán utilizando un periodo de retorno de 2 años, debido a la información hidrológica disponible.
- Se estimarán láminas de agua y perfiles más detallados en secciones que se consideren relevantes según los resultados obtenidos en los modelos hidrológicos.



5. Resultados

5.1. Características de las cuencas estudiadas

Los puntos analizados se ubican en las coordenadas en CRTM05 tal como se muestra a continuación:

Cuadro 2. Coordenadas de los puntos a evaluar hidrológicamente

Perforación	Puntos	Coordenadas X CRTM05	Coordenadas Y CRTM06
P-1, P-2, P-3 y P-4	P1	495997.09	1096535.35
Muro (P-5 y P-6)	P5	488201.77	1097656.16
Muro (P-4)	P4	494933.77	1099975.09
Muro (P-3)	P3	493559.32	1099087.48
Muro (P-2)	P2	494532.18	1099469.15
Muro (P-19)	P19	491270.08	1099586.19
Muro (P-17, P-18)	P17	493176.23	1101255.26
Muro (P-16)	P16	491653.89	1094636.61
Muro (P-15)	P15	494473.54	1094259.43
Muro (P-11)	P11	491691.01	1096743.67

Se delimitaron las cuencas respectivas según la ubicación de cada pozo y se caracterizaron morfológicamente.

En la siguiente imagen se muestra la delimitación de las cuencas.

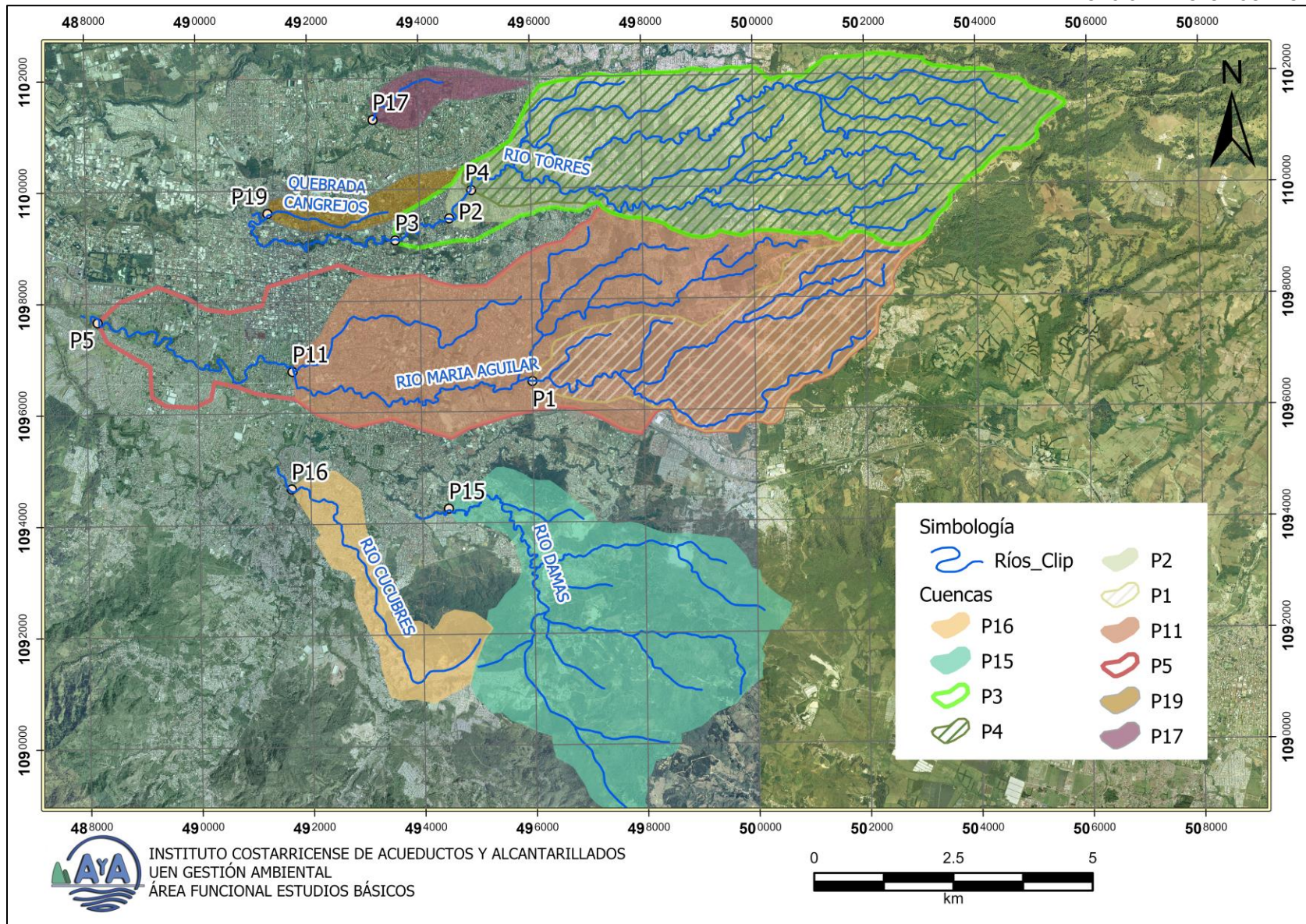


Figura 2. Delimitación de Cuencas.



Cuadro 3. Características de las cuencas

Cuenca	Área (km ²)	P (km)	Longitud del cauce principal (km)	Índice de Gravelius	Factor de forma K _F	Elevación mínima (msnm)	Elevación media (msnm)	Elevación máxima (msnm)	Pendiente media %
P16	4.53	12.97	6.37	1.72	0.11	1132.75	1215.27	1440.00	10.09
P15	21.15	22.69	9.59	1.39	0.23	1160.00	1369.27	1890.00	22.52
P3	26.78	27.88	17.24	1.52	0.09	1180.00	1454.53	2049.35	11.17
P1	11.55	17.83	8.85	1.48	0.15	1201.36	1355.23	1641.01	8.31
P11	30.13	27.76	15.05	1.43	0.13	1130.00	1281.64	1641.01	6.03
P5	36.50	35.25	20.76	1.65	0.08	1090.00	1256.18	1641.01	5.67
P19	1.67	7.96	2.29	1.74	0.32	1130.40	1179.80	1210.00	2.77
P17	1.65	6.67	1.49	1.46	0.74	1171.18	1212.88	1254.56	4.55
P2	25.84	25.98	15.77	1.44	0.10	1190.00	1463.50	2049.30	11.40
P4	25.02	24.94	14.96	1.41	0.11	1200.00	1471.67	2049.34	11.60

Las cuencas de interés comprenden áreas entre 1.65km² y 36.5km². El índice de compacidad y factor de forma indican que no son cuencas propensas a la formación de crecientes. En promedio, la elevación media es de 1326msnm, con mínimos de 1090msnm y una elevación máxima de 2049.35msnm. Con respecto a las pendientes promedio, las cuencas P17, P19, P5 y P11 presenta pendientes entre 2-6%, mientras que el resto de las cuencas tienen pendientes elevadas de hasta 22%, que repercute en velocidades altas en el cauce.

5.2. Cálculo de caudales

Método Racional

Se utilizará el método racional para determinar el caudal en cuencas con un área menor o igual a 2km². Específicamente para las cuencas P17 y P19.

Según el método racional, el caudal se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0.28 \cdot C \cdot I \cdot A \quad [1]$$

Donde Q es el caudal en m³/s, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad en mm/h y A es el área de la cuenca en km².



Periodo de retorno

Se utilizan periodos de retorno de 2, 25 y 50 años, con el fin de determinar los caudales según lo solicitado. El periodo de retorno de 2 años se utilizará para el cálculo de caudales formativos.

Coeficiente de escorrentía

Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía, se ponderan los valores utilizados en el método racional, proporcionados por Chow et al (2014) y para los periodos de retorno establecidos anteriormente. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \cdot A_i)}{A} \quad [2]$$

Donde C_i es el coeficiente de escorrentía para una subárea, A_i es una subárea en km^2 y A es el área total en km^2 .

Con el fin de determinar los coeficientes de escorrentía para cada cuenca, se determina el porcentaje de área de cada uso del suelo y según la pendiente del terreno. Los resultados se muestran a seguir.

Cuadro 4. Porcentajes de cobertura del suelo de las cuencas analizadas.

Uso del suelo	Pendiente	Área P17 (%)	Área P19 (%)
Concreto	0-2%	8.0%	23.4%
	2-7%	62.4%	62.3%
	mayor a 7%	29.6%	14.3%
	Σ	100.00%	100.00%

Según el cuadro anterior, se considera una impermeabilización completa de las cuencas, debido a que se encuentran en zona urbana. La mayor parte del área de cada una presenta una pendiente entre 2-7%. Para este tipo de cobertura, el valor del coeficiente de escorrentía no depende de la variación de la pendiente, si no del periodo de retorno utilizado, según se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Coeficientes de escorrentía para diferentes periodos de retorno.

Uso del suelo	T		
	2	25	50
Concreto	0.75	0.88	0.92



Tiempo de concentración

Se determina el tiempo de concentración de cada cuenca a partir de una de las siguientes ecuaciones.

Según Kirpich:

$$t_c = 0.0195 \cdot l^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad [3]$$

Según FAA (*Federal Aviation administration*):

$$t_c = 0.7 \cdot (1.1 - C) \cdot l^{0.5} \cdot S^{-0.333} \quad [4]$$

Según *California Culverts Practice*:

$$t_c = 316799.2 \cdot \left(\frac{11.9l^3}{H} \right)^{0.385} \quad [5]$$

Donde t_c es el tiempo de concentración (min), l es la longitud hidráulica de la cuenca (m), S es la pendiente promedio de la cuenca (m/m), C es el coeficiente de escorrentía y H es la diferencia de elevación entre la divisoria de aguas y la salida (m).

Para el cálculo del caudal máximo se utiliza el menor tiempo de concentración obtenido para cada cuenca, cuyo resultado se muestra a continuación.

Cuadro 6. Tiempo de concentración en minutos determinado para el cálculo del caudal máximo.

Cuenca	T		
	2	25	50
P17	*16.42	*16.42	**13.54
P19	*27.46	**24.21	**19.81

*Calculado con ecuación [5]. **Calculado con ecuación [4]

Intensidad de precipitación

Con el fin de determinar la intensidad máxima se utilizan las curvas propuestas por Vahrson et al (1992), basadas en la zona de estudio, tiempo de concentración y periodo de retorno. Para cada cuenca y periodo de retorno, se obtienen los siguientes resultados.



Cuadro 7. Intensidad de precipitación en mm/h según Vahrson para la zona de estudio.

Cuenca	T		
	2	25	50
P17	91.92	123.47	139.92
P19	75.70	108.48	124.51

Caudales calculados

Luego de determinar todos los parámetros requeridos para el cálculo del caudal con el método racional, se utiliza la ecuación 1 para obtener los siguientes caudales.

Cuadro 8. Caudales máximos en m³/s para las cuencas P17 y P19.

Cuenca	T		
	2	25	50
P17	31.62	49.84	59.05
P19	26.36	44.32	53.18

Método de Creager

Se utilizará el método de traslado de caudales según Creager para determinar los caudales máximos de las cuencas con un área mayor a 2km²; en este caso las cuencas P1, P2, P3, P4, P5, P11, P15 y P16. Este método se utiliza para el traslado de caudales de una cuenca a otra que presentan características similares, de manera que se relacionan mediante el mismo coeficiente de Creager, según la siguiente ecuación.

$$Q = 1.303C \left(\frac{A}{2.59} \right)^{\frac{0.936}{0.048}} \quad [6]$$

Donde Q es el caudal pico (m³/s), C es el coeficiente de Creager y A es el área de la cuenca.

En el informe anterior se seleccionó la cuenca de la estación Linda Vista para realizar el traslado de caudales en las subcuencas del río Torres. Las características de dicha cuenca son similares a las cuencas en estudio, por lo que se tomarán los coeficientes de Creager calculados anteriormente para determinar los caudales de las cuencas en esta etapa.



Traslado de caudales

Se tomarán los coeficientes de Creager calculados en el informe anterior correspondiente a la Parte I del estudio hidrológico.

Cuadro 9. Coeficiente de Creager C para los caudales estimados de la estación Linda Vista

TR (años)	Q máx inst (m ³ /s)	C
2	87.71	4.51
25	198.05	10.19
50	225.45	11.60

Utilizando este coeficiente para cada periodo de retorno y el área correspondiente de cada cuenca en estudio, se tiene que:

Cuadro 10. Cálculo de caudales mediante método de Creager

Cuenca	Á (km ²)	Q (m ³ /s)		
		T=2	T=25	T=50
P16	4.53	9.57	21.61	24.60
P15	21.15	32.11	72.51	82.54
P3	26.78	38.04	85.90	97.79
P1	11.55	20.40	46.06	52.43
P11	30.13	41.35	93.36	106.28
P5	36.50	47.23	106.65	121.41
P2	25.84	37.09	83.75	95.33
P4	25.02	36.25	81.85	93.17

5.3. Modelo hidrológico

Se utilizó el programa *Iber* para realizar los modelos hidrológicos para cada caudal, por lo que en total se ejecutaron 30 modelaciones. Se utilizó la topografía suministrada para cada paso y según el caso, se determinaron secciones relevantes para el análisis de la lámina de agua.

Modelo Cuenca P17

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos para el modelo del paso P17. Se observa en cada columna los resultados para la cota del agua, profundidad y velocidad del agua para cada periodo de retorno indicado en la primera fila.



En el primer cuadro se señalan las secciones analizadas para todos los modelos de la cuenca y las flechas indican la dirección y entrada del caudal.

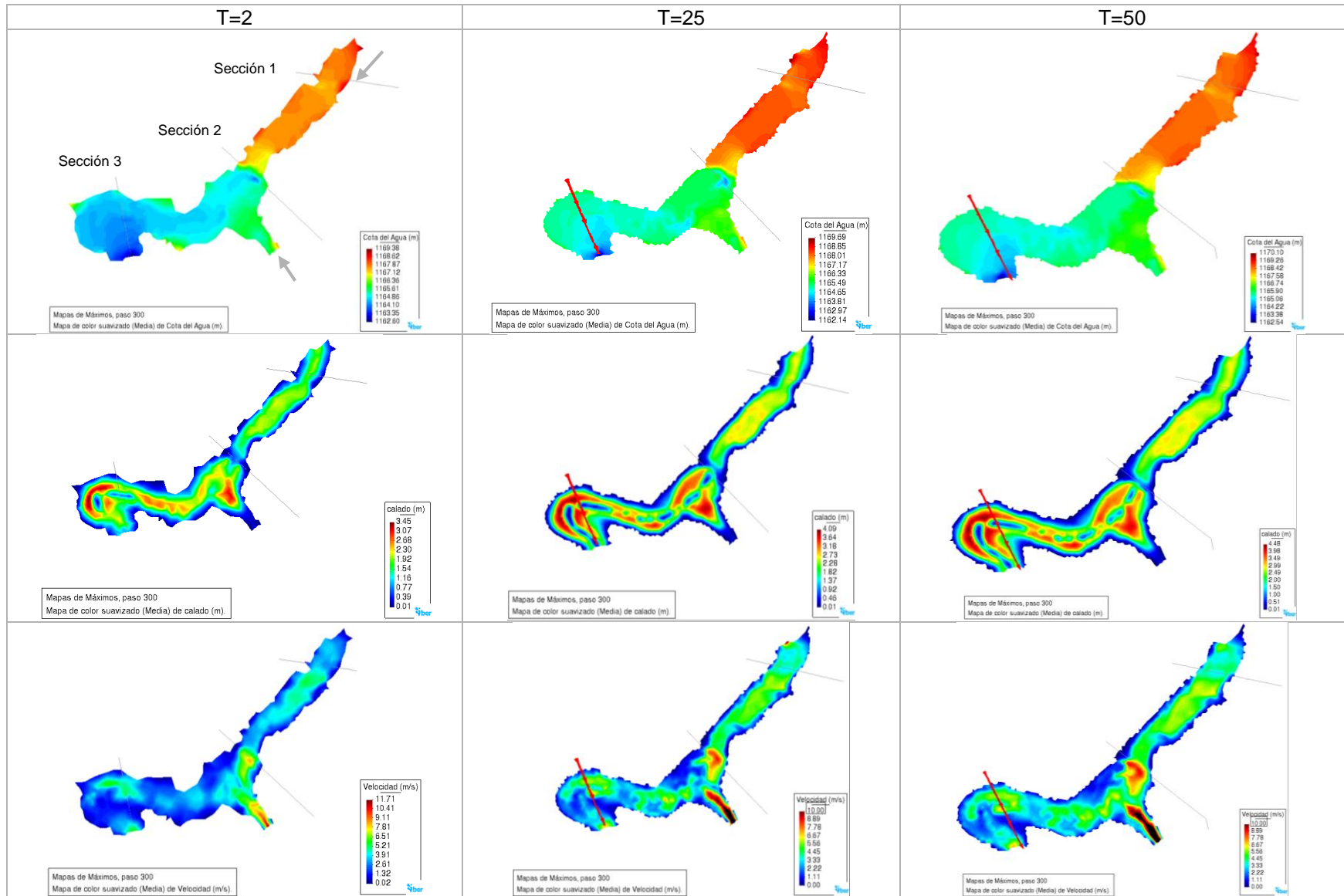


Figura 3. Resultados del modelo hidrológico para el paso P17



En las imágenes anteriores se puede observar la variación de los niveles del río según el caudal modelado. En el calado para $T=2$, la profundidad máxima se da en la curva del río aguas abajo de la sección 3, con un valor de 3.45m. En este punto, la profundidad aumenta a 4.09m para $T=25$ y a 4.48m en $T=50$. En la sección 2 se presentan profundidades de 0.7m, 1.4m y 1.5m para los modelos $T=2$, $T=25$ y $T=50$, respectivamente. Con respecto a la sección 1, la profundidad máxima es de 1.5m para el primer modelo, aumenta a 2.5m para $T=25$ y alcanza los 2.7m para $T=50$.

Con respecto al perfil de velocidades, en la sección 1 se dan velocidades bajas de aproximadamente de 2.3m/s para los caudales normales, aumentando a 3.3m/s para un periodo de retorno de 25 años y a 4m/s para $T=50$.

En el perfil de velocidades para el modelo $T=2$, se mantienen bajas, con valores promedio de 2.6m/s. Las velocidades máximas se dan en la entrada de una quebrada pequeña aguas abajo de la sección 2. En este punto se considera que las velocidades elevadas se dan debido a la entrada “a presión” del caudal que se genera con las limitantes del modelo, ya que no se cuenta con topografía extensa que permita modelar la longitud del cauce suficiente para que la velocidad se regule y no se vea afectada por las condiciones de entrada. También se detecta un aumento de la velocidad en el paso de la tubería en la sección 2, generado por la contracción del cauce, con valores de hasta 7m/s. En el modelo $T=25$ la velocidad aumenta a 7.7m/s y en el modelo $T=50$ se observan velocidades de 8m/s aproximadamente. Para el modelo de $T=25$, las velocidades en la línea central del cauce aumentan en promedio a 4.45m/s, mientras que en el modelo $T=50$, se presentan velocidades medias de 5m/s.

En la Figura 4 se traza el perfil de la sección 1, la cual se encuentra a la entrada del modelo, aguas arriba del paso de la tubería. Se indican las láminas de agua alcanzadas para cada modelo en los diferentes periodos de retorno. En este punto se dan saltos en el caudal debido a las condiciones topográficas y velocidad del agua. La elevación de la lámina de agua para el caudal formativo es de 1165.43msnm, mientras que para $T=25$ aumenta en 0.35m. Finalmente, para el periodo de retorno de 50 años la lámina de agua alcanza los 1167.79msnm. Se observa que las láminas de agua se mantienen dentro del cauce, por lo que no hay riesgo de inundación en este punto.

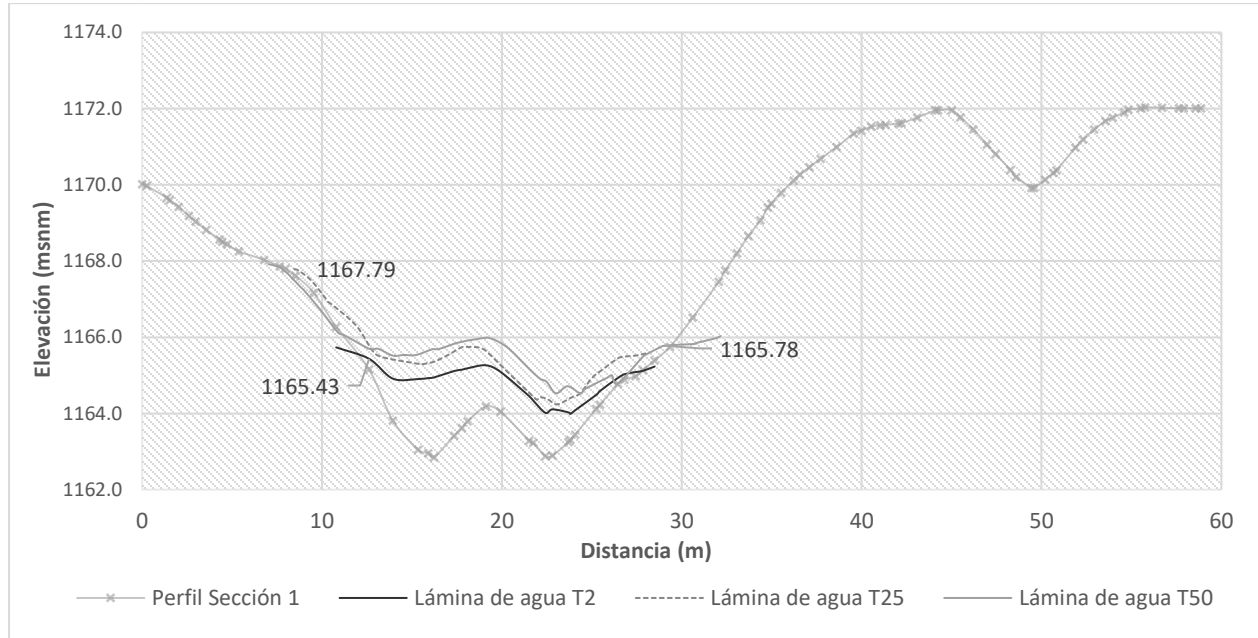


Figura 4. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P17

En la Figura 5 se observa el perfil del río en la sección 2, la cual corresponde al paso de la tubería. Las láminas de agua llegan hasta 1167.8msnm, 1168.63msnm y 1169.06msnm para los modelos $T=2$, $T=25$ y $T=50$, respectivamente. El nivel del agua se mantiene por debajo de las márgenes superiores del río, por lo tanto, si la tubería se coloca sobre el nivel de estas, no hay riesgo de ser golpeada por algún objeto o material que arrastre el río durante una creciente.

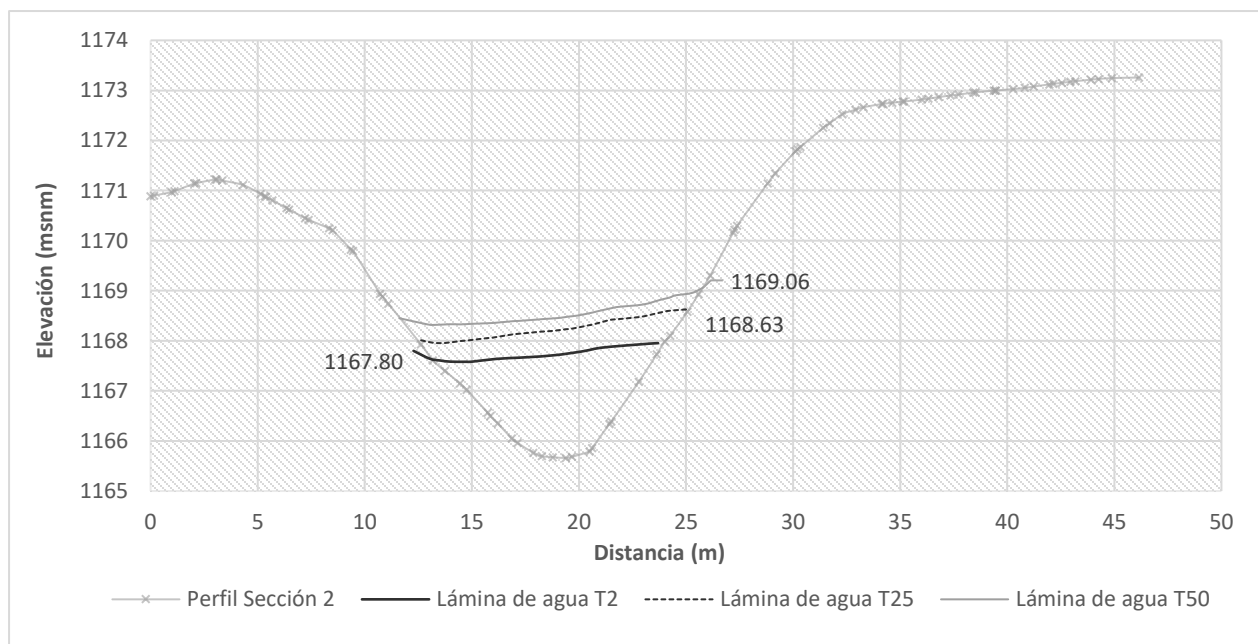


Figura 5. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P17



La Figura 6 muestra el perfil de la sección 3. Después del metro 43 no se cuenta con topografía, por lo que no se puede definir el alcance de la lámina de agua en la margen izquierda. En la margen derecha el agua llega a 1164.86msnm para el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 2 años y el nivel aumenta a 1165.69msnm para el modelo T=25 y a 1165.80msnm para T=50.

