



Dirección Nacional de Aguas

**Estudios hidrológicos e hidráulicos del
Arroyo La Caballada, Colonia.
Compra directa N° 148.**

Este documento ha sido editado para ser impreso
doble faz. Las hojas en blanco se han interpuesto
para respetar la numeración del estilo de edición.

Informe final

**Estudio hidráulico e hidrológico del
arroyo La Caballada, departamento de
Colonia**

Marzo de 2017

Índice

1.	Introducción.....	7
2.	Armado del modelo	9
2.1.	Descripción del sistema de modelación HEC-RAS	9
2.2.	Delimitación de cuencas	9
2.3.	Definición de caudales de aporte	10
2.3.1.	Tormenta de diseño	11
2.3.2.	Precipitación efectiva.....	16
2.3.3.	Hidrogramas de salida para cada cuenca.....	17
2.4.	Esquema geométrico del modelo	19
2.4.1.	Secciones transversales.....	20
2.4.2.	Alcantarillas y puentes	20
2.5.	Coeficientes de resistencia	21
3.	Modelación de la situación actual	25
3.1.	Características de la modelación	25
3.1.1.	Esquemmatización del modelo	25
3.1.2.	Definición de la condición de borde aguas abajo	26
3.2.	Validación del modelo	27
3.2.1.	Inundación de 2014.....	27
3.2.2.	Creciente máxima conocida en el puente de Ruta N° 1.....	30
3.3.	Resultados obtenidos	31
3.4.	Evaluación de los resultados.....	42
3.4.1.	Niveles – Caudal	42
3.4.2.	Influencia del Río de la Plata en los niveles del arroyo	42
3.4.3.	Remanso producido por alcantarillas y puentes.....	43
4.	Posibles modificaciones.....	45

Informe final.

4.1.	Medidas tendientes a atenuar los problemas de inundación.....	45
4.1.1.	Ensanche y profundización del canal principal en el bañado.....	45
4.1.2.	Eliminación del puente de la Ruta N° 1 vieja.....	53
4.1.3.	Construcción de embalses de laminación	60
4.1.4.	Estimación de costos	83
4.2.	Efecto de construir rellenos en las márgenes del bañado	84
4.2.1.	Estimación de costos	90
5.	Conclusiones	91

ANEXO I: Gráficos Altura – Caudal en las principales transectas del A° La Caballada

Índice de figuras

Figura 2.1 Cuencas de aporte	10
Figura 2.2 Tormenta de diseño para Tr= 2 años.....	13
Figura 2.3 Tormenta de diseño para Tr=10 años.....	14
Figura 2.4 Tormenta de diseño para Tr=20 años.....	14
Figura 2.5 Tormenta de diseño para Tr=100 años.....	15
Figura 2.6 Tormenta de diseño para Tr=500 años.....	15
Figura 2.7 Hidrogramas de salida Cuenca 1	18
Figura 2.8 Hidrogramas de salida Cuenca 2	19
Figura 2.9 Ubicación de las secciones transversales relevadas.....	20
Figura 2.10 Puente de la Ruta N° 1 vieja	21
Figura 2.11 Puente de Ruta N° 1	21
Figura 3.1 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – planta.....	25
Figura 3.2 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – perfil del arroyo La Caballada	26
Figura 3.3 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – perfil del Arroyo del General.	26
Figura 3.4 Relación entre el período de retorno y la precipitación de 24 horas de duración..	28
Figura 3.5 Comparación de niveles simulados y observados en el Arroyo La Caballada	29
Figura 3.6 Comparación de niveles simulados y observados en el Arroyo del General.....	30
Figura 3.7 Hidrograma para 1.000 años de período de retorno con condiciones antecedentes de humedad tipo III.....	31
Figura 3.8 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=2 años.....	38
Figura 3.9 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=2 años	38
Figura 3.10 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=10 años.....	39
Figura 3.11 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=10 años.....	39
Figura 3.12 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=20 años.....	40
Figura 3.13 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=20 años.....	40
Figura 3.14 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=100 años.....	41
Figura 3.15 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=100 años.....	41
Figura 3.16 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=500 años.....	42
Figura 3.17 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=500 años.....	42
Figura 3.18 Diferencia de niveles en La Caballada por la presencia de alcantarillas y puentes	43
Figura 4.1 Ensanchamiento del canal principal en la zona de bañado.....	46
Figura 4.2 Profundización del canal principal en la zona de bañado	46
Figura 4.3 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=2 años.....	47
Figura 4.4 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=10 años.....	47
Figura 4.5 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=20 años.....	48

Informe final.