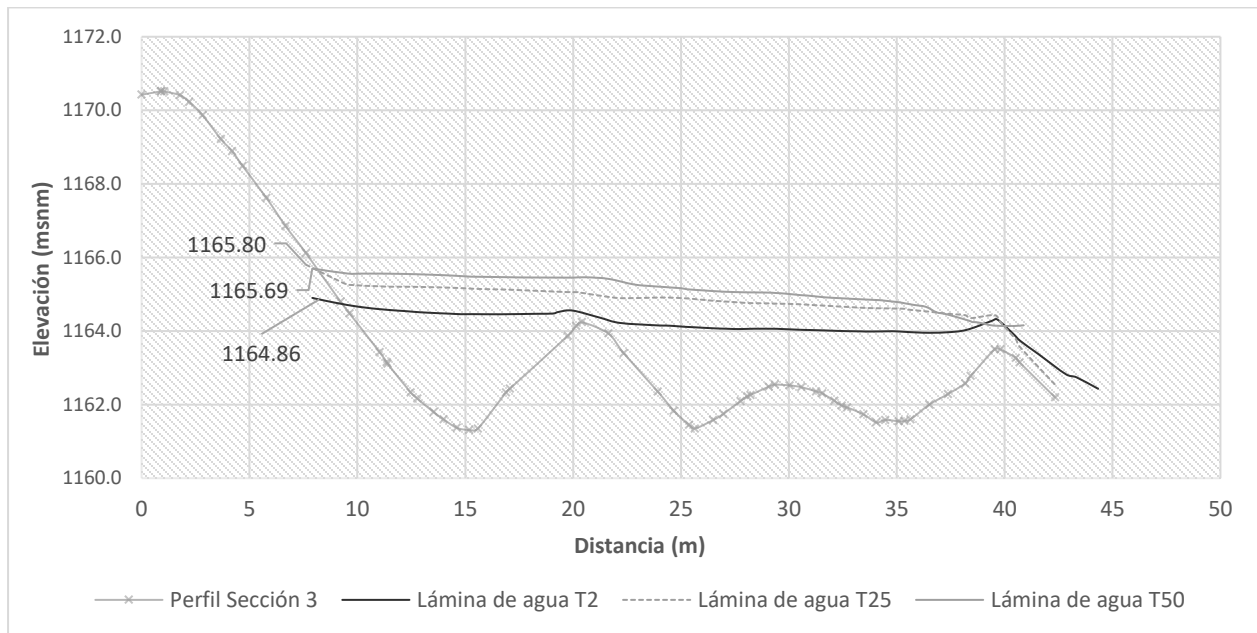


Figura 6. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P17

En la siguiente figura se puede comparar el modelo T=50 con la ubicación de la tubería.

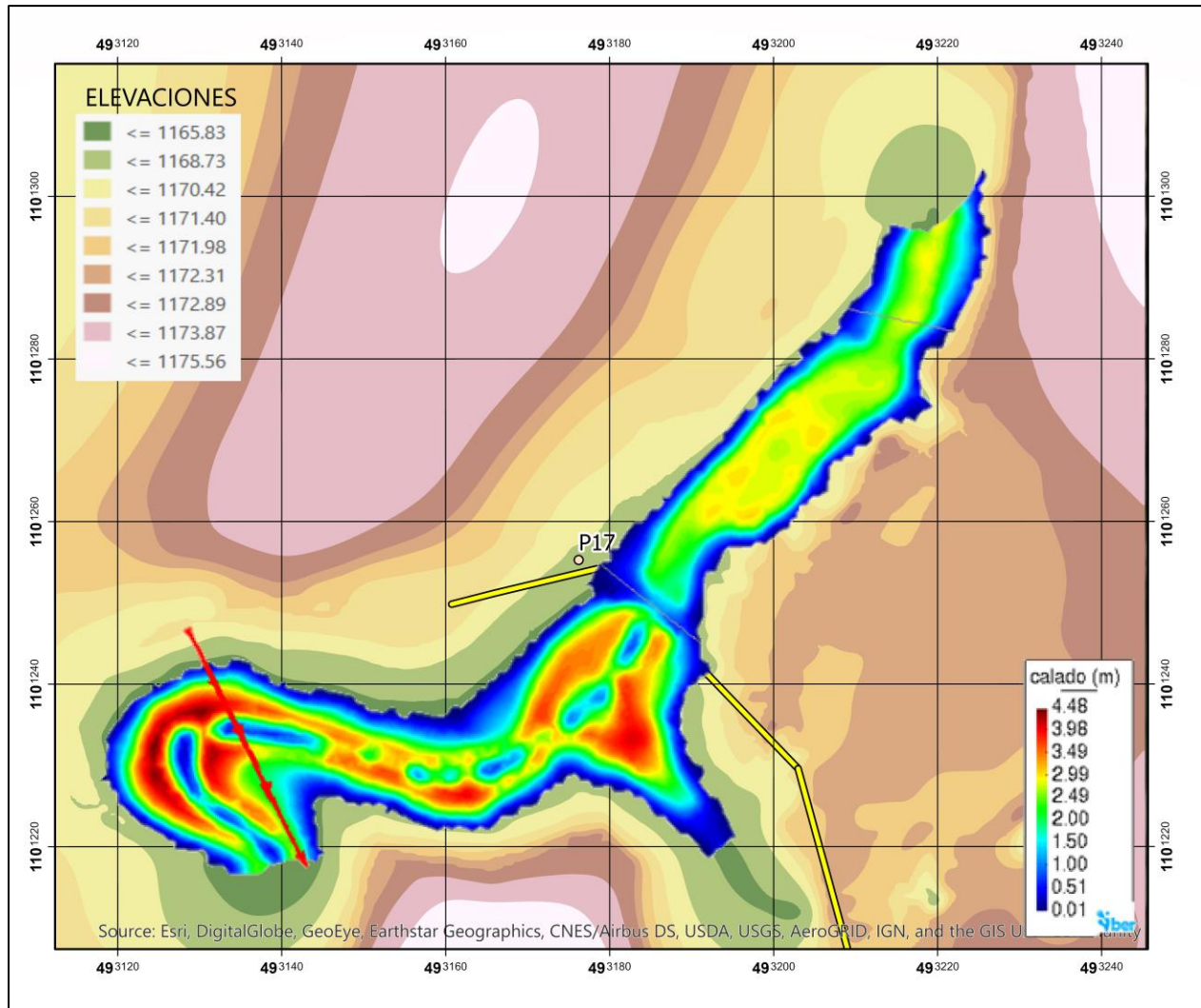


Figura 7. Calado del Modelo hidrológico T=50 para el paso P17 con respecto a ubicación de tubería

Según el trazado de la tubería y la topografía suministrada, no existe riesgo de inundación en las zonas donde pasa la tubería. Se debe considerar únicamente la protección de la misma en el paso de la sección 2, en caso de que el río arrastre piedras de gran tamaño o árboles que comprometan su integridad física.

Modelo Cuenca P19

En la siguiente imagen se muestran los resultados obtenidos para los 3 modelos ejecutados en la cuenca P19 de la quebrada Cancrejos.

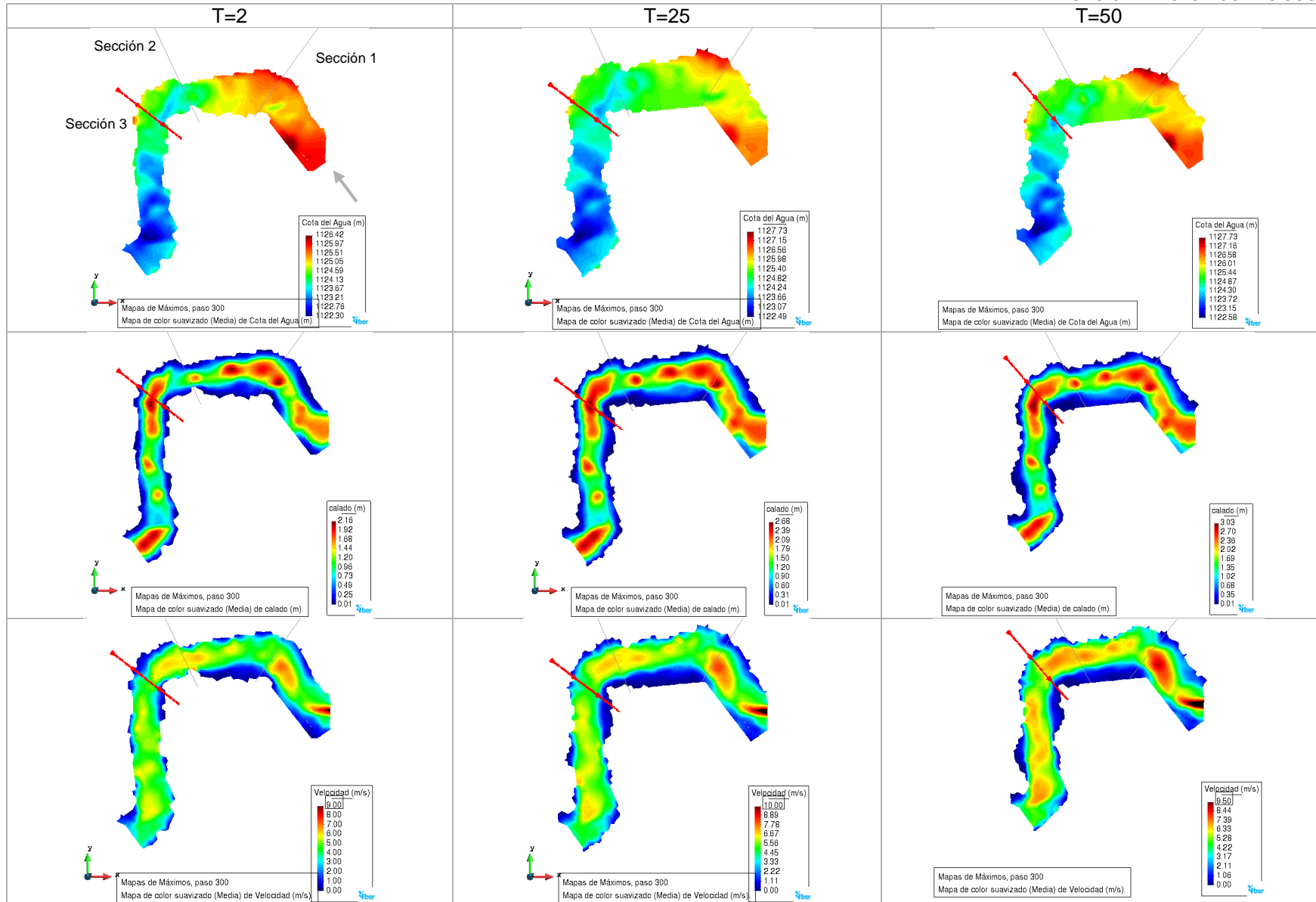


Figura 8. Resultados del modelo hidrológico para el paso P19



Se definieron tres secciones relevantes para el análisis de la lámina de agua en los modelos. La sección 1 se ubicó a la entrada del modelo, aguas arriba de la ubicación de la tubería. Las secciones 2 y 3 se encuentran en puntos donde la tubería está más cercana al cauce.

En la segunda fila de la figura anterior se observa la variación de la profundidad del agua correspondiente a los caudales de cada periodo de retorno analizado. En las secciones 1 y 3 se presentan valores máximos de profundidad de 2.16m, 2.68m y 3.03m para los modelos $T=2$, $T=25$ y $T=50$, respectivamente. En la sección 2 se presentan profundidades de 1.2m, 1.5m y 2.3m para cada modelo.

El perfil de velocidades para el modelo $T=2$ indica una velocidad media de 4.5m/s, con valores más elevados de 6m/s en las secciones 1 y 2. En el caso del modelo $T=25$ la velocidad media aumenta a 5.5m/s y en las secciones 1 y 2 se presentan valores de 7.7m/s y 6.6m/s en cada caso. Para el último modelo, la velocidad media aumenta a aproximadamente 5.7m/s y se observan valores de entre 7-8m/s en las secciones 1 y 2.

En la Figura 9 se muestra el perfil trazado para la sección 1. Se obtienen elevaciones de la lámina de agua de 1126.15msnm, 1126.67msnm y 1127.48msnm para los correspondientes modelos de $T=2$, $T=25$ y $T=50$.

La margen izquierda corresponde a la distancia 0m. En este punto el alcance de la topografía no permite identificar el límite de la lámina de agua para $T=25$ y $T=50$; sin embargo, no corresponde a un punto importante para analizar el riesgo de la tubería.

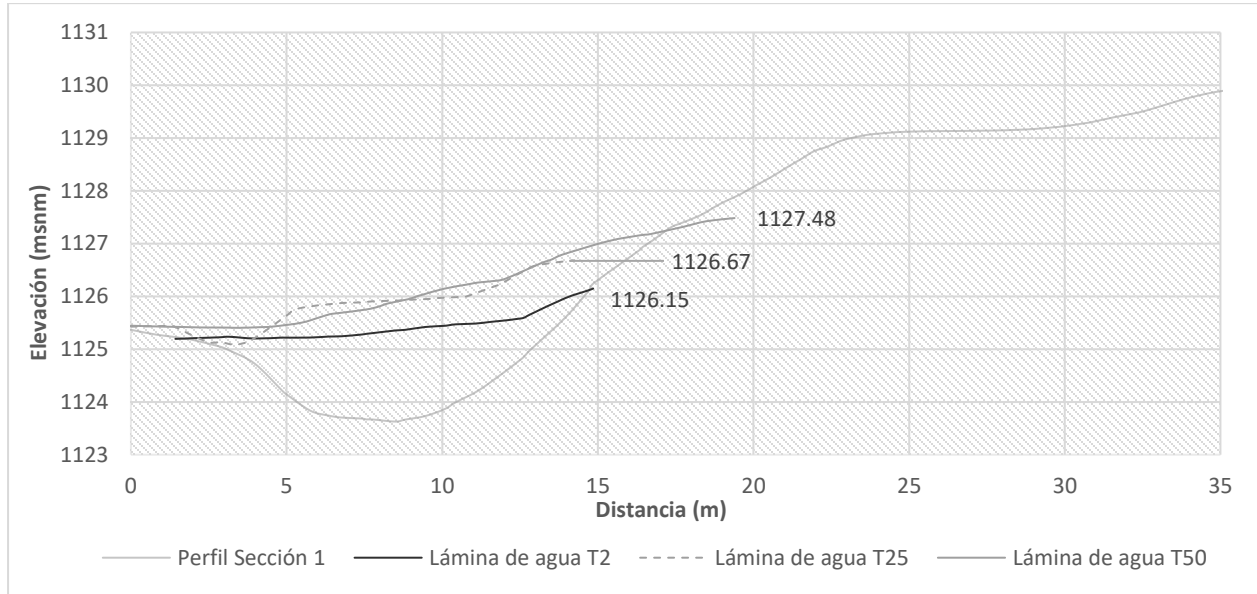


Figura 9. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P19

La sección 2 se detalla en la siguiente figura. Desde el punto de 0m se dibuja la margen derecha del río, lado donde se encuentra el trazado de la tubería. La lámina de agua alcanza una elevación de 1124.12msnm para el modelo del caudal asociado a un periodo de retorno de 2 años. Para el modelo T=25, se tiene una lámina de agua de hasta 1125.05msnm y para T=50 alcanza los 1125.36msnm.

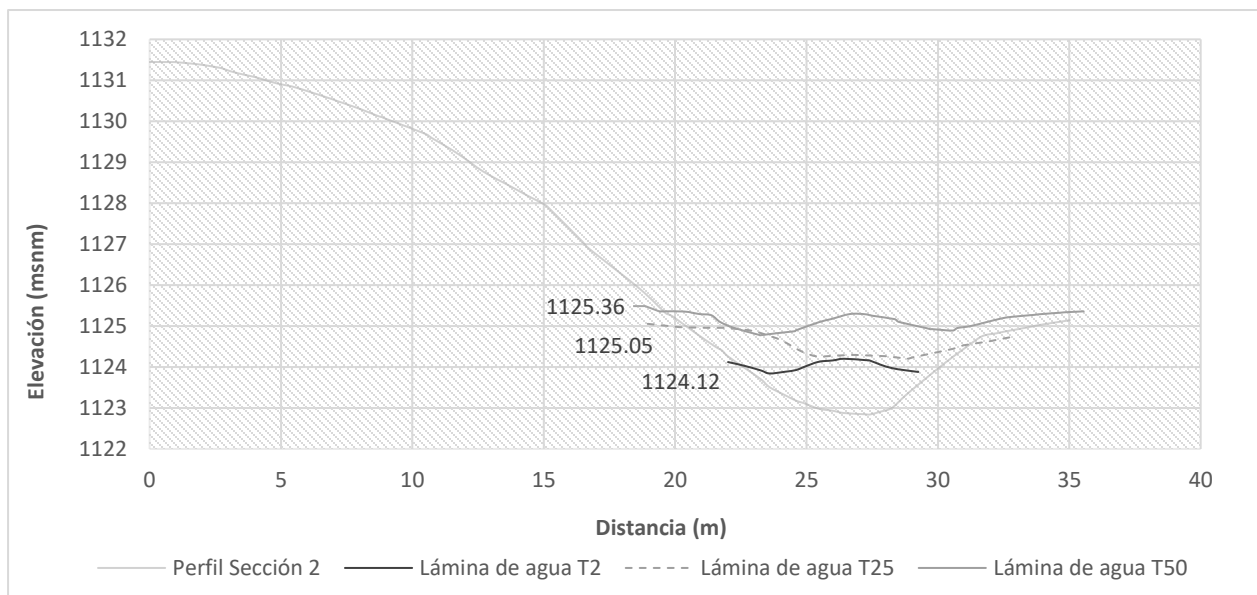


Figura 10. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P19



En la siguiente imagen se muestra el perfil de la sección 3. La margen derecha va a partir de los 0m. En este caso la lámina de agua alcanza los 1124.9msnm, 1125.4msnm y 1126.22msnm para los respectivos modelos T=2, T=25 y T=50.

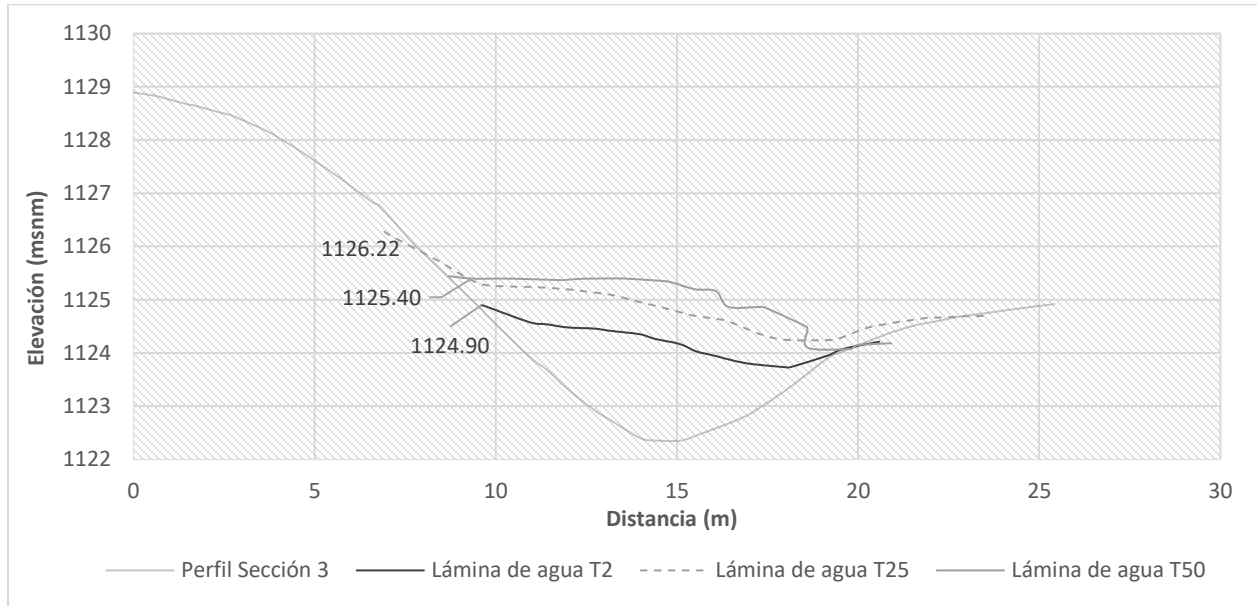


Figura 11. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P19

La sección 3 es el punto más crítico de los modelos, debido a que la lámina de agua alcanza la ubicación de la tubería en mayor amplitud y se presentan velocidades altas en la línea central del río.

En la siguiente figura se puede apreciar cómo la lámina de agua para los tres modelos alcanza la ubicación de la tubería, por lo que debe tomarse en cuenta la elevación máxima del nivel del agua en su colocación.

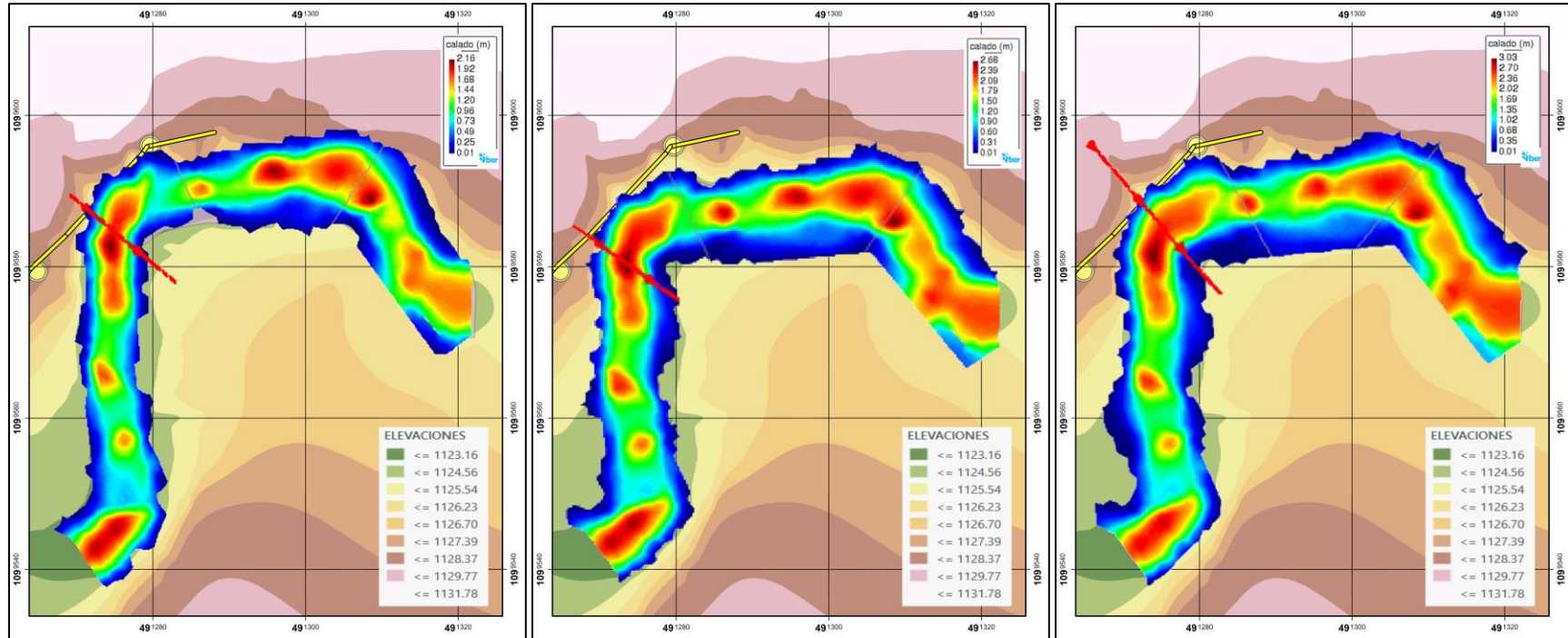


Figura 12. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P19 con respecto a ubicación de tubería



Modelo Cuenca P16

Se modeló el comportamiento del río Cucubres para un caudal asociado a los periodos de retorno de 2, 25 y 50 años. Se analizaron dos secciones relevantes, debido a que están más cerca del trazado de la tubería.

La profundidad del agua varía significativamente para cada caudal modelado. Para el periodo de retorno de 2 años, la profundidad máxima en la sección 1 es de 1.4m, mientras que para $T=25$ es de 2.5m y aumenta a 2.7m para el caudal asociado a $T=50$. En la sección 2 se perciben profundidades mayores, de máximo 1.6m, 2.7m y 3m para $T=2$, $T=25$ y $T=50$, respectivamente.

En el perfil de velocidades se observa que los valores son elevados, ya que para el caudal formativo se tienen velocidades de 4.7m/s a lo largo de la línea central del río, con máximos en la sección 2, de 5.3m/s. para el periodo de retorno de 25 años, se dan velocidades de hasta 5.5m/s en la sección 2 y la velocidad media en la línea central del río es de aproximadamente 4.6m/s. en el caso de $T=50$, la velocidad media alcanza los 5.1m/s, con valores de hasta 5.4m/s en las secciones analizadas.

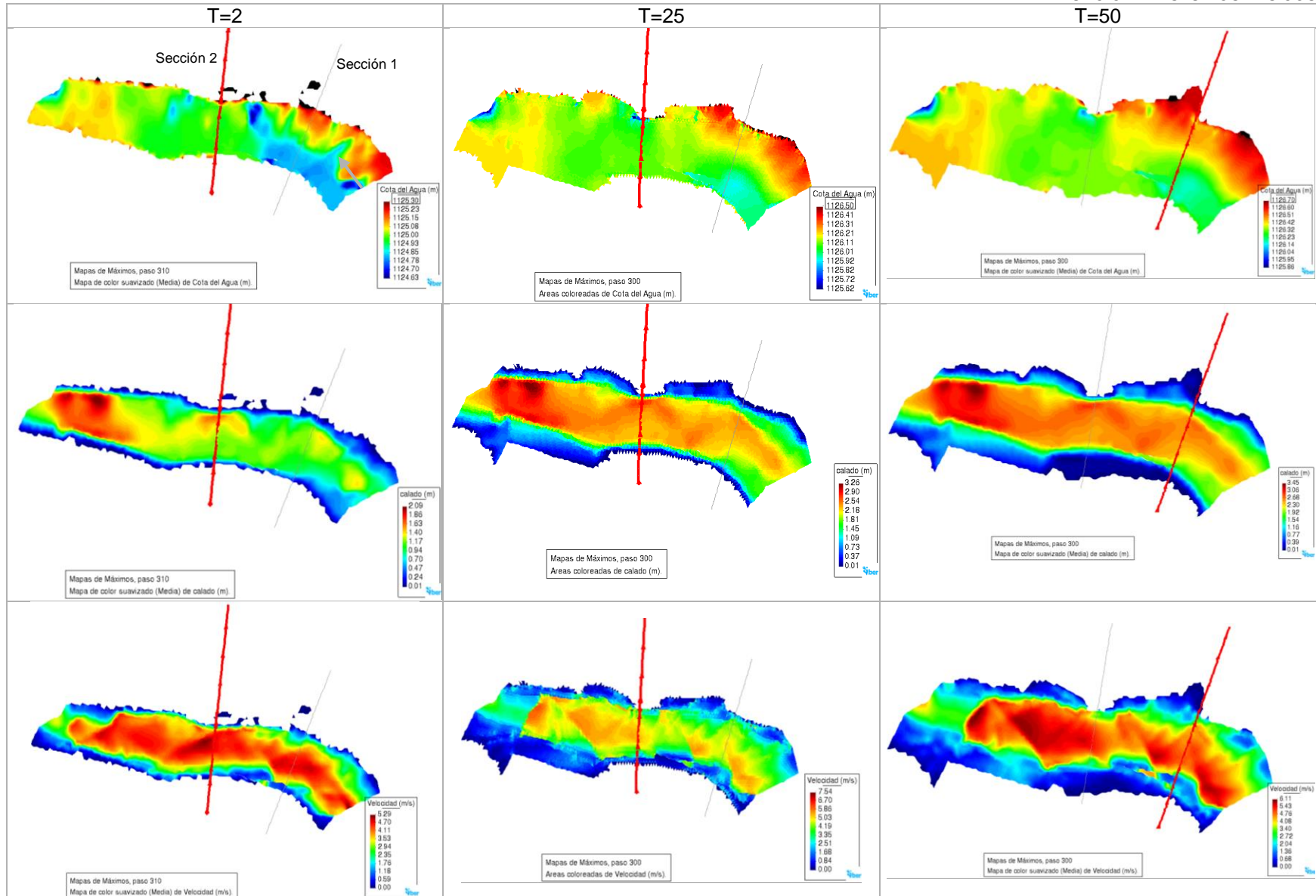


Figura 13. Resultados del modelo hidrológico para el paso P16



En la Figura 14 se dibuja el perfil de la sección 1. La lámina de agua máxima, correspondiente al caudal en T=50, es de 1126.63msnm, disminuyendo 0.27m en el caso del caudal en T=25 y el valor para el caudal formativo es de 1125.15msnm. El lado derecho del gráfico corresponde a la margen derecha del río y se observa que la lámina de agua máxima sale ligeramente del cauce, lo cual se puede apreciar mejor en la Figura 15.

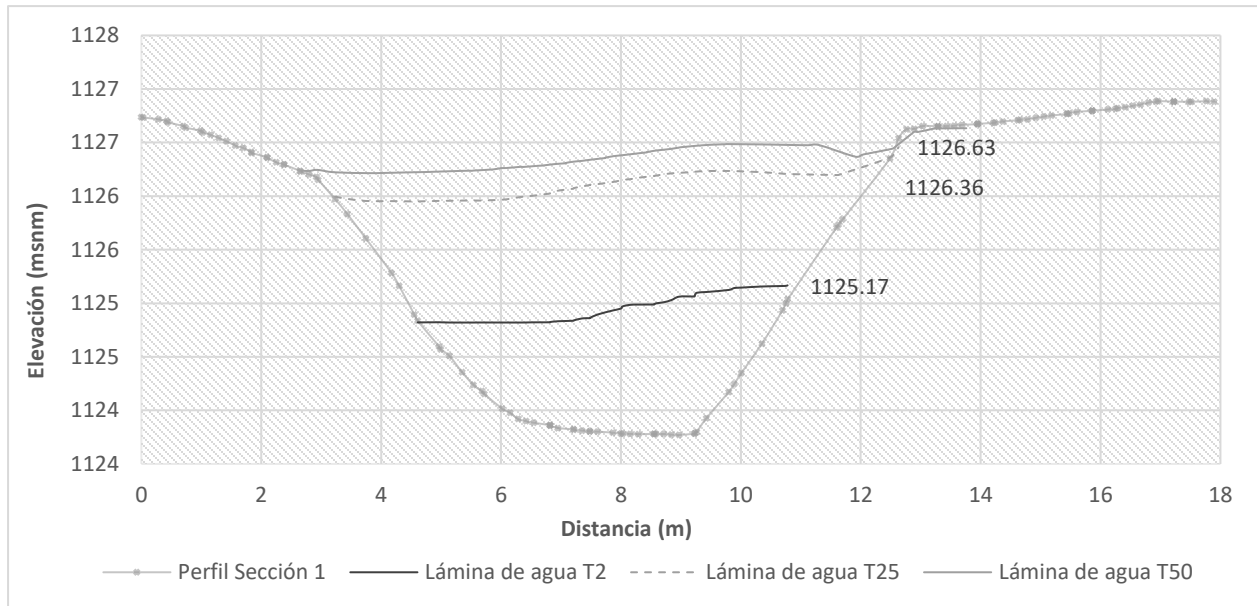


Figura 14. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P16

En la siguiente imagen se observa el alcance de la lámina de agua con respecto a la ubicación de la tubería. Para los caudales correspondientes a T=25 y T=50, el agua llega hasta el trazado de la tubería en el tramo entre las secciones 1 y 2 con una profundidad máxima de 0.4m.

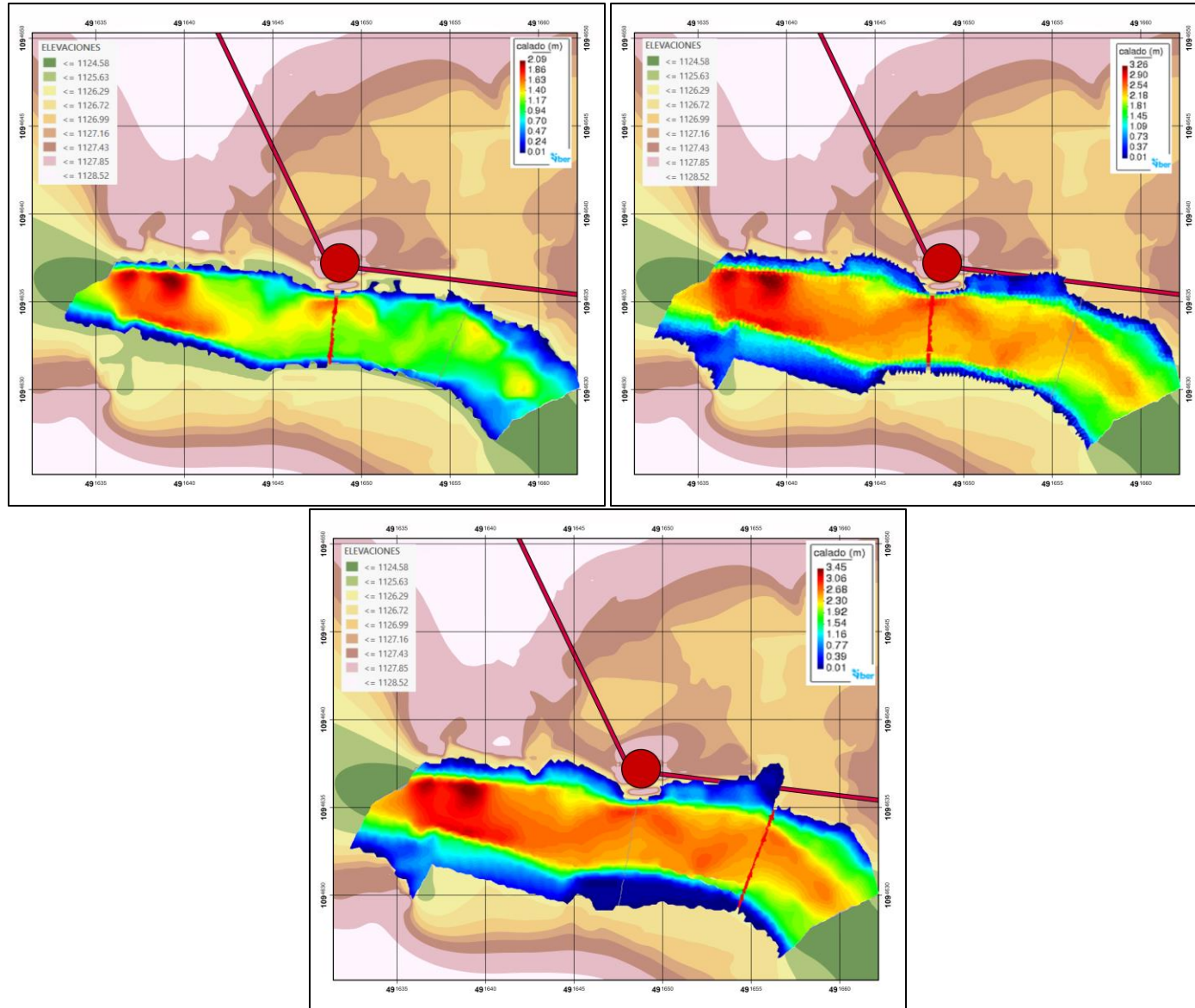


Figura 15. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P16 con respecto a ubicación de tubería



Para la sección 2, la lámina de agua disminuye unos centímetros con respecto a la sección 1 en el caso de T=25 y T=50, con valores de 1126.17msnm y 1126.54msnm. Para T=2 la lámina de agua alcanza los 1125.44msnm.

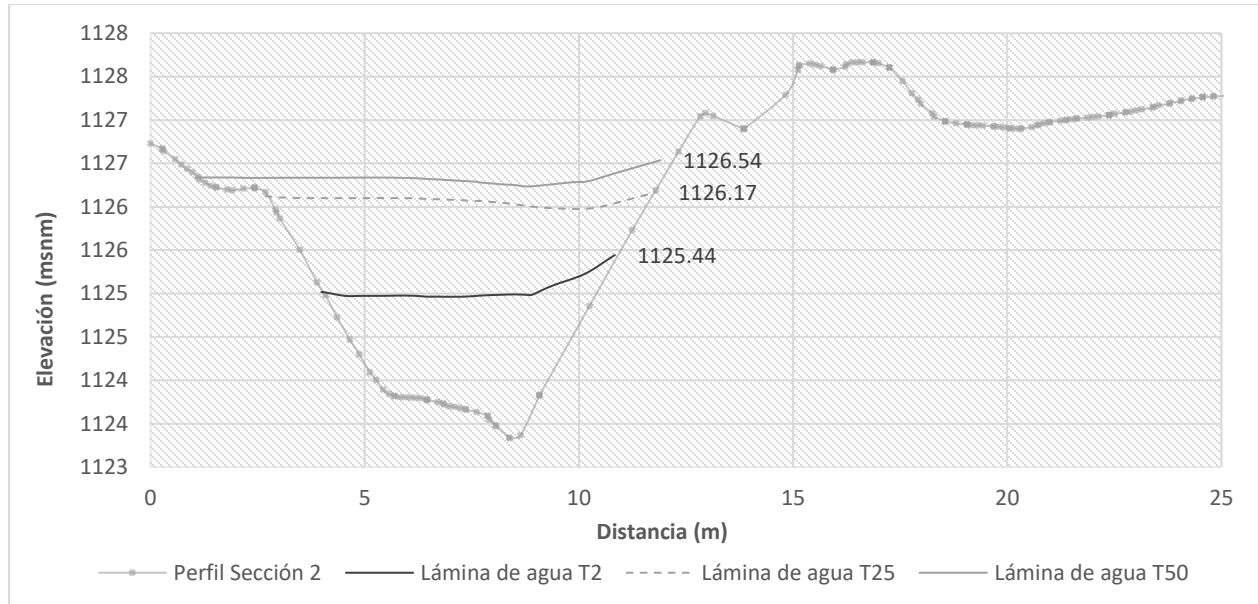


Figura 16. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P16

Modelo Cuenca P15

Los resultados obtenidos para los modelos de la cuenca del río Damas en el punto P15 se muestran en la Figura 17. Se seleccionaron tres secciones según la ubicación de la tubería, con el fin de trazar los perfiles y analizar con más detalle el alcance de las láminas de agua.

Según el perfil de velocidades, el modelo no permite determinar las velocidades en la primera mitad del trayecto, debido a que la velocidad de entrada no se estabiliza en la longitud de la topografía suministrada; sin embargo, en la sección 3 se perciben velocidades de entre 4.3m/s a 8.9m/s para los modelos T=2 y T=50, respectivamente. El modelo más estable es el T=25, donde se puede definir una velocidad promedio de la línea central del cauce de 5.7m/s.

Con respecto a las profundidades, se determinan dos secciones de valores máximos en los cortes 2 y 3, con valores de hasta 2.9m, 4.3m y 4.6m en los correspondientes modelos T=2, T=25 y T=50. En la sección 1 se presentan profundidades menores de entre 1.95m (T=2) y 3m (T=50) en la línea central del cauce y de 1.3m a 2.05m en la margen derecha de la sección.

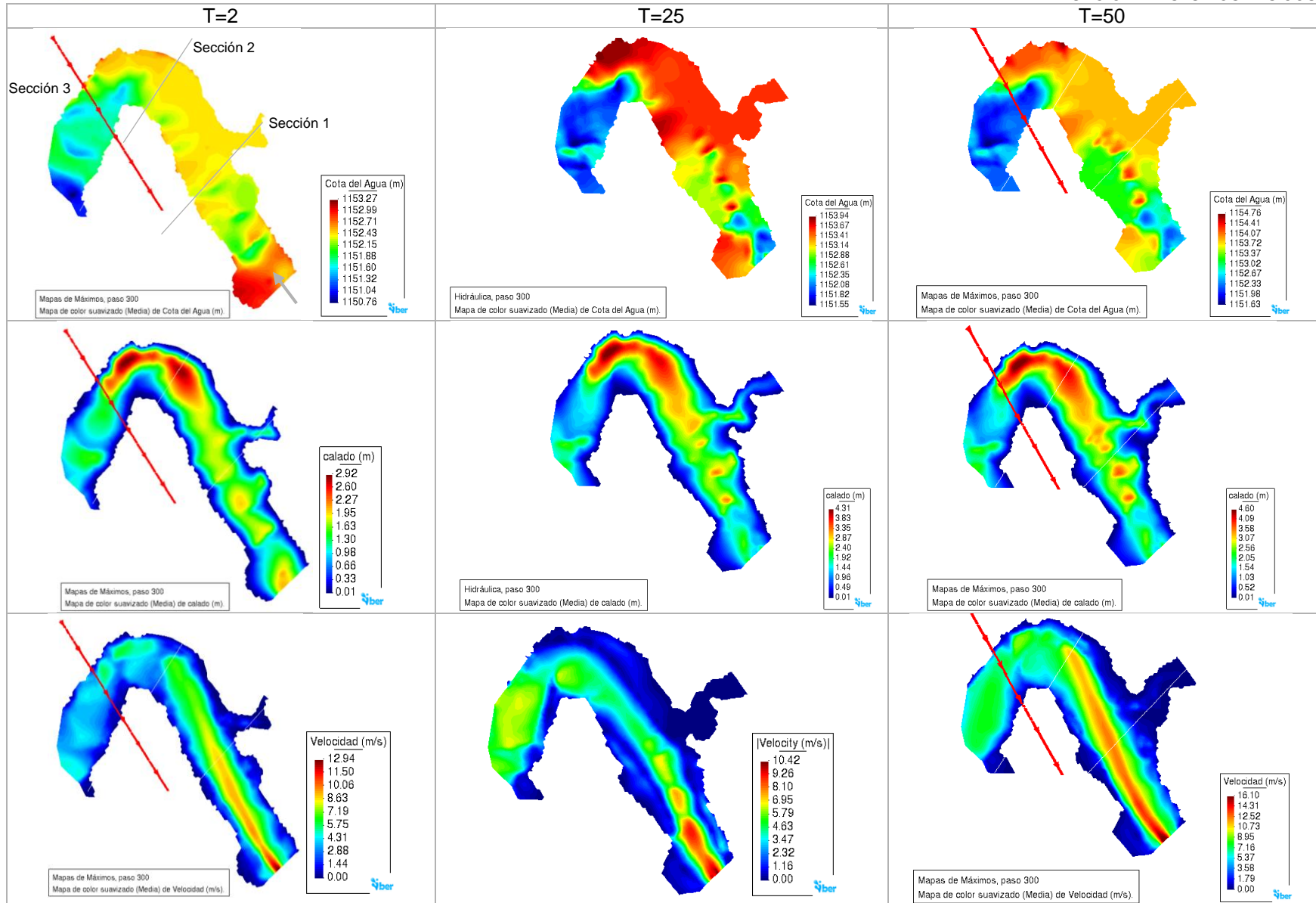


Figura 17. Resultados del modelo hidrológico para el paso P15

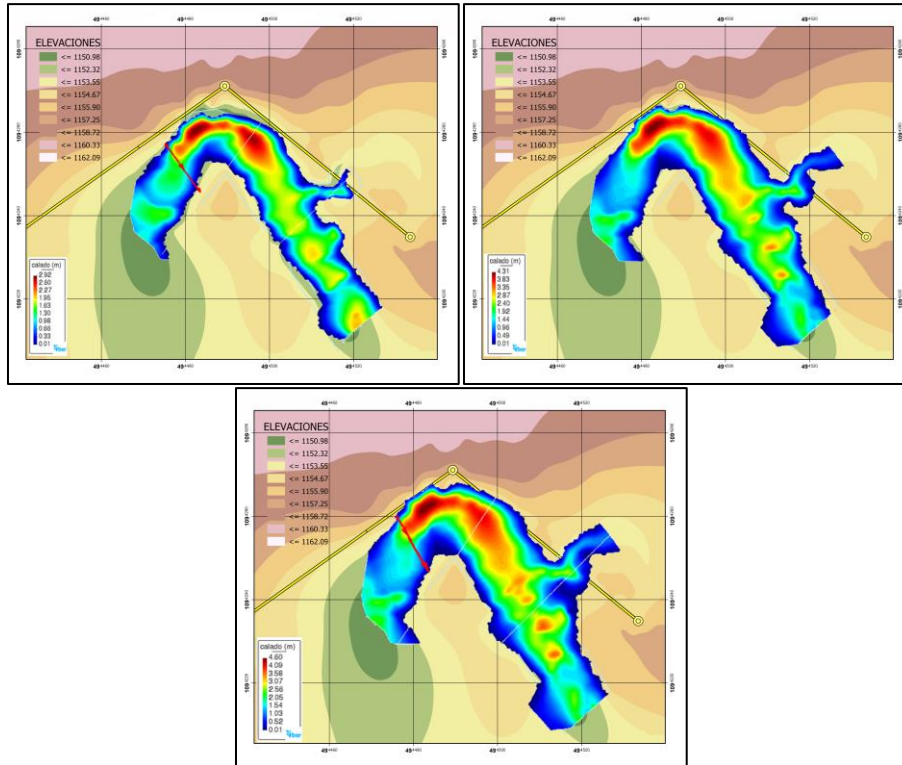


Figura 18. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P15 con respecto a ubicación de tubería

Según la imagen anterior, se observa que el nivel del agua alcanza el trazado de la tubería en la margen derecha en el tramo definido entre las secciones 1 y 3. Las profundidades son bajas, de hasta 0.5m, excepto en la sección 1, donde alcanza los 2.05m como se mencionó anteriormente.

En los gráficos de las siguientes figuras se puede apreciar el perfil de cada sección y las elevaciones de las láminas de agua para cada modelo.

En la sección 1, como se muestra en la Figura 19, se define una elevación máxima de la lámina de agua de 1153.83msnm, seguido por una elevación de 1153.57msnm para el modelo T=25 y 1152.44msnm para los caudales formativos.

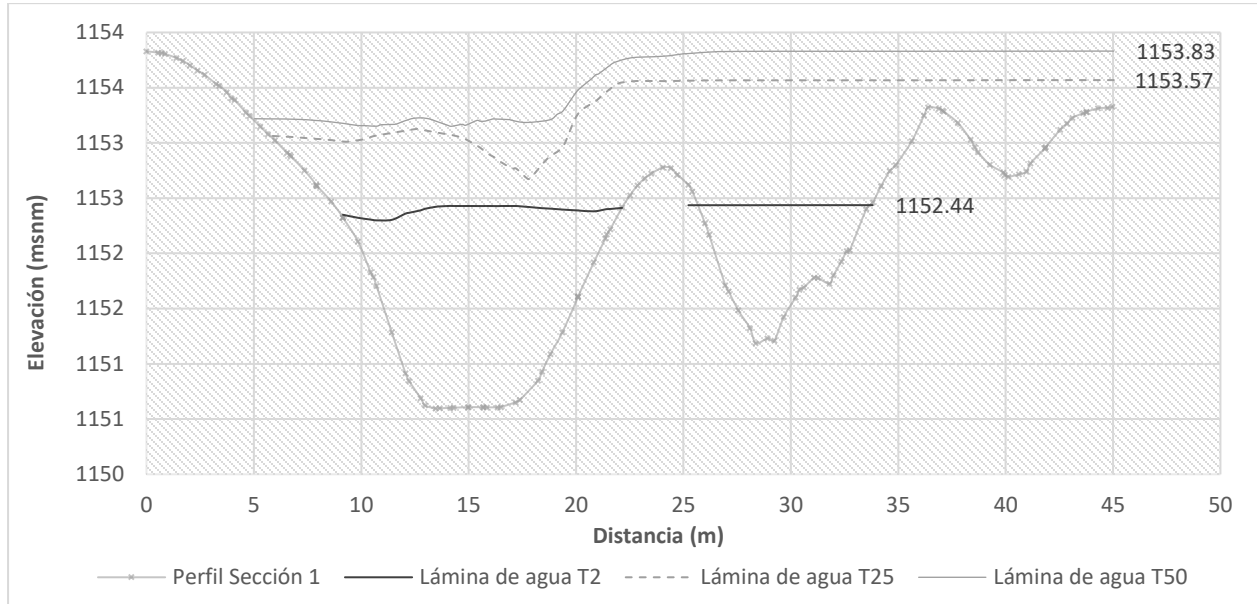


Figura 19. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P15

En la siguiente imagen se traza el perfil de la sección 2, donde el agua alcanza la misma elevación máxima que en la sección 1 para $T=50$. La lámina para $T=25$ sólo disminuye en 0.15m y para el periodo de retorno de 2 años, el nivel de agua llega a 1152.47msnm.

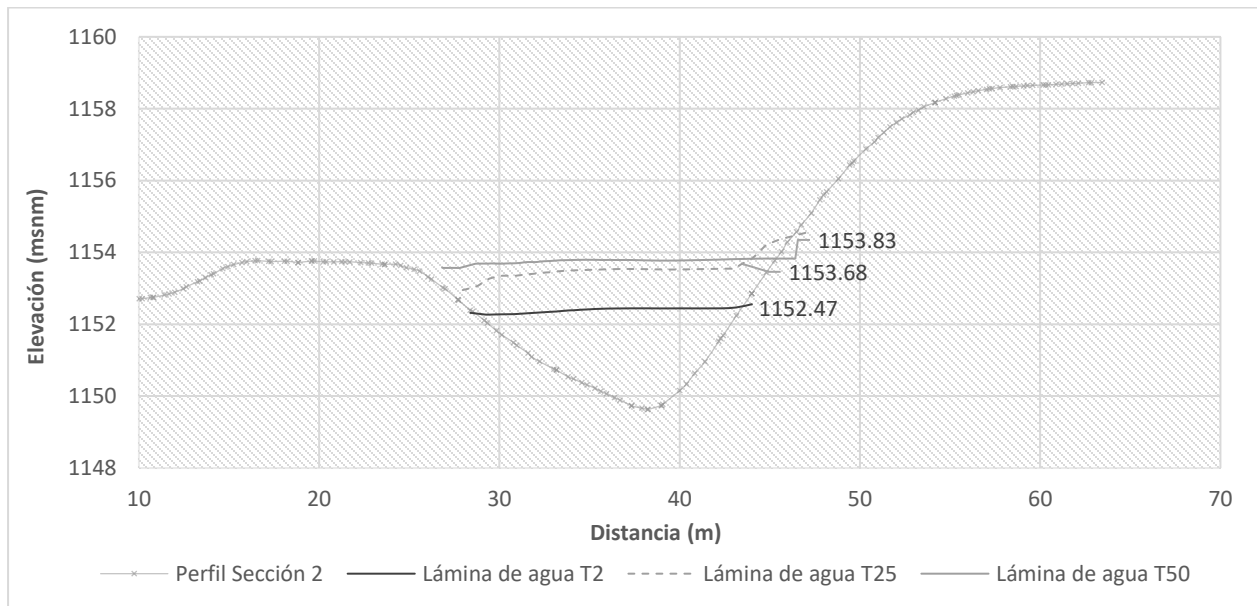


Figura 20. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P15

Finalmente, en la sección 3 se tiene una elevación máxima de la cota del agua de 1154.23msnm, seguido por un valor de 1153.85msnm y 1152.71msnm para los periodos de retorno de 25 y 2 años, respectivamente.