Figura 4.6 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para $Tr=100$ años	48
Figura 4.7 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para $Tr=500$ años	49
Figura 4.8 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de ensanche y profundización de la zona de bañado.....	50
Figura 4.9 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta 1 vieja, para $Tr=2$ años.....	54
Figura 4.10 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para $Tr=10$ años.....	55
Figura 4.11 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para $Tr=20$ años.....	55
Figura 4.12 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para $Tr=100$ años.....	56
Figura 4.13 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para $Tr=500$ años.....	56
Figura 4.14 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de eliminación del puente sobre la Ruta N° 1 vieja.....	57
Figura 4.15 Embalse del arroyo La Caballada	61
Figura 4.16 Caudales de entrada al embalse del arroyo La Caballada	62
Figura 4.17 Altura máxima obtenida en el embalse del arroyo La Caballada para cada período de retorno en función del valor de la constante K.....	63
Figura 4.18 Caudal máximo de salida del embalse del arroyo La Caballada	64
Figura 4.19 Relación del caudal máximo de salida y el caudal máximo de entrada del embalse del arroyo La Caballada	64
Figura 4.20 Ejemplo de caudal de entrada y salida del embalse del arroyo La Caballada para $Tr=10$ años.....	65
Figura 4.21 Relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa	66
Figura 4.22 Embalse del Arroyo del General	67
Figura 4.23 Caudales de entrada al embalse del Arroyo del General	68
Figura 4.24 Altura máxima obtenida en el embalse del Arroyo del General para cada período de retorno en función del valor de la constante K.....	68
Figura 4.25 Caudal máximo de salida del embalse del Arroyo del General	69
Figura 4.26 Relación del caudal máximo de salida y el caudal máximo de entrada del embalse del Arroyo del General.....	70
Figura 4.27 Relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa	71
Figura 4.28 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, $Tr=2$ años	72
Figura 4.29 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, $Tr=2$ años	72

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Figura 4.30 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, Tr=10 años.....	73
Figura 4.31 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, Tr=10 años.....	73
Figura 4.32 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, Tr=20 años.....	74
Figura 4.33 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, Tr=20 años.....	74
Figura 4.34 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, Tr=100 años.....	75
Figura 4.35 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, Tr=100 años.....	75
Figura 4.36 Diferencia de niveles del arroyo La Caballada en la situación actual y con el embalse en el Arroyo del General.....	76
Figura 4.37 Diferencia de niveles del Arroyo del General en la situación actual y con el embalse en el mismo arroyo.....	77
Figura 4.38 Límites del relleno de tierras en la zona de bañado.....	85
Figura 4.39 Remanso producido por el relleno en las márgenes del arroyo	90

Índice de tablas

Tabla 2.1 Características físicas de las cuencas.....	10
Tabla 2.2 Tiempo de concentración para cada cuenca	11
Tabla 2.3 Coeficiente a y b para calcular la intensidad de precipitación según los diferentes Tr	12
Tabla 2.4 Unidad de suelo, grupo hidrológico y porcentaje de cobertura de las cuencas	16
Tabla 2.5 Numero de Curva (NC) para cada grupo hidrológico.....	17
Tabla 2.6 Numero de curva (NC) para cada cuenca	17
Tabla 2.7 – Caracterización de tramos de cauce modelados	19
Tabla 2.8 Valores del coeficiente de Manning para flujos en canales – Manual de DINAGUA	22
Tabla 2.9 Coeficientes de rugosidad para varias superficies de canales abiertos – Ven te Chow	22
Tabla 3.1 Nivel del Río de la Plata considerado como condición de borde aguas abajo	27
Tabla 3.2 Mayores valores de precipitación diaria registrados para La Estanzuela.....	27
Tabla 3.3 Comparación de niveles observados para la tormenta del 2014 con los simulados	28
Tabla 3.4 Niveles simuladas para los períodos de retorno estudiados.....	32
Tabla 3.5 Remanso máximo producido por alcantarillas y puentes	43
Tabla 4.1 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de ensanche y profundización de la zona de bañado	50
Tabla 4.2 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de eliminación del puente sobre la Ruta N° 1 vieja.....	57

Informe final.