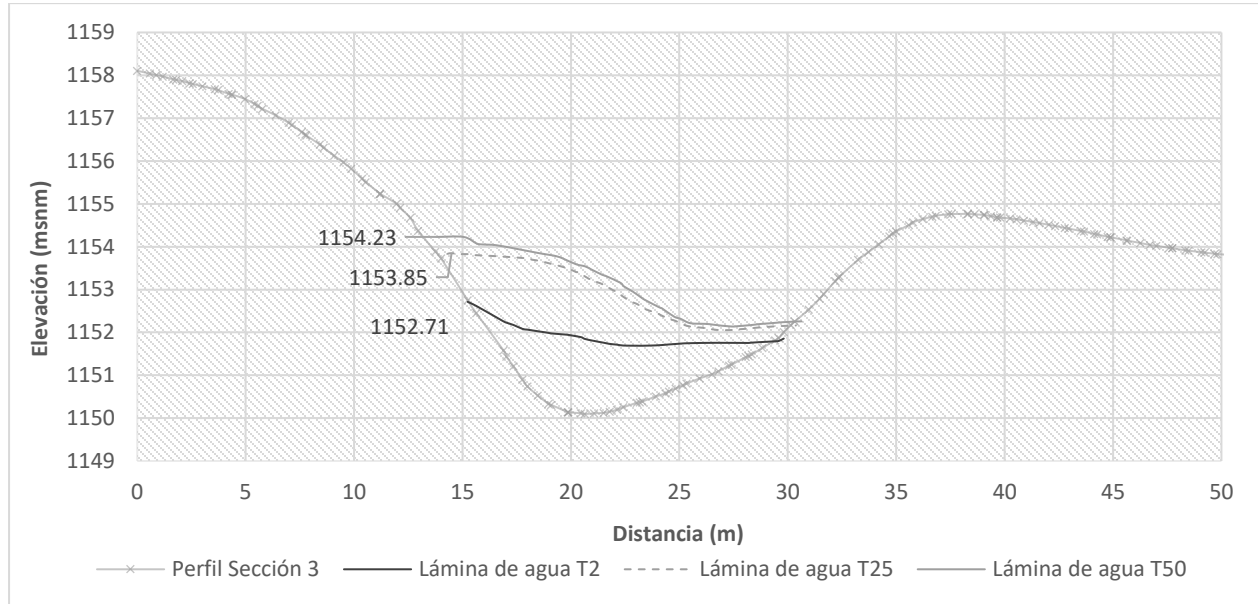


Figura 21. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 3 del Modelo hidrológico para el paso P15

Modelo Cuenca P3

Para la cuenca P3 en el río Torres se definieron 3 secciones de interés. La primera corresponde al paso de la tubería sobre el río, la segunda es en el tramo donde la tubería va paralela al río, en el punto donde se encuentra más cerca al cauce. La última sección es a la salida del modelo.

En la Figura 22 se muestran los resultados obtenidos para los modelos de la cuenca P3 en los tres periodos de retorno analizados. En la segunda fila se encuentran las profundidades en cada punto del tramo suministrado en la topografía. Se percibe un segmento más profundo antes de llegar a la sección 1 y luego el río presenta una profundidad más uniforme en el resto de la longitud. Para el modelo $T=2$, la profundidad máxima es de 5.7m a la entrada del modelo. En la sección 1 llega hasta aproximadamente 3.17m, al igual que en la sección 3, mientras que en la sección 2 se alcanza un valor de 1.9m. Para el modelo $T=25$, el valor máximo alcanza los 6.95m. la profundidad en el resto del modelo se homogeneiza, con un valor medio en la línea central de 3.4m. En el último modelo, se estima una profundidad media a lo largo del cauce de 3.6m, con valores máximos de hasta 7.19m aguas arriba de la sección 1.

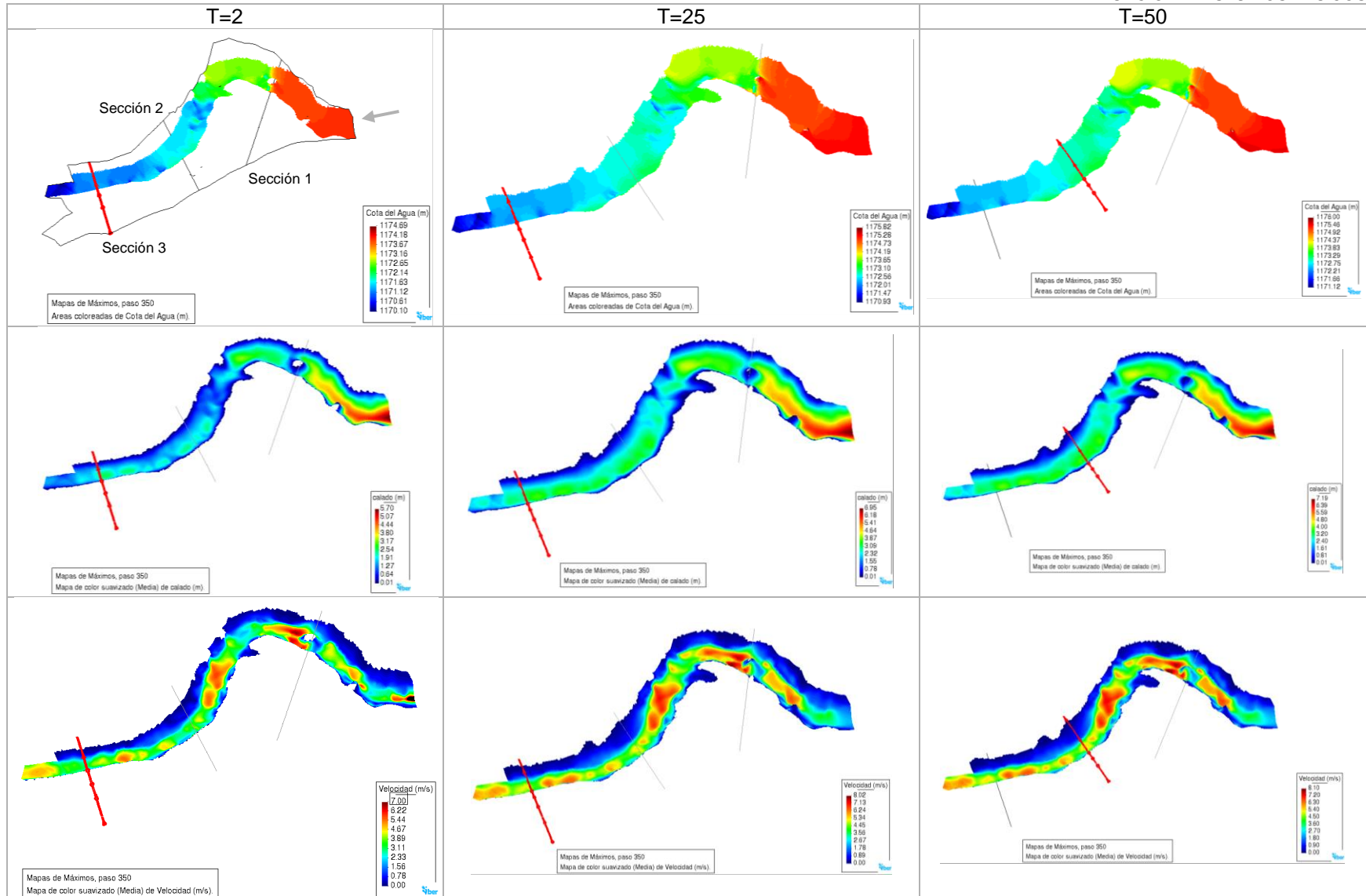


Figura 22. Resultados del modelo hidrológico para el paso P3



El perfil de velocidades señala varias secciones con valores altos, especialmente entre las secciones 1 y 2. Con respecto al modelo T=2, en la sección 1 se dan los valores máximos, aguas abajo del paso de la tubería, de hasta 7m/s, debido a la contracción en dicha sección. En la sección 2 se percibe un valor máximo de 4.3m/s y en la sección 3 las velocidades rondan los 3.5m/s. Para el modelo asociado a un periodo de retorno de 25 años, los valores máximos se dan en el mismo punto y son de hasta 8m/s. La velocidad aumenta a unos 5m/s en las secciones 2 y 3. Finalmente, para el modelo T=50, la velocidad máxima es de 8.1m/s y se observan muchas áreas con velocidades de 6m/s, tal como en la sección 2. En este caso la sección 3 percibe valores de hasta 4.5m/s.

En el siguiente gráfico se traza el perfil del río de la sección 1 y las láminas de agua alcanzadas en cada modelo. La distancia 0m corresponde a la margen izquierda. En esta sección se traza el paso de la tubería, por lo que es de suma importancia considerar la elevación máxima de la cota del agua, a 1175.3msnm. En esta sección debe protegerse la tubería con una estructura para evitar daños ocasionados por material u objetos que arrastre el río en una creciente.

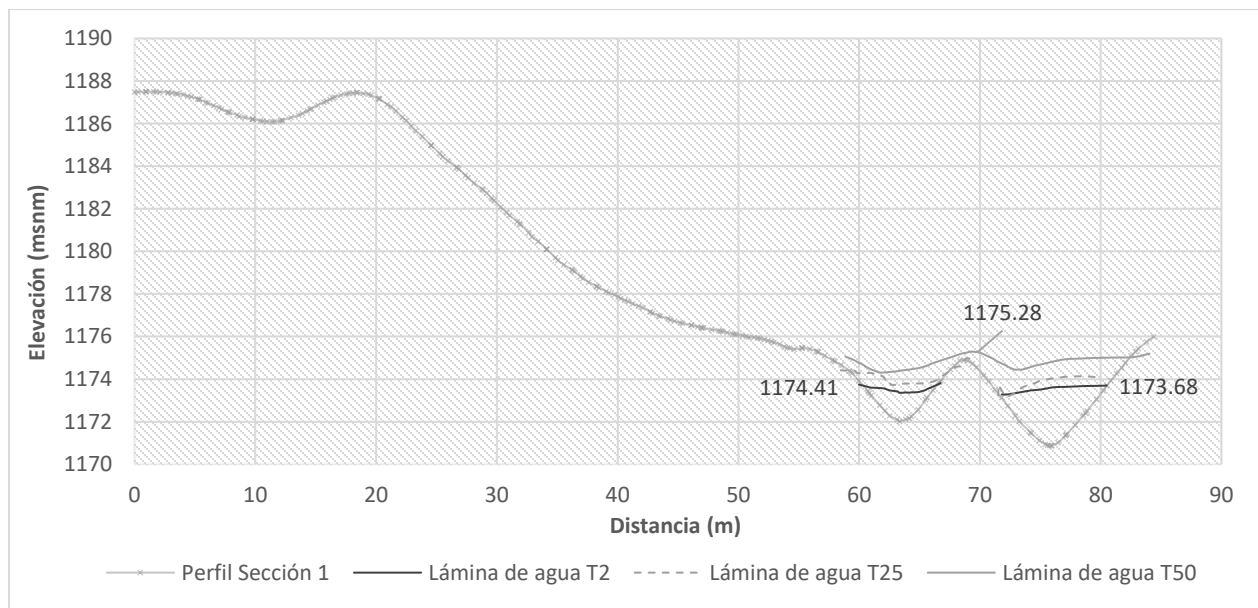


Figura 23. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P3

El perfil de la sección 2 se observa en la siguiente figura. El trayecto de la tubería en este punto es paralelo al río en la margen izquierda (distancia 0m). La elevación de la lámina de agua varía 1.5m entre los caudales para los modelos T=2 y T=50, con valores de 1172.1msnm y 1173.6msnm, respectivamente. El nivel del agua para el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 25 años llega a 1172.74msnm.

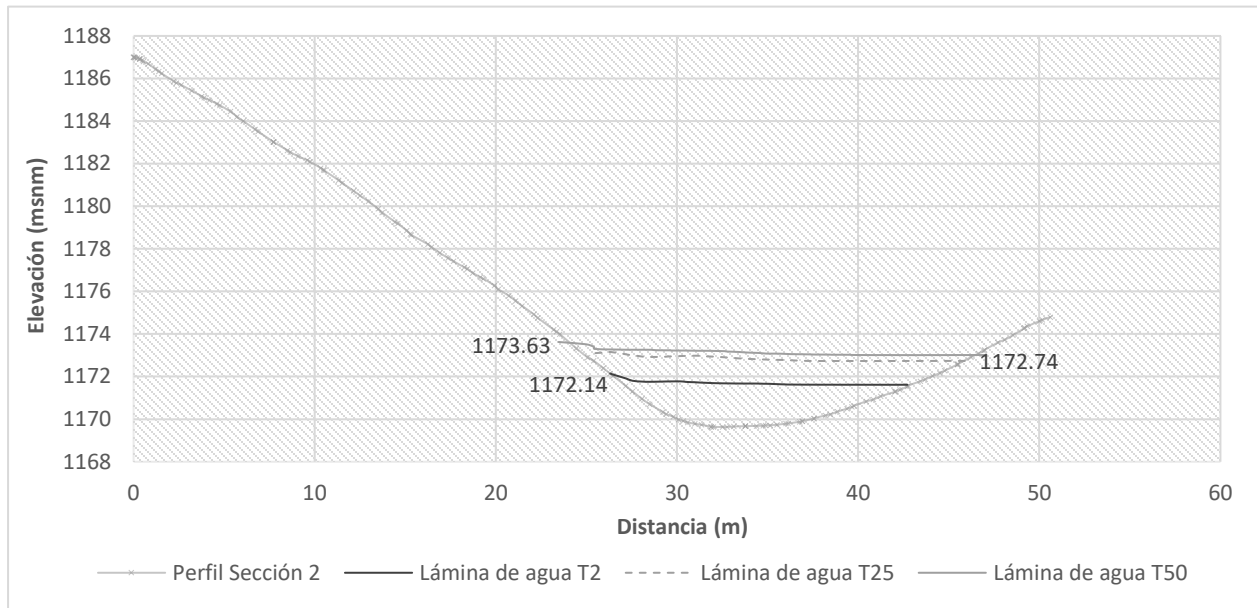


Figura 24. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P3

En la sección 3, tal como se observa en la Figura 25, el río llega a una elevación de 1171.36msnm para T=2, aumentando a 1172.29msnm y a 1173.22msnm en el caso de T=25 y T=50.

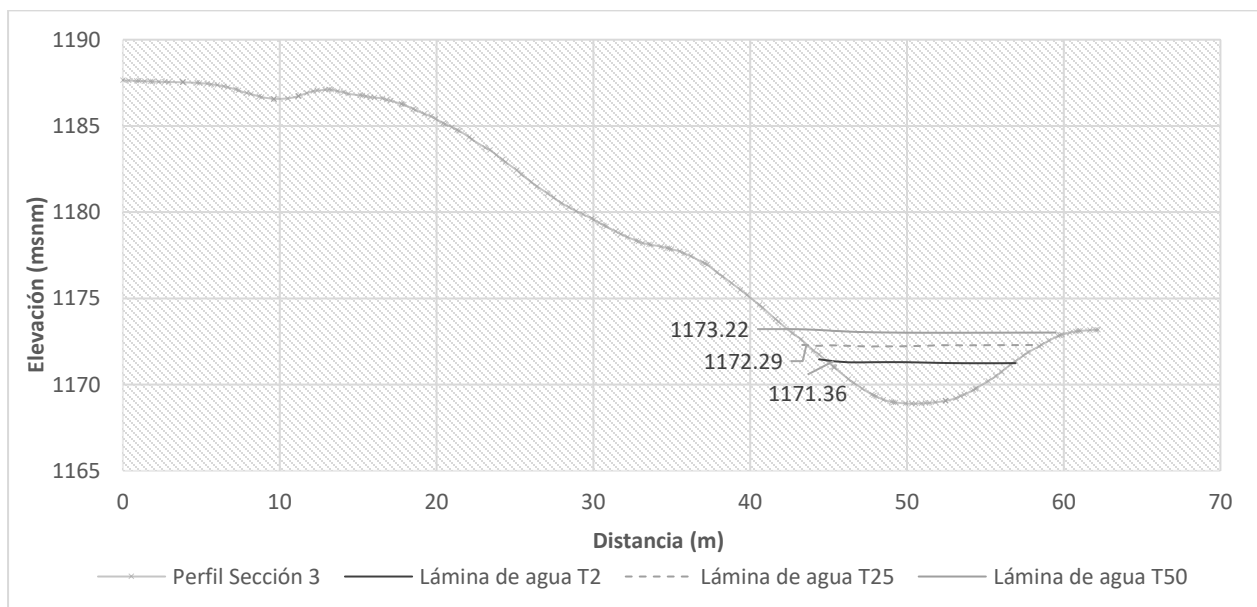


Figura 25. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P3

La siguiente imagen muestra los modelos realizados con respecto a la ubicación de la tubería. Se observa que en las secciones 2 y 3 la lámina del agua no alcanza la ubicación de la tubería, por lo que no hay riesgo de ser afectada en una creciente en estos puntos. Como se mencionó

anteriormente, deben tomarse las medidas necesarias en la sección 1 para proteger la integridad de la tubería.

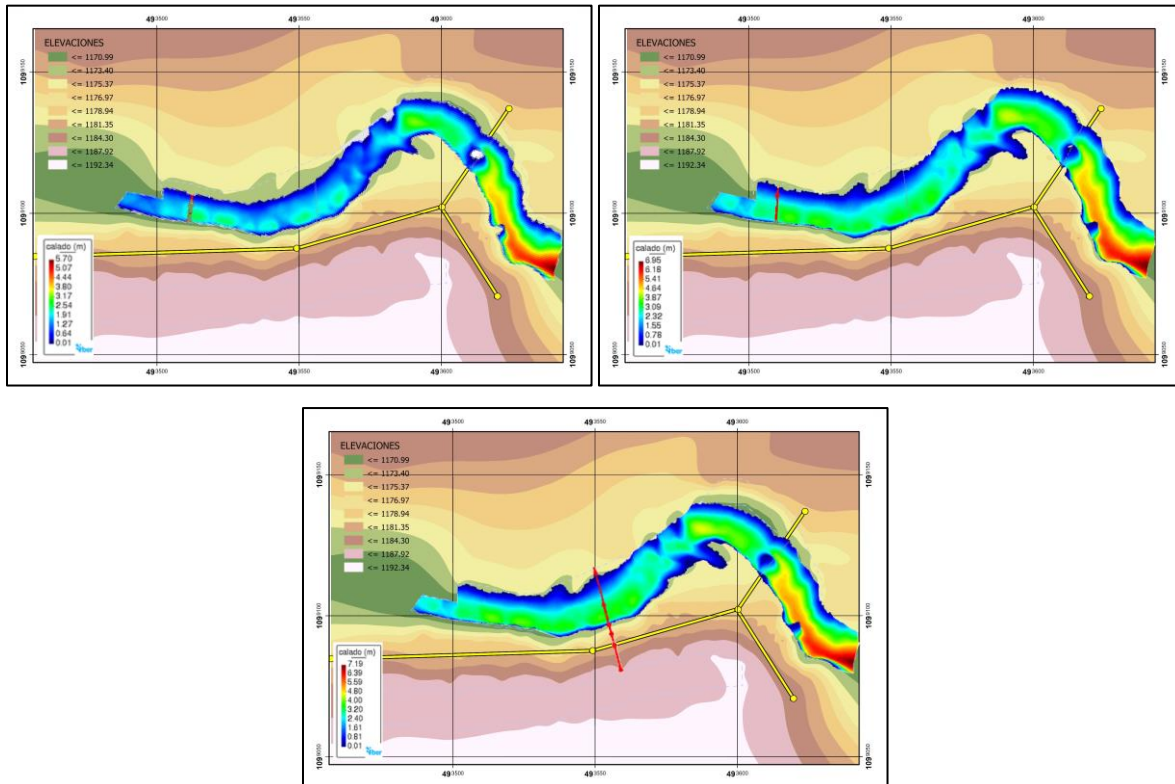


Figura 26. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P3 con respecto a ubicación de tubería

Modelo Cuenca P1

Los resultados de los modelos para la cuenca P1, específicamente en el río María Aguilar, se muestran en la Figura 27. Se escogieron tres secciones, que corresponden a los puntos más cercanos de la tubería al cauce del río.

Con respecto a las profundidades obtenidas, se puede observar que en los modelos hay un tramo (representado por la sección 1), en el que se dan valores máximos de hasta 8.8m, el cual es un valor muy alto en comparación con el perfil restante del río, ya que las profundidades en la línea central del cauce se estiman en 4.4m para T=50. Para T=2, el máximo es de 7.87m y el calado medio estimado es de 4m. En el caso del modelo T=25, se presentan máximos de 8.65m y una media estimada de 4.3m.

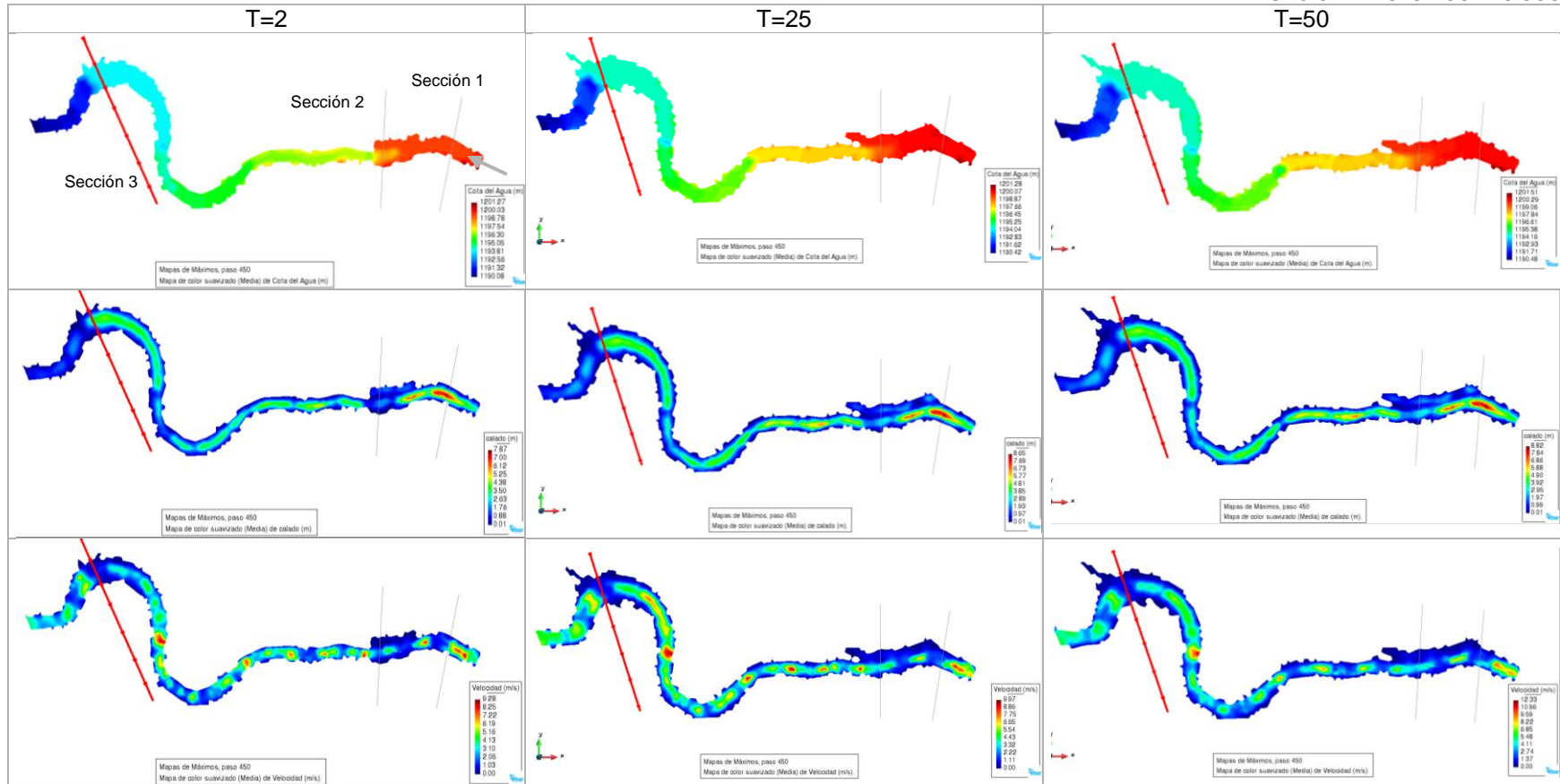


Figura 27. Resultados del modelo hidrológico para el paso P1

En la siguiente imagen se aprecia mejor la topografía del cauce. Hay una diferencia de 17m entre la elevación más baja y la más alta, confirmando los altos valores en los calados del agua, ya que el cauce presenta laderas pronunciadas y profundas.

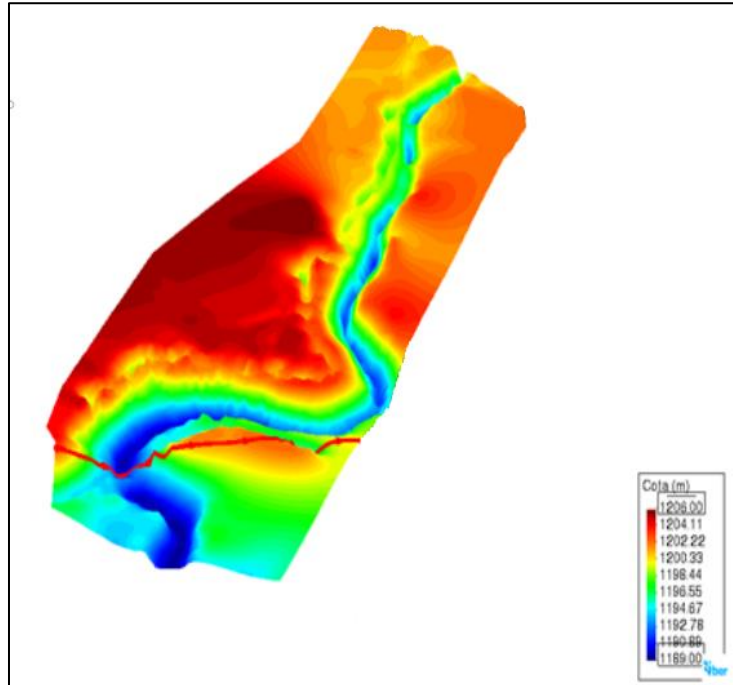


Figura 28. Topografía del modelo hidrológico para el paso P1

El perfil de velocidades muestra muchas variaciones a lo largo del río. Existen varios puntos máximos que disminuyen con el aumento del caudal. Se mantiene el punto medio entre meandros, aguas arriba de la sección 3, como punto de velocidad máxima, de entre 9-12m/s en los modelos. La velocidad predominante se aproxima en 4.1m/s para T=2, 4.4m/s para T=25 y 5.4m/s para T=50. En la sección 3 se perciben las velocidades más bajas, en un rango de 1-1.4m/s, abarcando todos los modelos.

En los siguientes gráficos se trazan los perfiles y láminas de agua para las tres secciones analizadas.

La lámina de agua en la sección 1 no alcanza el trazado de la tubería, tal como se observa en la Figura 32. La elevación máxima es de 1200.42msnm para el modelo T=50, seguido por los valores de 1200.15msnm y 1199.44msnm para los modelos T=25 y T=2, respectivamente.

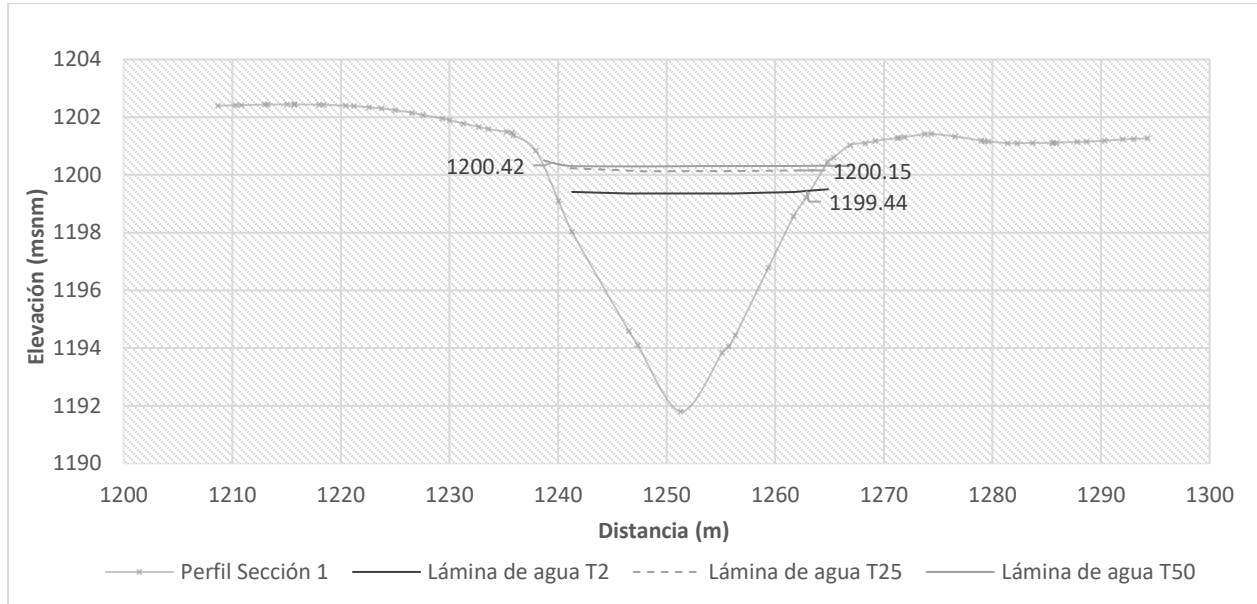


Figura 29. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 1 del modelo hidrológico para paso P1

Justo aguas debajo de la sección 1 y hasta la sección 2, la lámina del agua alcanza la ubicación de la tubería, por lo que en esta área deben considerarse las elevaciones máximas de la cota del río y garantizar la protección de la tubería. El agua llega hasta 1199.95msnm en la sección 2.

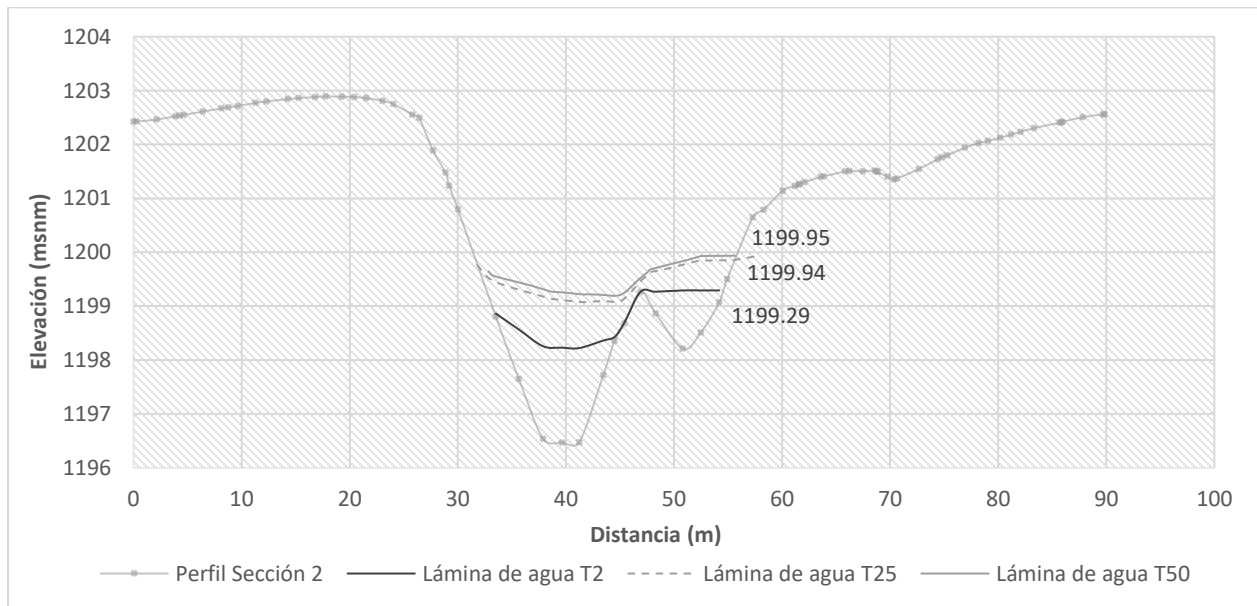


Figura 30. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 2 del modelo hidrológico para paso P1

En la sección 3 también se observa una extensión de la lámina de agua hasta el trazado de la tubería, donde la cota máxima es de 1194.77msnm. El calado que alcanza el trazado es menor a 0.97m.

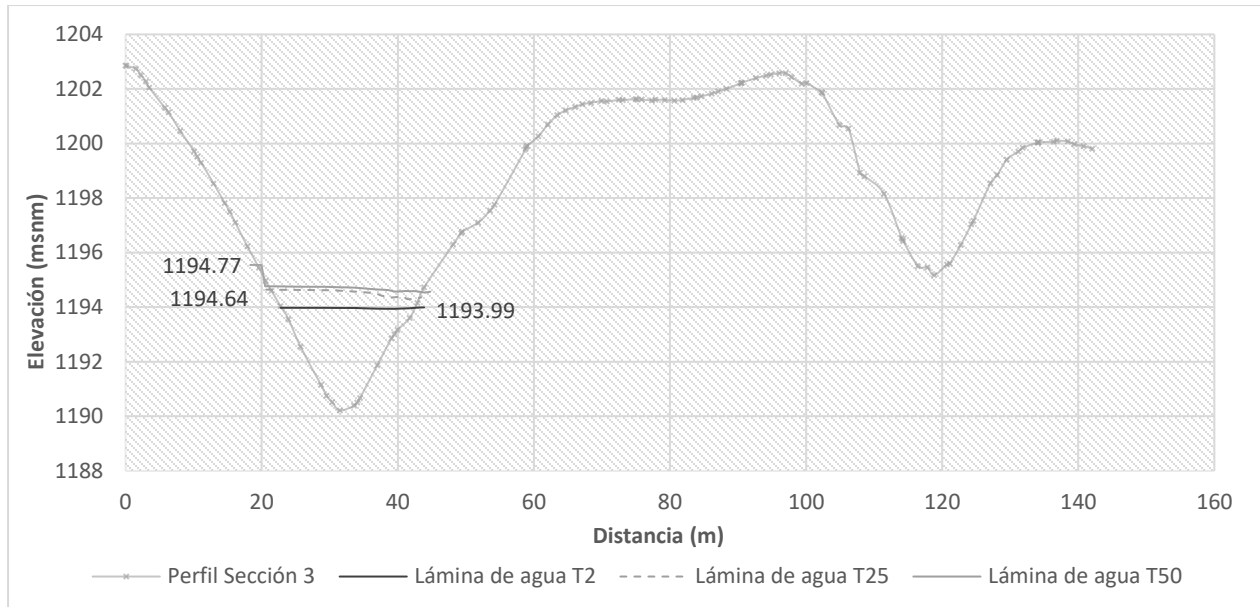


Figura 31. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del modelo hidrológico para paso P1

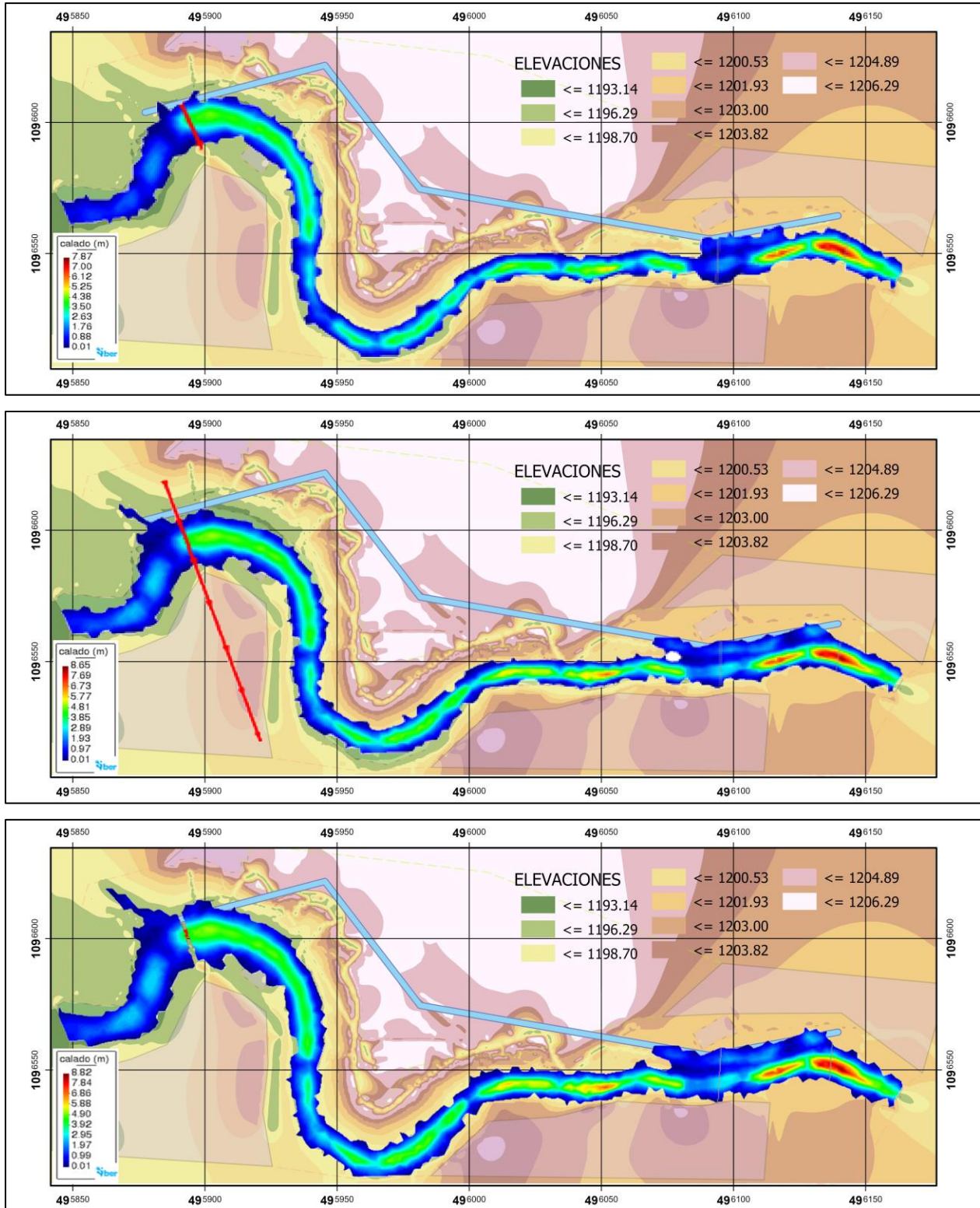


Figura 32. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P1 con respecto a ubicación de tubería

Modelo Cuenca P11

Para el paso P11 sobre el río María Aguilar se seleccionaron 4 secciones a lo largo del río. La primera es a la entrada del modelo, la segunda en el paso de la tubería sobre el río y las últimas dos representan un tramo extenso en el que el trazado de la tubería está muy cerca del cauce. En la margen derecha, entre las secciones 3 y 4, entra en el modelo el río Ocloro. En la Figura 34 se muestran los resultados de los tres modelos realizados.

Se observa que las profundidades son muy bajas desde el inicio del modelo hasta la sección 2, manteniéndose por debajo de 1.15m para todos los periodos de retorno. Justo después de la sección 2, se da el punto con profundidades máximas de 3.9m, 4.9m y 5.1m para los correspondientes caudales de $T=2$, $T=25$ y $T=50$. Entre las secciones 2 y 4 el calado es alto en cada modelo. Se aproxima en 2.6m para $T=2$, 3.5m en $T=25$ y 3.7m para $T=50$. En la siguiente figura se visualiza mejor la topografía del río.

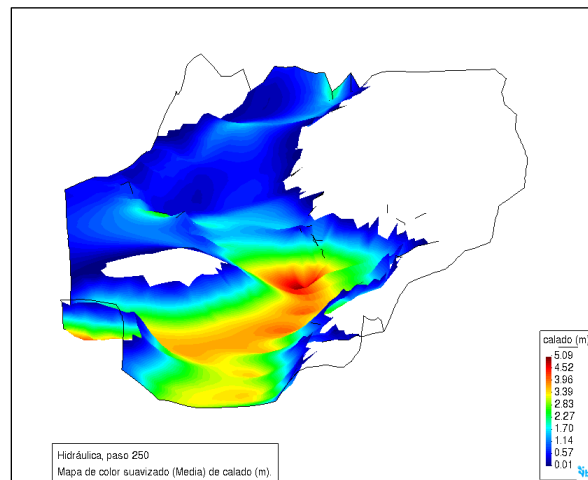


Figura 33. Calado en 3D del modelo hidrológico $T=50$ para el paso P11

Con respecto a las velocidades asociadas a cada periodo de retorno, en este caso la extensión de la topografía suministrada limita la estabilidad de la velocidad de entrada al modelo, de manera que se obtienen velocidades muy altas por la entrada “a presión” y no se regulan hasta la sección 3. Las áreas negras en los resultados indican velocidades de hasta 100m/s que fueron eliminadas para apreciar los valores más bajos. En las secciones 3 y 4 se perciben velocidades de 5m/s y 3.7m/s en cada caso para el modelo $T=2$. Para $T=25$ se obtienen valores entre 4.4m/s y 6.6m/s después de la sección 2. En el caso de $T=50$, se estima el mismo rango de velocidades que para $T=25$.

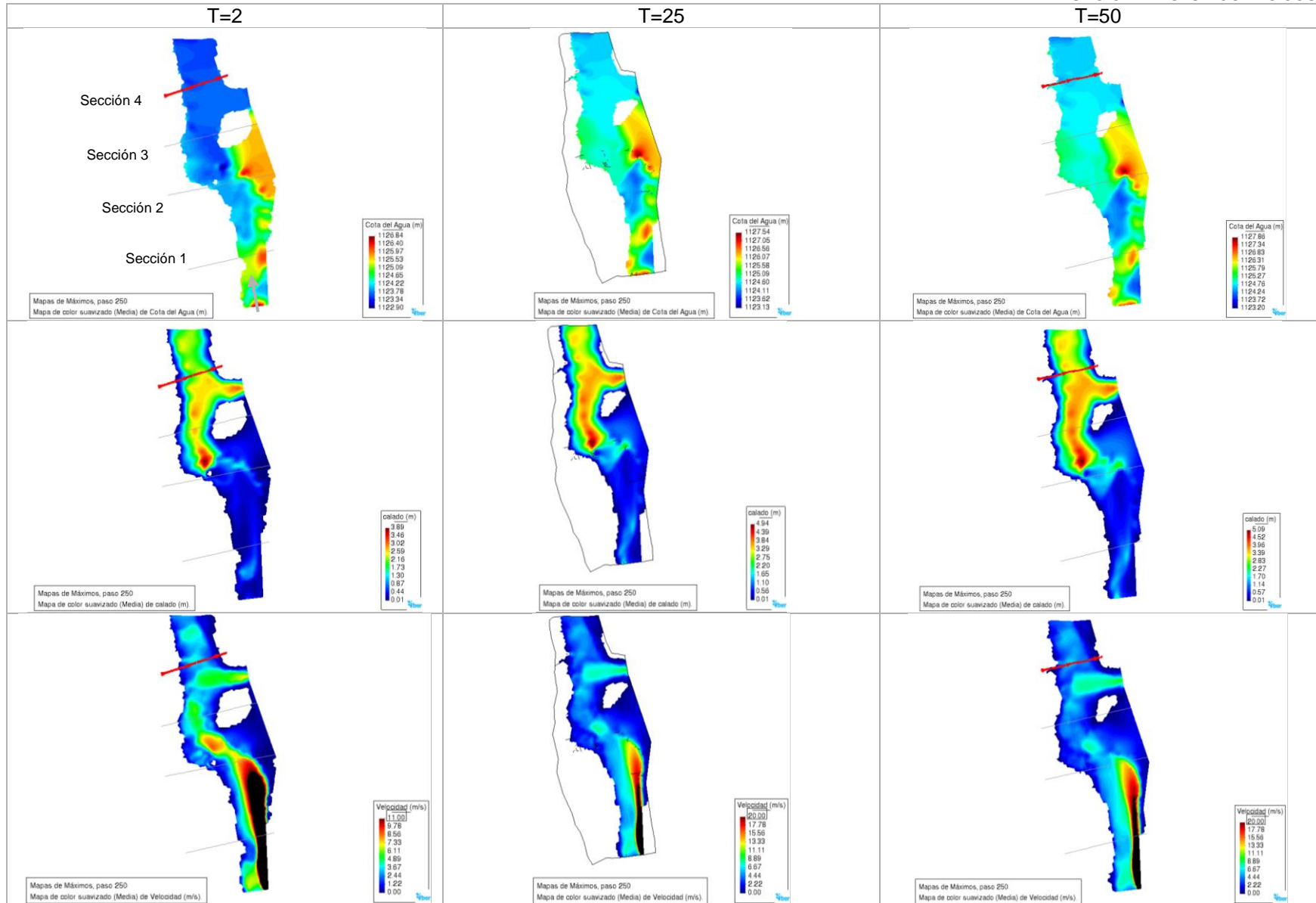


Figura 34. Resultados del modelo hidrológico para el paso P11



Se muestra a continuación los gráficos de los perfiles trazados para cada sección y las correspondientes láminas de agua para cada modelo. En general, se observa que no hay mucha variación entre las cotas del agua para los caudales asociados a $T=25$ y $T=50$. Para la sección 1 el agua alcanza los 1125.96msnm para $T=2$, mientras que la cota máxima para $T= 50$ es de 1126.58msnm, disminuyendo en 0.11m para $T=25$.

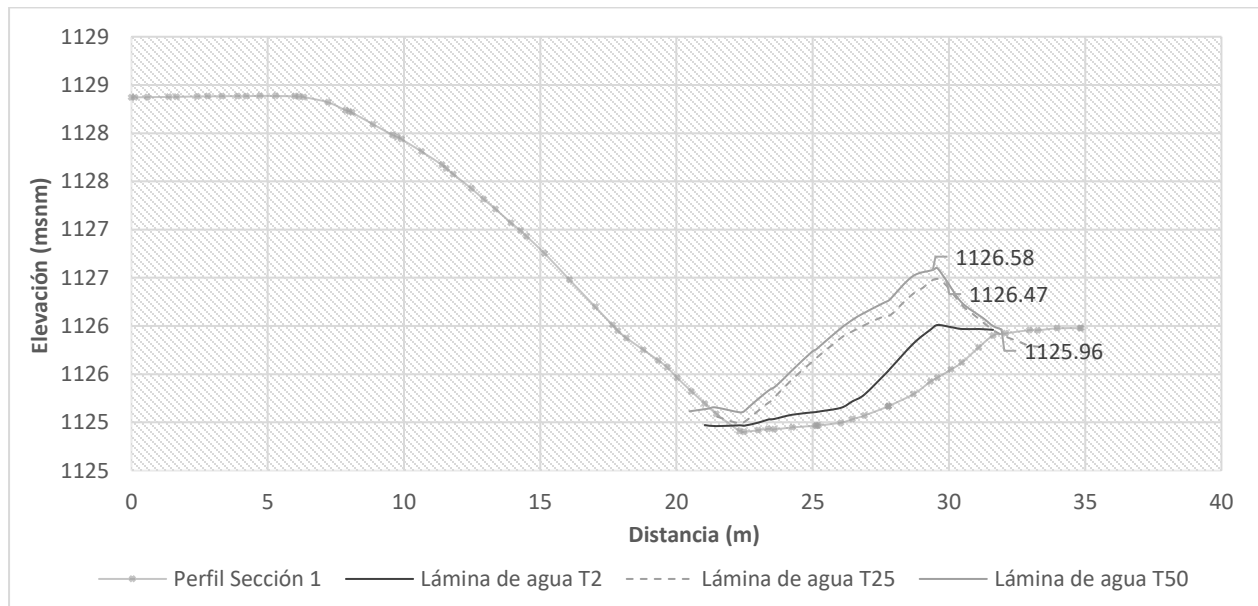


Figura 35. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P11

En la sección 2 se indican las láminas de agua para las dos márgenes del río. La tubería se ubica en la margen izquierda, que corresponde a la distancia 0m. En la margen derecha se da un salto hidráulico debido a la topografía y velocidad del agua, por lo que los niveles podrían tener errores. En este caso se recomienda ampliar la topografía al menos 100m aguas arriba para tener una distancia en la que se establezca la velocidad de entrada. Esta sección corresponde al paso de la tubería sobre el río, por lo que se considera importante obtener los valores correctos de la lámina de agua y asegurarse que no corre ningún riesgo colocarla después de los 1126.95msnm.

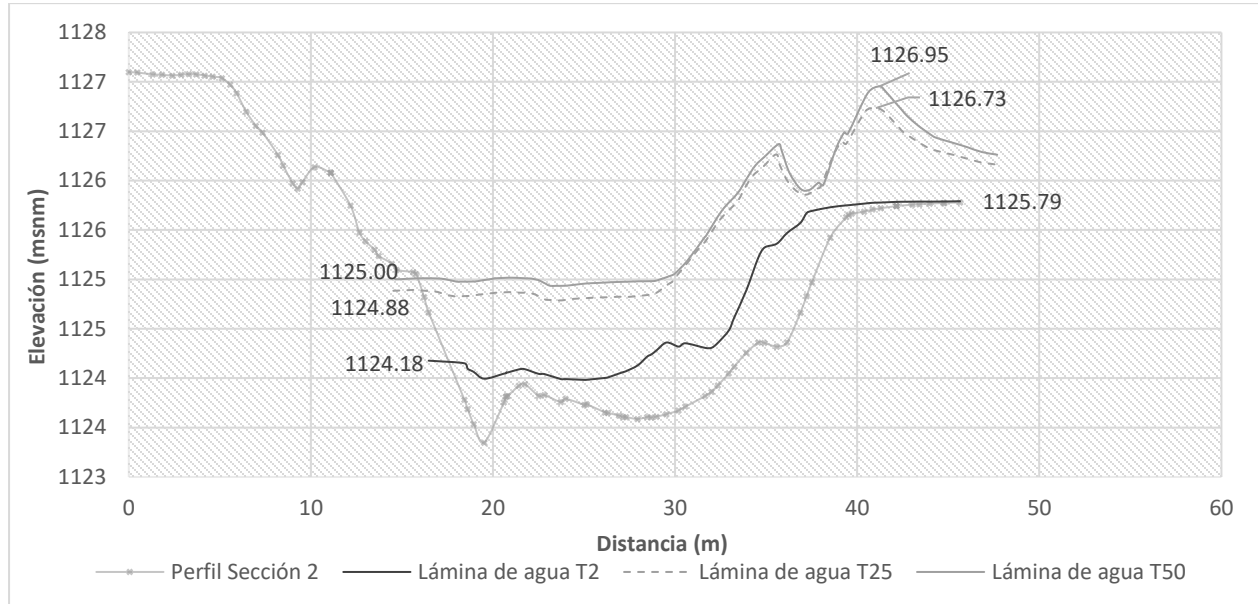


Figura 36. Láminas de agua para $T=2$, $T=25$ y $T=50$ en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P11

Seguidamente se traza el perfil de la sección 3. Se indican los niveles del agua en ambas márgenes del río. La tubería se encuentra en la margen izquierda, que corresponde a la distancia 0m. En esta sección ya se percibe una estabilidad en la velocidad del modelo, por lo que los niveles son más confiables. La diferencia entre las elevaciones alcanzadas para el caudal correspondiente a $T=2$ y $T=50$ es de 1.25m, siendo la máxima de 1125.3msnm. En la Figura 39 se observa cómo después de la sección 2 la lámina de agua alcanza la ubicación de la tubería, por lo que es importante a partir de ese punto tener en cuenta su ubicación sobre las elevaciones máximas obtenidas y protegerla en caso de que la creciente arrastre un objeto que pueda golpear y dañar la tubería.

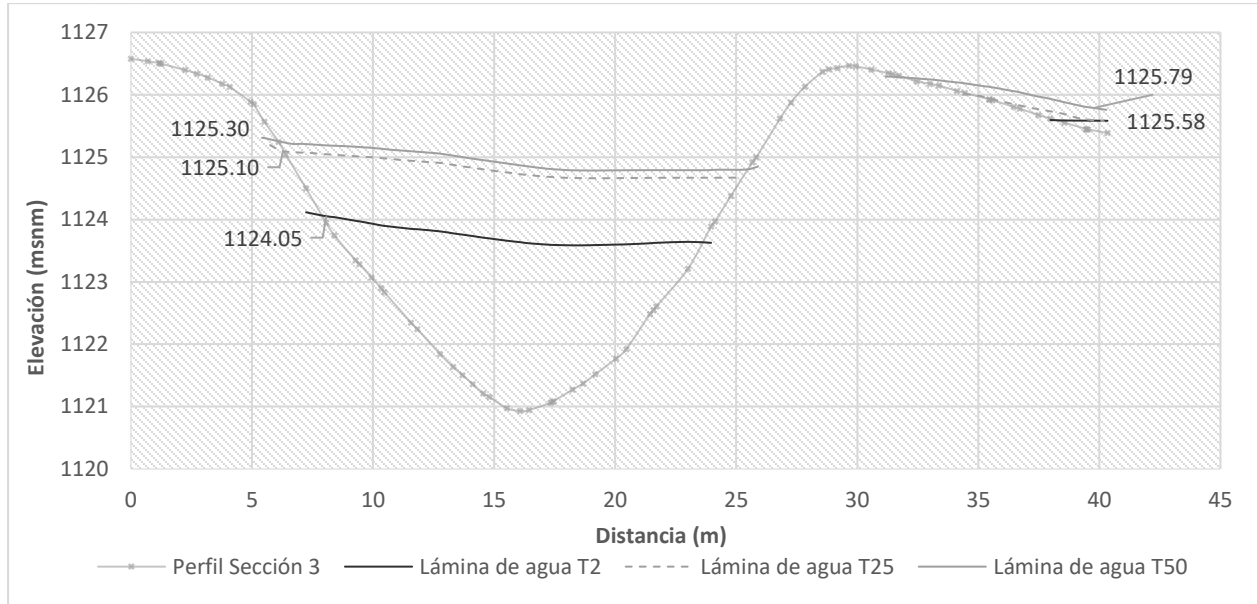


Figura 37. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P11

En la última sección se obtiene una lámina de agua que alcanza los 1123.81msnm para T=2, 1124.80msnm para T=25 y 1124.86msnm para T=50.

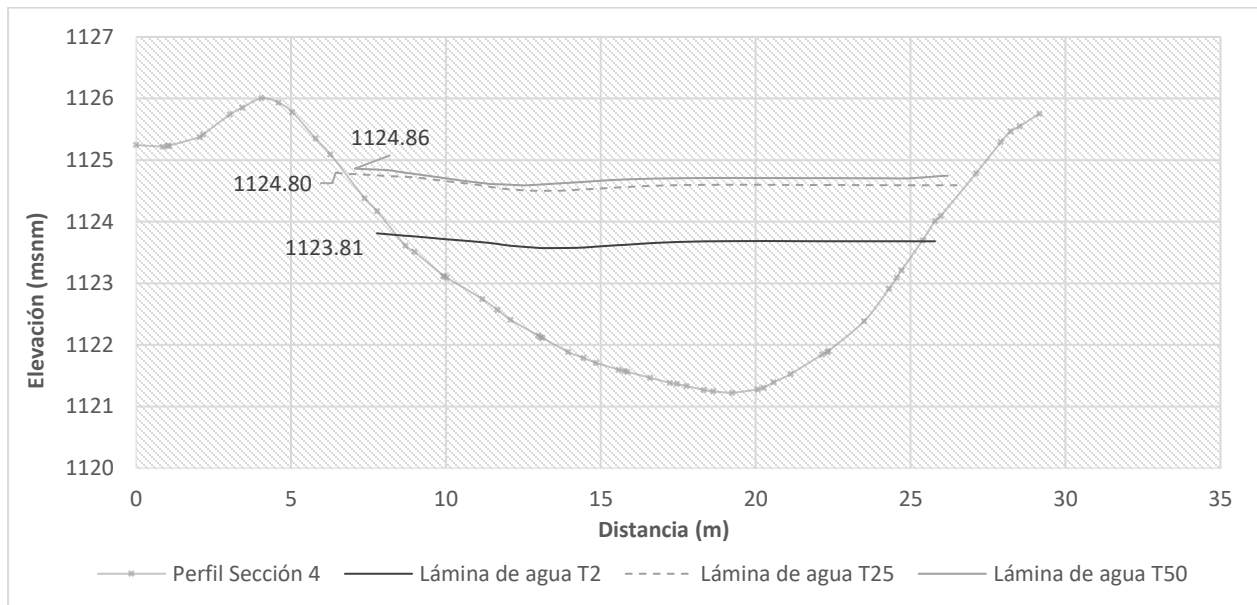


Figura 38. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 4 del Modelo hidrológico para paso P11

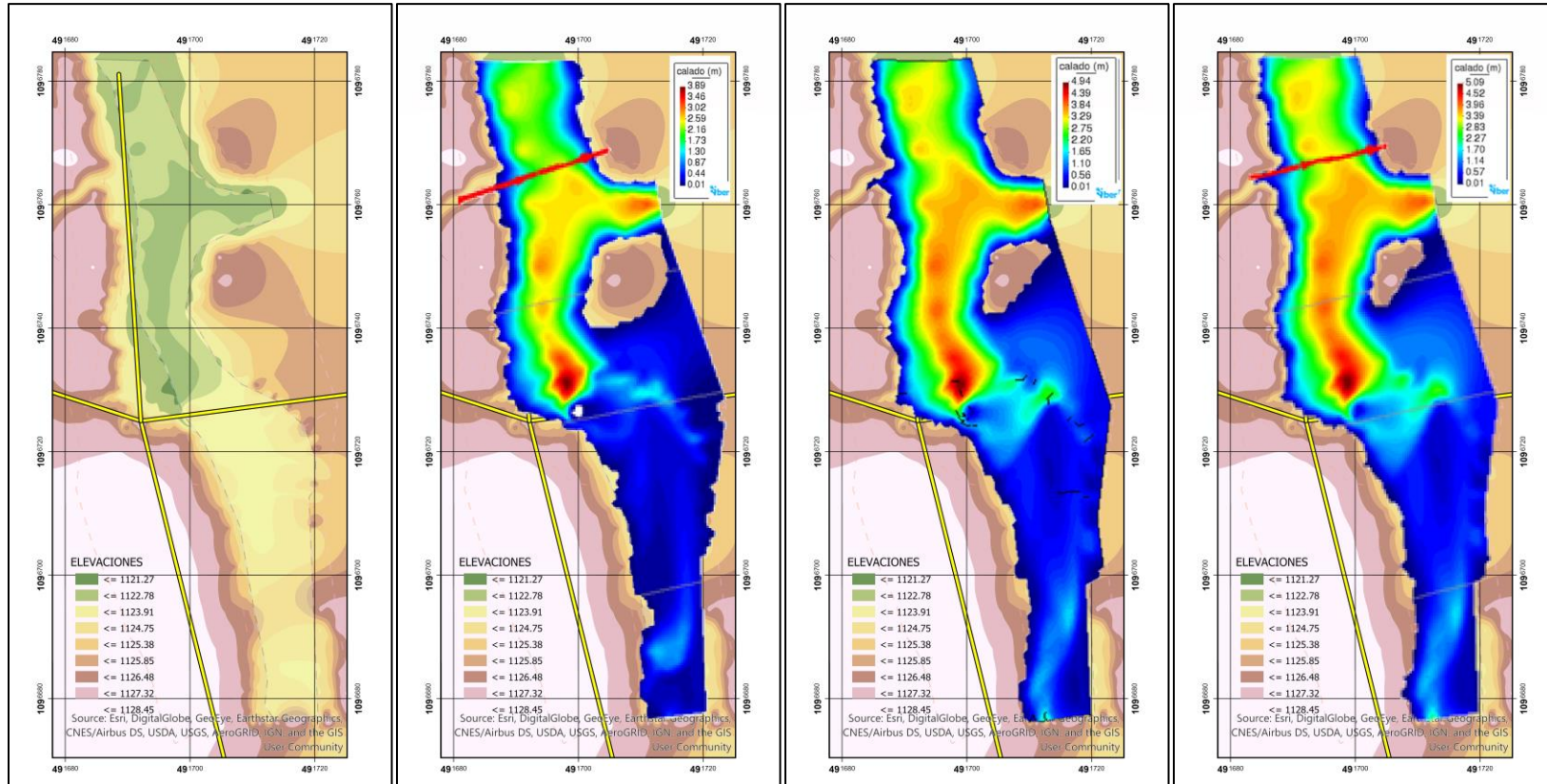


Figura 39. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P11 con respecto a ubicación de tubería



Modelo Cuenca P5

Para el punto P5 en el río María Aguilar, el cual corresponde a la cuenca con mayor área, se definieron tres secciones a lo largo de la topografía suministrada del río. En toda lo longitud, el trazado se encuentra muy cercano a la margen izquierda. En la Figura 40 se muestran los resultados obtenidos para los modelos a 2, 25 y 50 años de periodo de retorno.

Se observa que la profundidad del cauce no presenta mucha variación a lo largo de la trayectoria. Para el modelo correspondiente a los caudales formativos, los valores oscilan entre 2.2m y 2.5m en la línea central, con un máximo de 2.83m en la sección 3. Para $T=25$ el valor máximo aumenta a 3.8m en el mismo punto y las profundidades en la línea central del río se mantienen entre 2.9m y 3.4m. Para este caso se evidencian algunas zonas de inundación en la margen derecha entre las secciones 2 y 3 y una pequeña sección aguas abajo de la sección 1, pero con profundidades menores a los 0.4m. En el modelo $T=50$, las profundidades se encuentran entre 3.11m y 3.55m, con un máximo de 3.99m. Se puede observar que las áreas de inundación se extienden ligeramente y surge una sección a la salida del modelo en la margen izquierda.

Con respecto a las velocidades estimadas, para $T=2$ se perciben valores de hasta 4.9m/s en la línea central del río entre las secciones 1 y 2, pero se mantienen entre 3.5m/s y 4.25m/s en la mayor parte del trayecto. Para los periodos de retorno de 25 y 50 años, no se puede definir la velocidad en la sección 1, debido al efecto de entrada “a presión” en el modelo, el cual no se estabiliza hasta el punto medio entre las secciones 1 y 2. Después de este punto, las velocidades se estiman entre 5.3-6.7m/s para $T=25$ y en el rango de 5.7-7.2m/s para $T=50$.

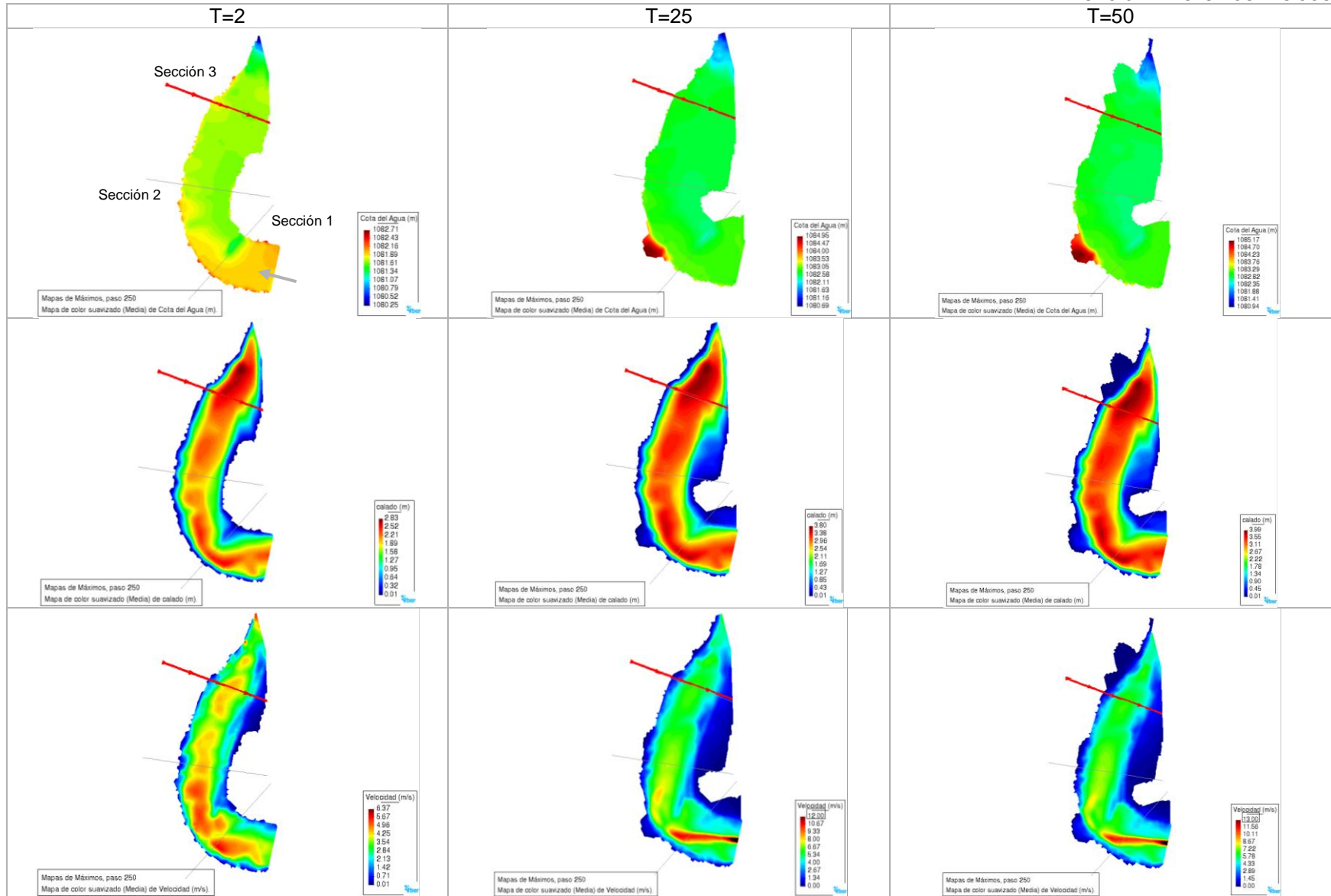


Figura 40. Resultados del modelo hidrológico para el paso P5

En los siguientes gráficos se detallan los perfiles de cada una de las secciones. En la sección 1, el agua alcanza una elevación máxima de 1083.24msnm para T=50 y valores de 1082.15msnm y 1083.21msnm para T=2 y T=25, respectivamente. Según lo ilustrado en la Figura 44, la cota de inundación alcanza la tubería en la sección 1 para los caudales asociados a T=25 y T=50 con una profundidad de máximo 0.45m.

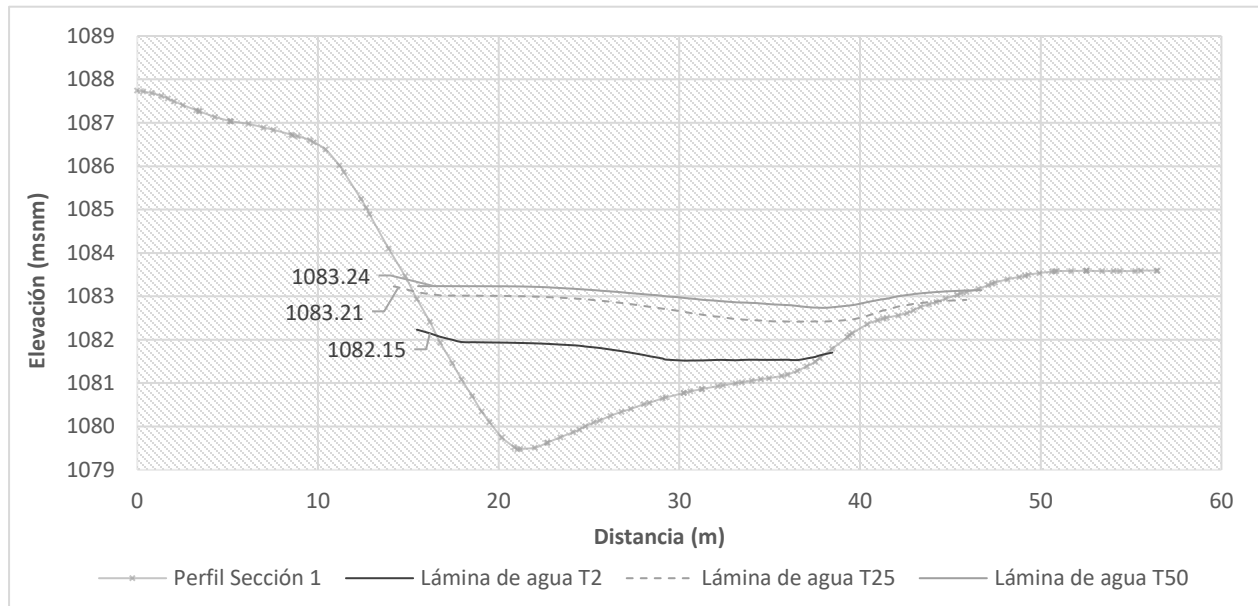


Figura 41. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P5

La sección 2 indica elevaciones de 1081.76msnm, 1082.93msnm y 1083.24msnm para los periodos correspondientes de 2, 25 y 50 años. En esta sección también se puede apreciar cómo la cota del agua se extiende hasta la ubicación de la tubería, inclusive unos centímetros de profundidad para el modelo de los caudales formativos, inundando hasta justo antes de la sección 3.

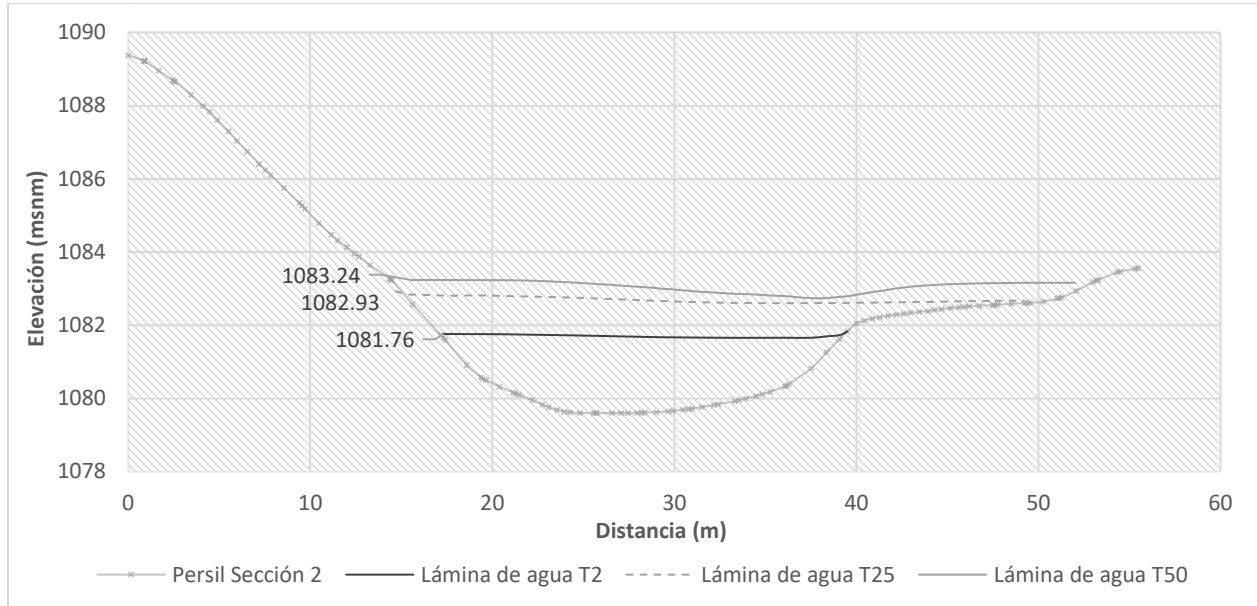


Figura 42. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P5

En la sección 3 se indica una elevación máxima de la lámina de agua de 1083.03msnm para T=50, seguido por una elevación de 1082.91msnm para T=25 y 1081.84msnm en T=2. Únicamente para el caudal asociado a T=50 se evidencia un área de inundación de menos de 0.4m de profundidad aguas abajo de esta sección.

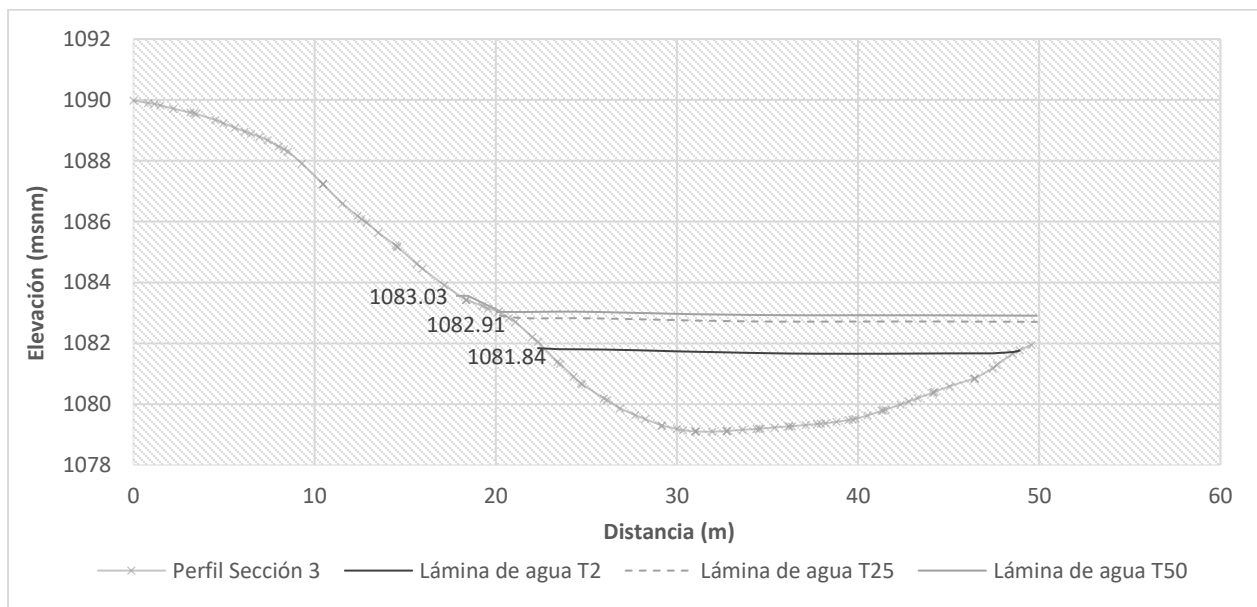


Figura 43. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P5

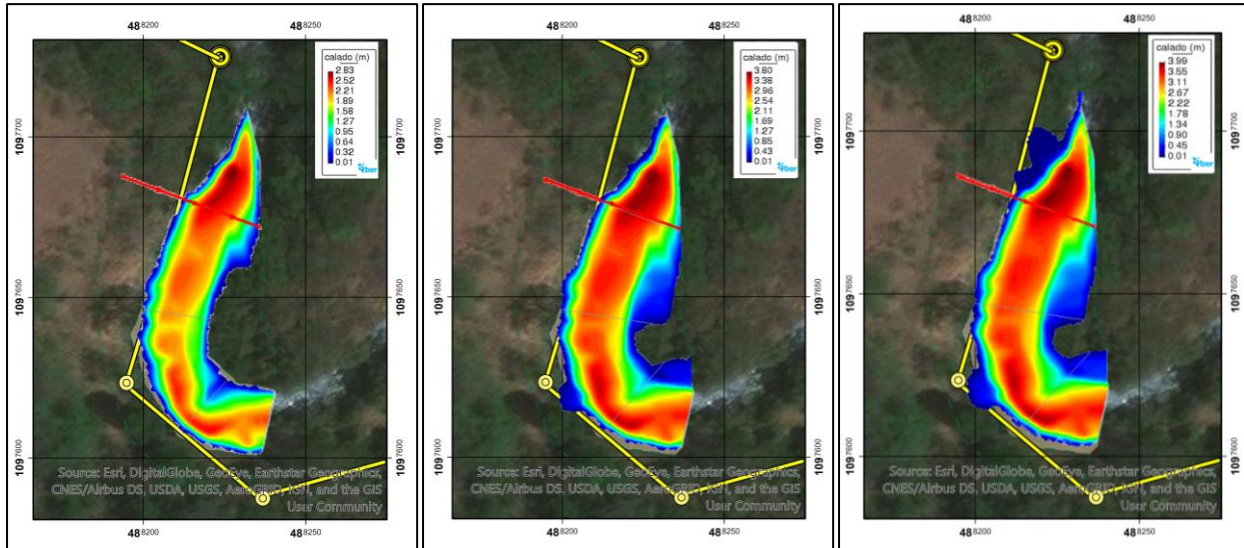


Figura 44. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P5 con respecto a ubicación de tubería

Modelo Cuenca P2

Para analizar los modelos de la cuenca P2 se definieron 4 secciones a lo largo del río. La segunda corresponde a un paso de la tubería sobre el río. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 45.

Con respecto al calado en el modelo correspondiente a T=2, se observa que en el tramo desde el inicio del modelo hasta la sección 2, se estiman profundidades entre 3.5m y 4.2m. Luego en la sección 2 disminuye a menos de 0.5m en la línea central del río. En este punto la profundidad aumenta en los extremos del cauce a 2.6m. En la sección 3 la profundidad es de 3.17m y disminuye hasta 2.12m en la sección 4. Para el modelo asociado a un periodo de retorno de 25 años, las profundidades oscilan entre 4.2-5.1m, excepto en la sección 2, donde se mantienen por debajo de 0.9m en la línea central del río. Los valores alcanzan los 3.5m en la sección 4. En el último modelo, correspondiente a T=50, los calados más altos se dan desde el inicio del modelo hasta aguas arriba de la sección 4, con valores entre 4.2m y 5.2m. En la sección 2 se tiene un valor central de 0.96m y en la sección 4 de 3.8m.

El perfil de velocidades indica que justo aguas abajo de la sección 2 se presentan los valores máximos, debido a la salida de la contracción del puente. Estos valores alcanzan los 7.4m/s, 8.4m/s y 8.6m/s en los modelos T=2, 25 y 50. En el segmento desde el inicio del modelo y hasta la sección 2, se estima una velocidad promedio de 4.5m/s, 6.3m/s y 6.8m/s según corresponda para T=2, 25 y 50.

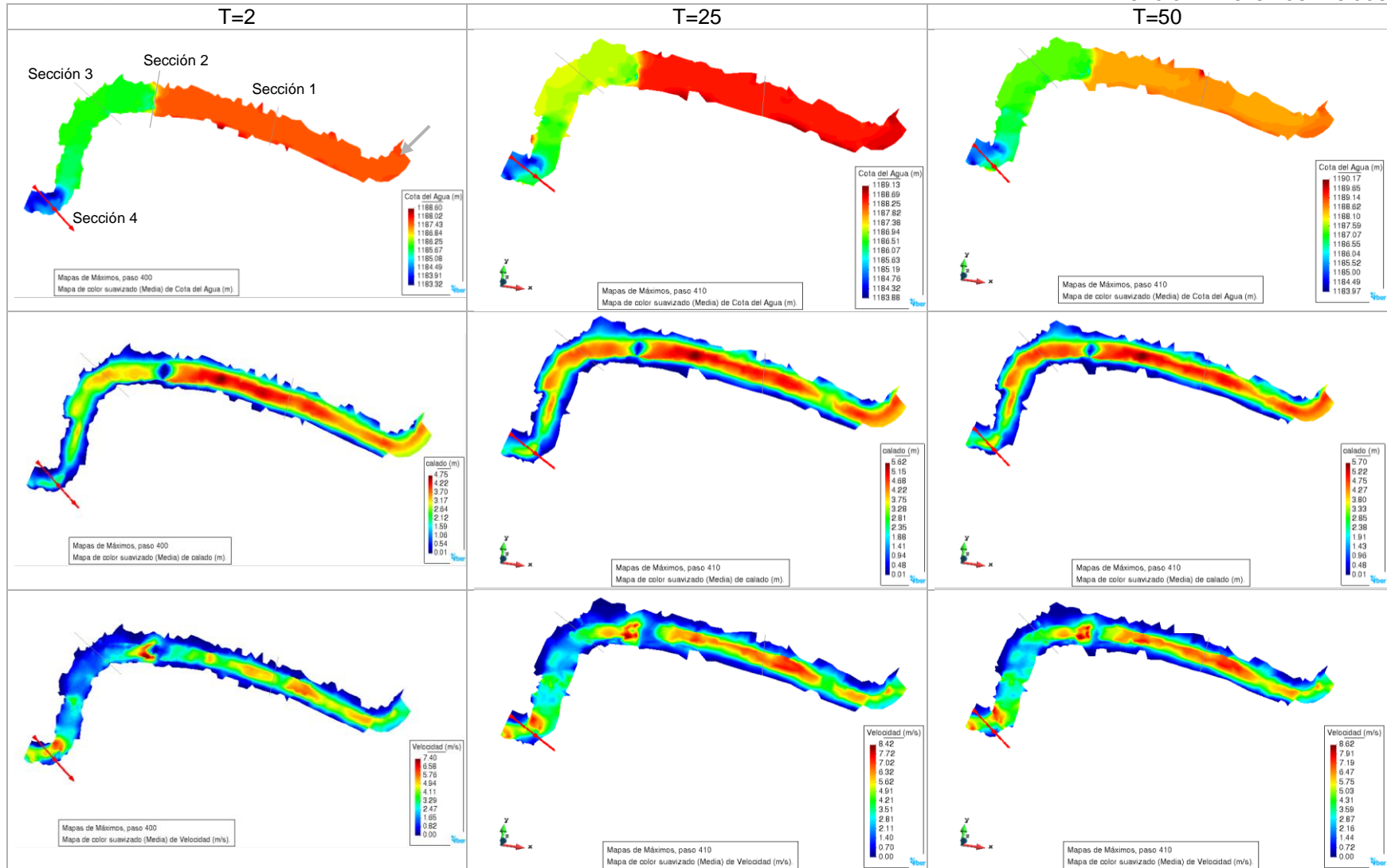


Figura 45. Resultados del modelo hidrológico para el paso P2



La velocidad disminuye hasta llegar a la sección 4, donde se presentan valores de 5.7m/s, 6.3m/s y 6.5m/s, en cada modelo correspondiente.

A continuación, se presentan los gráficos con los perfiles y láminas de agua obtenidas en cada modelo en las secciones analizadas.

Para la sección 1, sólo se obtiene una variación de 1.1m con respecto a la cota mínima y máxima, siendo esta última de 1188.7msnm.

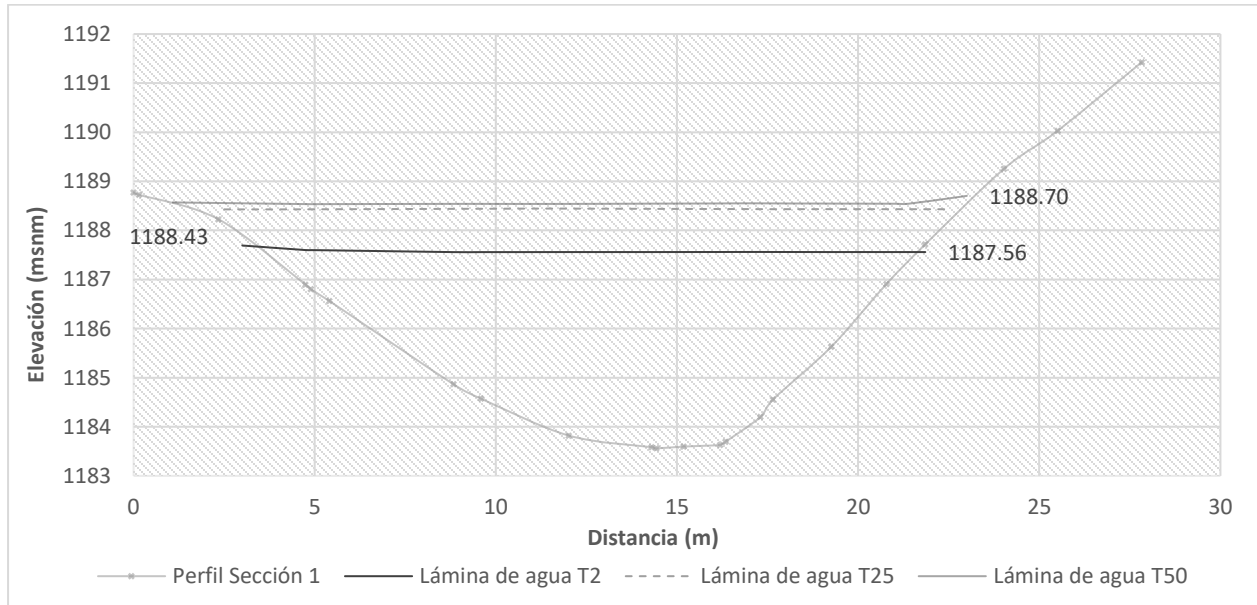


Figura 46. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P2

En la sección 2, se observa que en la parte central del río las profundidades son muy bajas y altas en los extremos. En este punto la lámina de agua alcanza los 1186.99msnm para T=2, aumenta a 1187.94msnm para T=25 y se presenta la elevación máxima de 1188.21msnm en T=50.

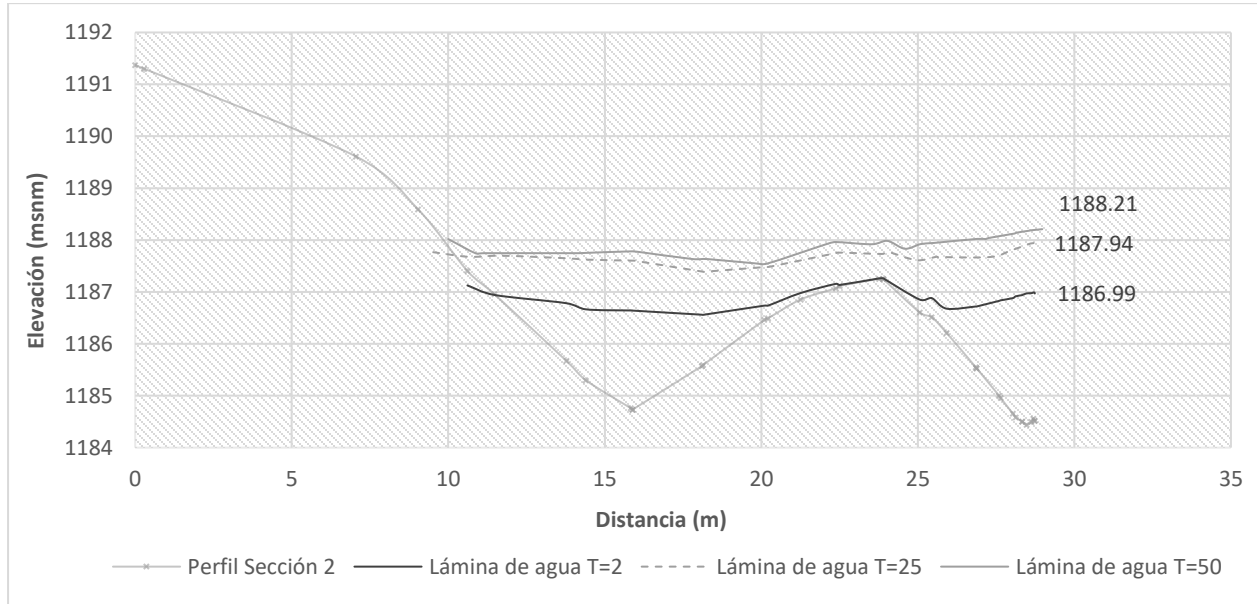


Figura 47. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P2

Las elevaciones alcanzadas por la lámina de agua en la sección 3 son de 1186msnm, 1187.27msnm y aumenta en 0.11m a 1187.38msnm, para los respectivos periodos de retorno de 2, 25 y 50 años.

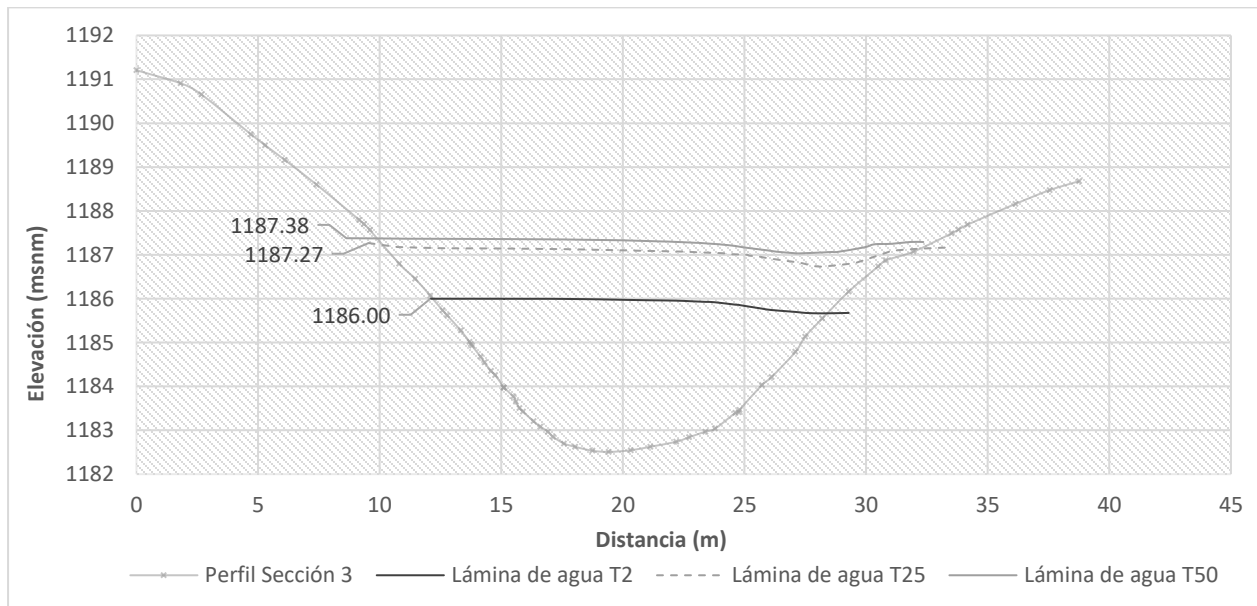


Figura 48. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P2

Finalmente, en la sección 4 se presenta una cota máxima de 1186.89msnm para el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años. Para T=2 y T=25, se la lámina de agua alcanza los 1184.61msnm y 1186.21msnm, en cada caso.

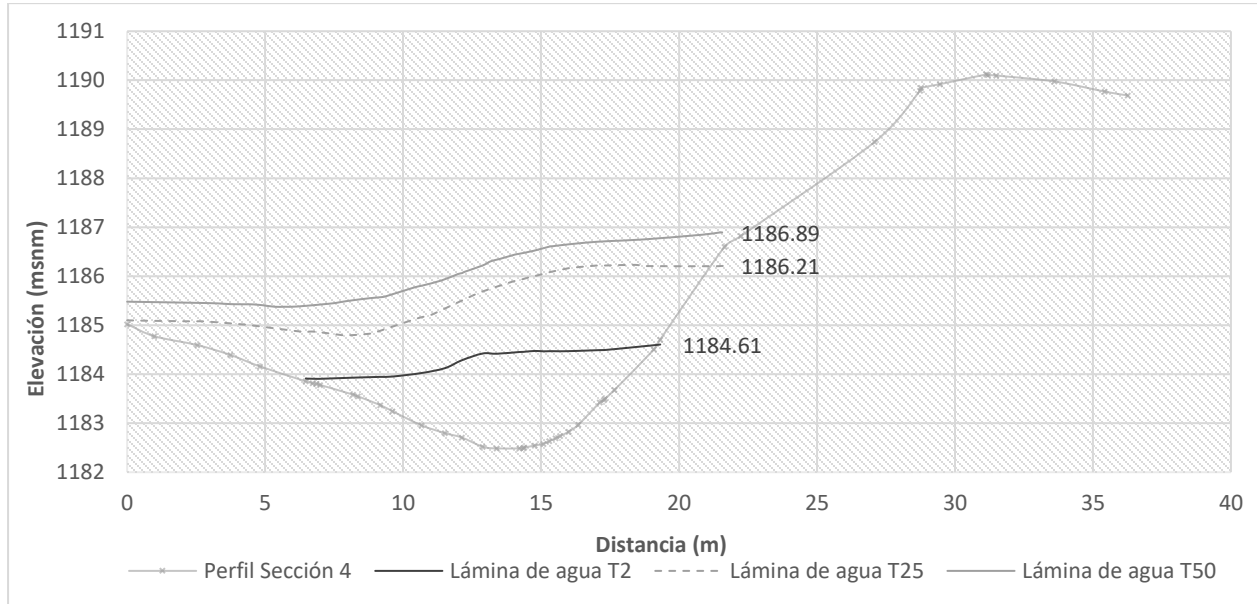


Figura 49. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 4 del Modelo hidrológico para paso P2

En la siguiente figura se superponen los modelos con respecto a la ubicación de la tubería. Se observa que existe un área de inundación en la margen izquierda, que abarca desde la entrada al modelo, hasta la sección 2. El calado se mantiene bajo, menor a 1m para los tres modelos, al igual que la velocidad en los extremos; sin embargo, deben considerarse las cotas máximas alcanzadas a la hora de colocar la tubería, para evitar que sea golpeada por objetos o material que arrastre el río en una creciente.

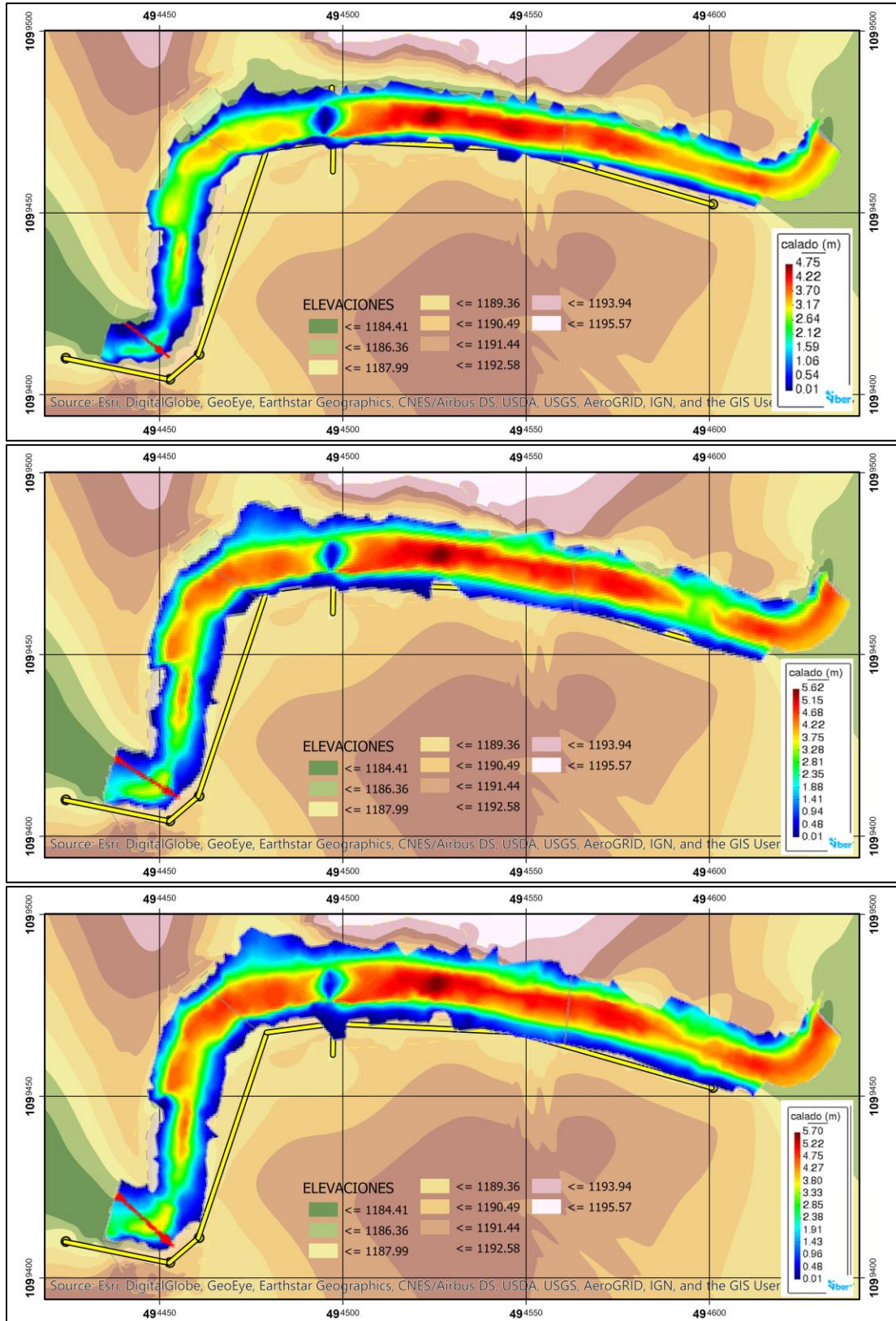


Figura 50. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P2 con respecto a ubicación de tubería



Modelo Cuenca P4

Se modelaron los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 2, 25 y 50 años. Los resultados para la cuenca P4 del río Torres se observan en la Figura 51.

Se definieron tres secciones para analizar el perfil del cauce y la lámina de agua en la longitud del río. En todo el tramo estudiado la tubería se encuentra muy cerca de la margen izquierda del río, por lo que es importante verificar el alcance de la cota del agua en toda la extensión disponible.

Las profundidades con valores más altos se dan a la entrada del modelo, siendo de 2.55m, 3.77m hasta 4.10m, para los correspondientes periodos de retorno de 2, 25 y 50 años. En el resto del trayecto la profundidad es más regular, aproximadamente de 1.3m para $T=2$, aumentando en 0.5m para $T=25$. Para el periodo de retorno de 25 años se estima una profundidad media de 1.9m y en la sección 2 aumenta a 2.36m. Finalmente, para $T=50$ se percibe una profundidad entre 2.28m y 2.74m en la línea central del río después de la sección 1.

En el perfil de velocidades no se identifica la velocidad de entrada debido al mismo fenómeno explicado en modelos anteriores; sin embargo, en este caso la velocidad se regula al llegar a la sección 1. Para el modelo correspondiente a los caudales formativos, la velocidad oscila entre 4.1-5.2m/s en la línea central del río. En el caso de $T=25$, se encuentra en el rango de 4.3-7.0m/s y para el caudal asociado al periodo de retorno de 50 años se encuentra entre 6.6-7.7m/s en la región comprendida entre las secciones 1 y 2 y disminuye a 5.5-6.6m/s aguas abajo de la sección 2.

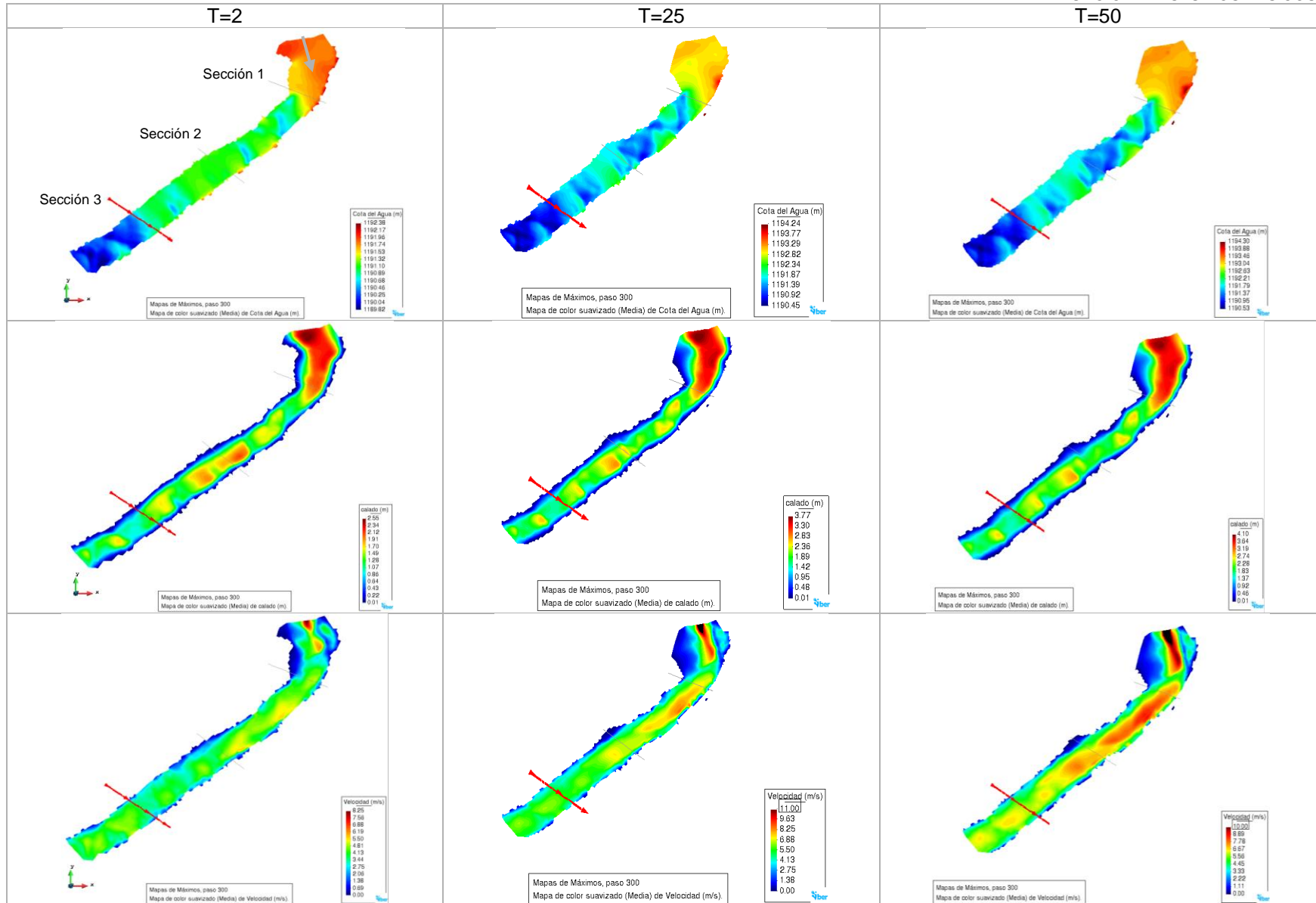


Figura 51. Resultados del modelo hidrológico para el paso P4



Seguidamente, se traza el perfil de la sección 1 y las correspondientes láminas de agua de cada modelo. En este caso, la margen derecha corresponde al punto en 0m. Para los caudales formativos se tiene una elevación de 1191.87msnm y la cota aumenta a 1193.3msnm para T=25 y T=50. En este punto aumenta la elevación en la margen izquierda debido a que se encuentra en una curva del río y aunado a la velocidad del agua, la corriente choca contra la pared del cauce y se genera una elevación mayor. En la Figura 55 se observa el alcance de la cota del agua en cada modelo con respecto al trazado de la tubería. Justo en la sección 1 la lámina de agua alcanza ligeramente la tubería, por lo que en este tramo deben considerarse las láminas máximas a la hora de colocar la tubería.

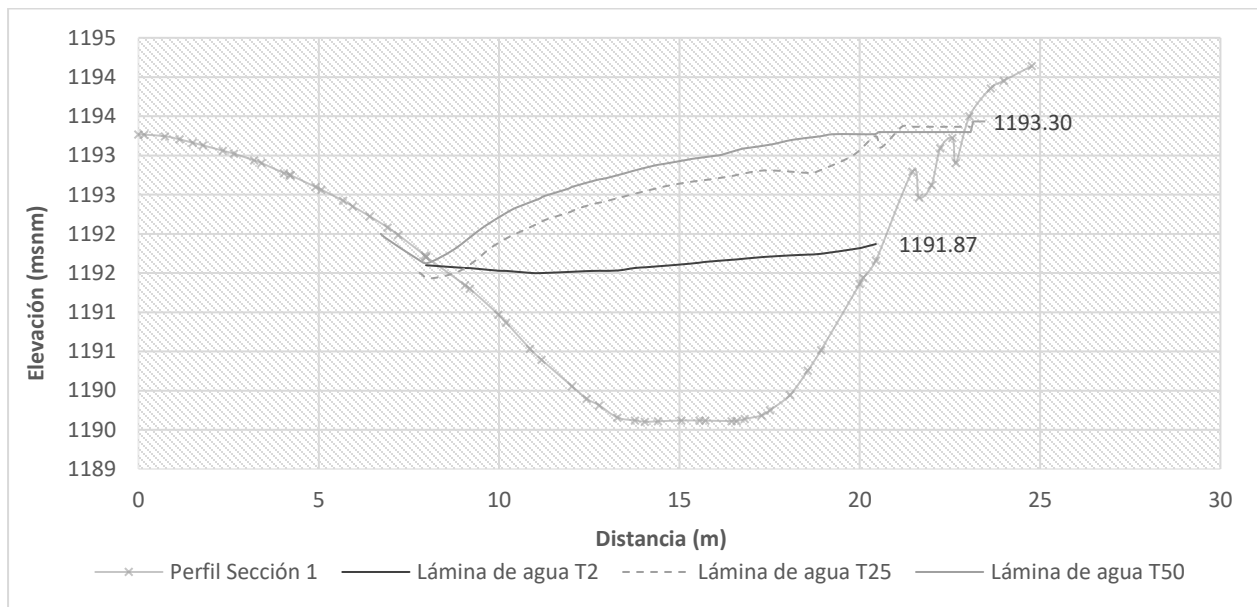


Figura 52. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 1 del Modelo hidrológico para paso P4



En el caso de la sección 2, tal como se observa en la

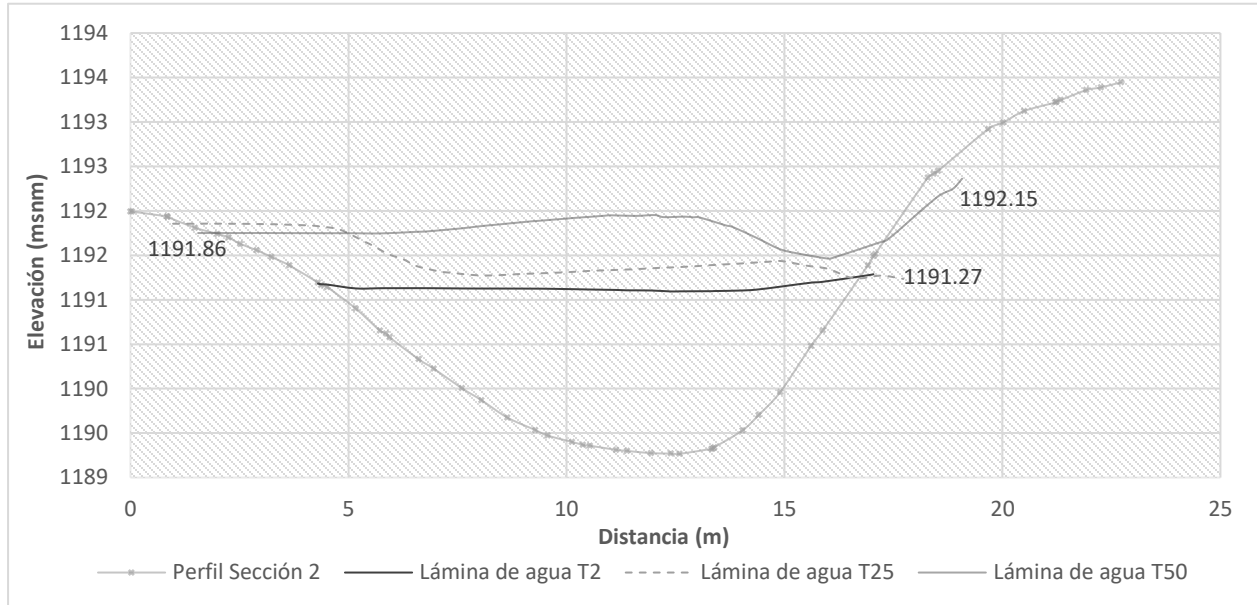


Figura 53, la lámina de agua máxima alcanza los 1192.15msnm, mientras que presenta valores de 1191.27msnm para T=2 y aumenta en 0.59m para T=25. En los diagramas de comparación con la ubicación de la tubería se puede observar que en esta sección la lámina de agua no alcanza el trazado de la tubería, por lo que no hay riesgo de inundación para los caudales determinados.

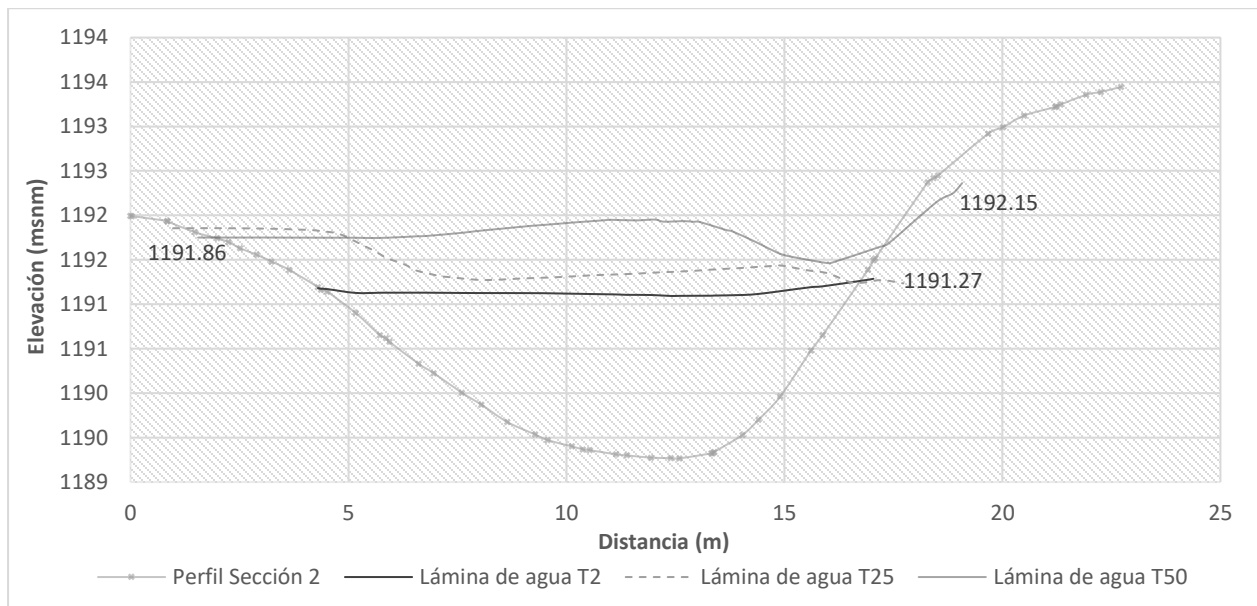


Figura 53. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 2 del Modelo hidrológico para paso P4



Finalmente, para la sección 3, como se muestra en el siguiente gráfico, el agua llega a 1191.12msnm, 1191.54msnm y 1192.12msnm para el caudal asociado a los periodos de retorno de 2, 25 y 50 años, respectivamente. En esta sección la lámina de agua no se extiende hasta la ubicación de la tubería, por lo que no hay riesgo de inundación.

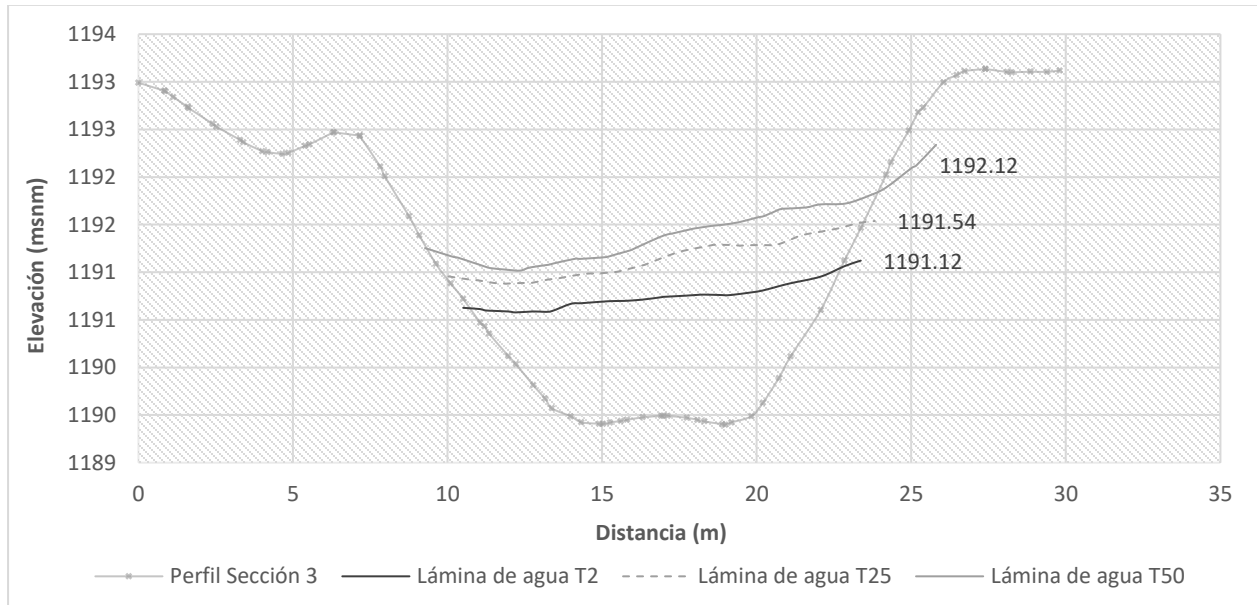


Figura 54. Láminas de agua para T=2, T=25 y T=50 en la Sección 3 del Modelo hidrológico para paso P4

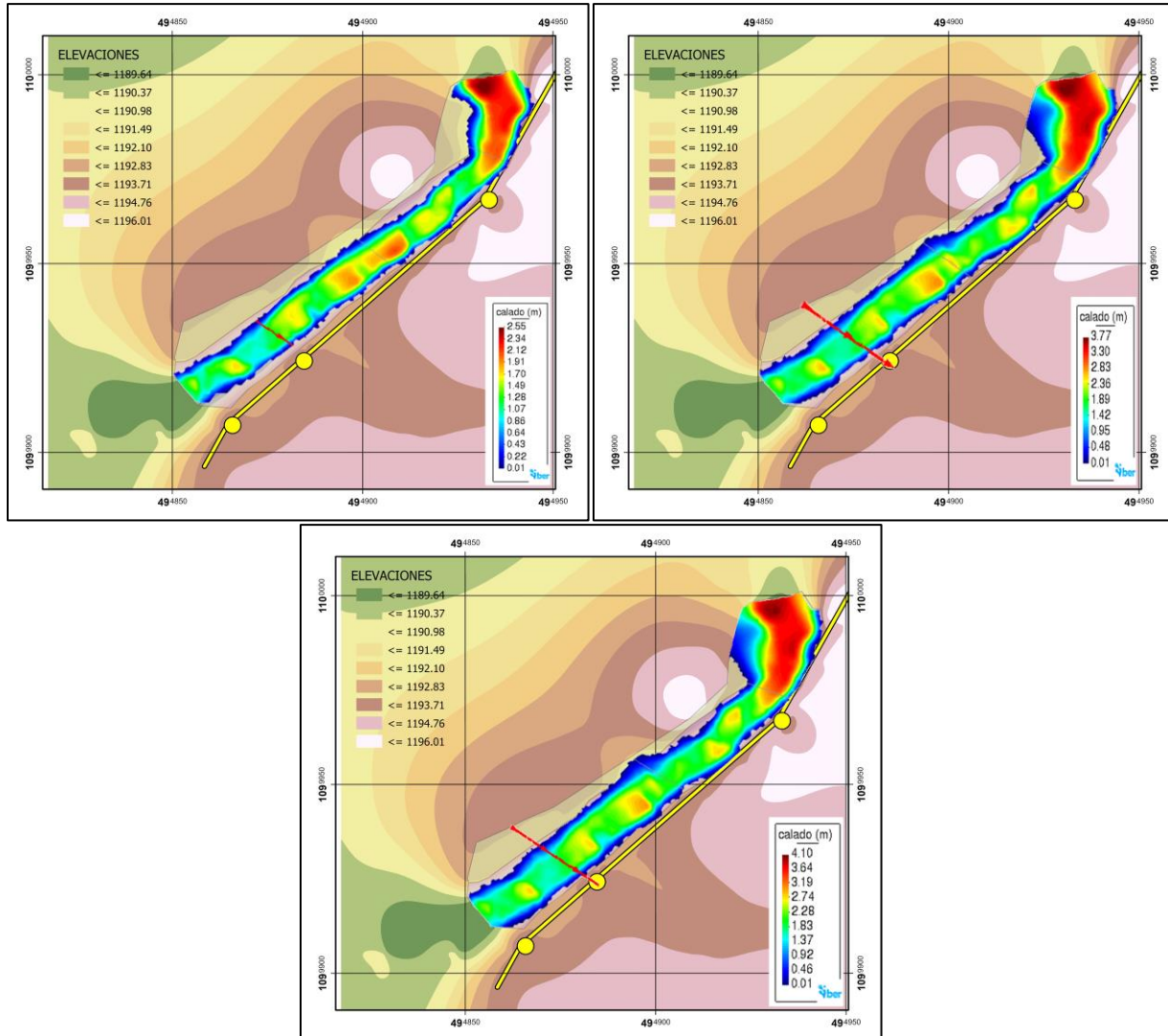


Figura 55. Calado de los modelos hidrológicos T=2, 25 y 50 (en orden) para el paso P4 con respecto a ubicación de tubería



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se estimaron en total 30 caudales, específicamente tres caudales para cada una de las 10 cuencas, para periodos de retorno de 2, 25 y 50 años. Para el cálculo de los caudales normales o formativos se utilizó un periodo de retorno de 2 años, lo cual puede aumentar el valor real de los caudales; sin embargo, debido a que los métodos utilizados para el cálculo son para determinar valores máximos, los parámetros para la implementación del método racional, tal como el coeficiente de escorrentía, se definen para un mínimo de 2 años de periodo de retorno, por lo que se uniformó el cálculo de todos los caudales formativos utilizando este periodo de retorno. El método racional se aplicó para las cuencas P17 y P19, debido a que presentan áreas muy pequeñas, de 1.65km² y 1.67km², respectivamente; por tanto, se puede suponer que la precipitación se comporta de manera uniforme en toda la cuenca. Para las cuencas P1, P2, P3, P4, P5, P11, P15 y P16, se calcularon los caudales mediante el método de Creager de traslado de caudales, ya que no se cuenta con información hidrológica en las cuencas estudiadas. Se utilizó como base los caudales determinados en el informe anterior para la estación Linda Vista, dado que posee características similares a las cuencas en estudio.

Según la caracterización de las cuencas, se indica que no están propensas a la formación de crecientes debido a sus características morfológicas. Presentan pendientes pronunciadas, ocasionando altas velocidades en el río.

A partir de la cobertura del suelo analizada para las cuencas P17 y P19, se observa que la totalidad del área de las cuencas se encuentra impermeabilizada, ya que se ubican en zonas urbanas, lo cual repercute en caudales mayores, debido a la baja capacidad de infiltración en la cuenca.

En general los caudales estimados se encuentran entre 9.57m³/s a 47.23m³/s para los caudales formativos, de 21.61m³/s a 106.65m³/s para el periodo de retorno de 25 años y los asociados al periodo de 50 años están en el rango de 24.6m³/s a 121.41m³/s, siendo los valores más elevados para la cuenca con mayor área, la P5 y los extremos inferiores se dan en la cuenca P16.

Evaluando los resultados de los modelos hidrológicos, en la cuenca P17 se presentan velocidades moderadas de hasta 5m/s para el caudal de 59.05m³/s, que corresponde a un periodo de retorno de 50 años, con máximos a la salida del paso de la tubería, en la sección 2. Este es el único punto donde se presenta un riesgo, por lo que la tubería debe colocarse sobre la lámina máxima de



1169.06msnm, considerando además que en una creciente el río puede arrastrar objetos que colisionen contra la estructura.

En el caso de la cuenca P19, el perfil de velocidades indica valores máximos de hasta 7.7m/s en la sección 1; sin embargo, las velocidades medias para el caudal más alto son moderadas, de hasta 5.7m/s en el resto del cauce. La sección 3 es el punto más crítico de los modelos, debido a que es el más cercano al trazado de la tubería y la lámina de agua alcanza su ubicación en mayor amplitud a 1126.22msnm. La profundidad del agua en este extremo es menor a 0.5m, pero es importante considerar que en una creciente el río arrastra objetos que pueden dañar la tubería.

Los modelos asociados a la cuenca P16 indican velocidades moderadas en todos los casos, que van desde los 4.7m/s para el caudal formativo de 9.57m³/s hasta los 5.4m/s para el caudal máximo de 24.6m³/s. Para los caudales correspondientes a T=25 y T=50, el agua llega hasta el trazado de la tubería en el tramo entre las secciones 1 y 2 con una profundidad máxima de 0.4m.

Con respecto a la cuenca P15, las velocidades no se pueden determinar en la primera mitad del trayecto disponible, ya que la velocidad de entrada al modelo no se estabiliza en la longitud de la topografía suministrada. El modelo más estable es el correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, donde se puede definir una velocidad promedio de la línea central del cauce de 5.7m/s. en el modelo para T=50 esta velocidad alcanza los 7.2m/s. El nivel del agua llega hasta el trazado de la tubería en la margen derecha en el tramo definido entre las secciones 1 y 3. Las profundidades son bajas, de hasta 0.5m, excepto en la sección 1, donde alcanza los 2.05m y una cota de 1153.83msnm, al igual que en la sección 2. Para la sección 3 se tiene una elevación máxima de la lámina del agua de 1154.23msnm.

Para la cuenca P3, las velocidades máximas se dan a la salida de la sección 1, en la cual hay una contracción del cauce debido al paso de la tubería y alcanzan un valor máximo de 8.1m/s para el caudal de 97.79m³/s correspondiente al periodo de retorno de 50 años. En esta sección la lámina máxima tiene una elevación de 1175.3msnm. Es importante considerar proteger la tubería con una estructura para evitar daños ocasionados por material u objetos que arrastre el río en una creciente.

En los modelos correspondientes a la cuenca P1, se define una velocidad predominante de 4.1m/s para T=2, 4.4m/s para T=25 y 5.4m/s para T=50. Para los tres modelos la lámina de agua alcanza la ubicación de la tubería en el área entre las secciones 1 y 2 y en la sección 3. En la



primera parte, la cota de elevación máxima es de 1200.42msnm en la sección 1 y de 1199.95msnm en la sección 2. En esta zona la profundidad llega hasta 2m para el modelo T=50. En la sección 3, el calado que llega a la tubería es menor a 1m, con una elevación máxima de la lámina de agua de 1194.77msnm.

La cuenca P11 corresponde a un punto en el río María Aguilar. Debido a limitaciones en la extensión de la topografía suministrada, no se determinó la velocidad en la primera mitad del trayecto. En las secciones 3 y 4 se estimaron velocidades de 5m/s y 3.7m/s en cada caso para el modelo T=2. Para T=25 y 50 se obtienen valores entre 4.4m/s y 6.6m/s después de la sección 2. Esta sección corresponde al paso de la tubería sobre el río. Debido al fenómeno originado por las altas velocidades de entrada al modelo, no se puede conocer con mayor exactitud la elevación de la lámina de agua, lo cual es de suma importancia para definir sobre qué punto debería colocarse la estructura de la tubería. En este caso se recomienda ampliar la topografía al menos 100m aguas arriba para tener una distancia en la que se establezca la velocidad de entrada al modelo y confirmar las elevaciones máximas obtenidas. Después de la sección 2, el agua alcanza la ubicación de la tubería en la margen izquierda, por lo que es importante considerar las siguientes elevaciones máximas. En la sección 3 ya se percibe una estabilidad en la velocidad del modelo, por lo que los niveles son más confiables. Se obtiene una lámina de agua máxima de 1125.3msnm. En la última sección se obtiene una lámina de agua que alcanza una cota máxima de 1124.86msnm para T=50.

En el modelo de la cuenca P5 se evidencian unas áreas de inundación en la margen derecha entre las secciones 2 y 3 y una pequeña sección aguas abajo de la sección 1, pero con profundidades menores a los 0.45m. Se estiman velocidades medias entre 3.5m/s y 4.25m/s en la mayor parte del trayecto para T=2, con un máximo de 4.9m/s entre las secciones 1 y 2. Para los periodos de retorno de 25 y 50 años, no se puede definir la velocidad en la sección 1, debido al efecto de entrada "a presión" en el modelo, el cual no se estabiliza hasta el punto medio entre las secciones 1 y 2. Después de este punto, las velocidades se estiman entre 5.3-6.7m/s para T=25 y en el rango de 5.7-7.2m/s para T=50. Se presentan elevaciones máximas de la lámina de agua de 1083.24msnm en la sección 1 y en la sección 2 y de 1083.03msnm en la sección 3.

Los modelos de la cuenca 2 indican velocidades máximas en la sección 2 debido a la salida de la contracción del puente. Los valores alcanzan los 7.4m/s, 8.4m/s y 8.6m/s en los modelos T=2, 25 y 50. Sin embargo, las velocidades medias en el resto del trayecto se estiman en 4.5m/s,



6.3m/s y 6.8m/s según corresponda para T=2, 25 y 50. Existe un área de inundación en la margen izquierda, que abarca desde la entrada al modelo, hasta la sección 2, con profundidades menores a 1m. Las elevaciones máximas obtenidas alcanzan los 1188.7msnm para la sección 1, 1188.21msnm para la sección 2 (en el paso de la tubería), 1187.38msnm en la sección 3 y 1186.89msnm en la última sección.

El último modelo realizado corresponde a la cuenca P4. Los rangos de velocidades en la línea central del río van entre 4.1-5.2m/s para T=2. En el caso de T=25, los valores están entre 4.3 - 7.0m/s y para el modelo T=50, entre 6.6-7.7m/s en la región comprendida entre las secciones 1 y 2 y disminuye a 5.5-6.6m/s aguas abajo de la sección 2. En la sección 1, la lámina del agua alcanza la tubería, por lo que debe considerarse la elevación máxima de 1193.3msnm. En las dos secciones restantes no se evidencia ningún riesgo. La cota del agua máxima llega a 1192.15msnm en la sección 2 y en la sección 3 es de 1192.12msnm.

Para todos los pasos de tubería y secciones en zonas de inundación, es importante proteger la tubería con una estructura para evitar que sea golpeada por objetos o material que arrastre el río durante una creciente.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chow, V.T; Maidment, D. Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Editorial McGraw Hill Interamericana. Santa Fé de Bogotá, Colombia.

Hojas Cartográficas IGN: Costa Rica Transversal Mercator CRTM05 (1984). Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica.

Vahrson, W.; Alfaro, M.; Arauz, I. (1992). Intensidades máximas de las tormentas sobre los centros urbanos más importantes de Costa Rica. Memoria del IV. Congreso de recursos hidráulicos y saneamiento ambiental: 245-256. Costa Rica.