Tabla 4.3 Diferencia de niveles del arroyo La Caballada en la situación actual y con el embalse en el Arroyo del General.....	77
Tabla 4.4 Diferencia de niveles del Arroyo del General en la situación actual y con el embalse en el mismo arroyo	81
Tabla 4.5 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de relleno de las márgenes del arroyo	85
Tabla 4.6 Remanso máximo producido por el relleno para los diferentes Tr	90

Versión	Fecha	Responsables de elaboración	Responsable de aprobación	Detalle
01	07.04.2017	JR-AP	AP	Revisión 1

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

A través de la Compra Directa No 148, el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente contrató los servicios de CSI Ingenieros para la elaboración de los estudios hidrológicos e hidráulicos del arroyo La Caballada, en el departamento de Colonia, a los efectos de identificar y proponer soluciones a los problemas de inundación en dicho curso de agua.

Este arroyo se ubica al este de la ciudad de Colonia del Sacramento, con un recorrido con dirección principal norte-sur, desembocando en el Río de la Plata, en el extremo este de la playa Ferrando. Tiene una extensión total de 23,4 km y una cuenca de aporte de 137,2 km². En su recorrido atraviesa dos asentamientos irregulares, Villa Ferrando (rivera oeste) y Villa Esperanza (rivera este) y presenta un amplio bañado a unos 3 km antes de su desembocadura, aguas arriba del cruce con la Ruta 1. Por su margen izquierda recibe el aporte del Arroyo del General.

Para realizar el diagnóstico general del comportamiento actual del arroyo se realizó el estudio hidrológico del curso y sus cuencas de aporte, y la modelación hidrodinámica utilizando el programa *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (en adelante HEC-RAS) desarrollado por el *US Army Corps of Engineers*, y distribuido en forma libre.

Los estudios hidrológicos se realizaron tomando en cuenta el drenaje pluvial existente de las cuencas de aporte y permitieron obtener los hidrogramas de ingreso de caudal al modelo hidrodinámico, calculados para eventos extremos, con los períodos de recurrencia indicados en el pliego (2, 10, 20, 100 y 500 años).

El modelo hidrodinámico del arroyo permitió realizar la simulación hidráulica para diferentes tormentas de diseño y elaborar así el diagnóstico general del comportamiento del curso de agua, el cual incluyó: a) generación de mapas de inundación para cada período de retorno, de modo de poder determinar el grado de vulnerabilidad de cada zona ribereña; y b) estudio de remansos producidos por las condiciones de descarga en el Río de la Plata y/o por estrangulamiento de puentes, alcantarillas, terraplenes laterales o vegetación.

Tanto para el estudio hidrológico como para la generación del modelo hidrodinámico y el análisis de inundación se utilizó la cartografía base y relevamiento topográfico y batimétrico suministrada por el contratista.

A partir del diagnóstico, se analizaron medidas de mejora a la situación de inundabilidad realizando cambios físicos al curso de agua, las planicies de inundación o las estructuras de cruce (puentes y alcantarillas), o realizando cambios en la cuenca que modifiquen los hidrogramas de aporte. Estas medidas de mejora se evaluaron corriendo nuevamente el modelo hidrodinámico en las nuevas condiciones.

En los siguientes capítulos se presentan los trabajos realizados y los resultados obtenidos. En lo referente al estudio hidrológico, el informe incluye el plano de ubicación de las cuencas de aporte al arroyo, así como todos los elementos utilizados para los cálculos de los hidrogramas, de modo que puedan ser reproducidos independientemente. En la parte de modelación hidrodinámica, se incluye toda la información sobre la discretización del modelo, y los resultados obtenidos para cada período de retorno, llegando a un diagnóstico del comportamiento hidráulico actual del arroyo.

Por último, el informe incluye la presentación de las propuestas de mejora en cuanto a niveles de crecida en el arroyo, los nuevos modelos para cada una de estas soluciones y sus resultados.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Estructuralmente el informe se desarrolla en cuatro capítulos además del presente capítulo introductorio.

En el capítulo 2 se presenta el desarrollo y validación del modelo hidrodinámico, incluyendo el estudio hidrológico para la definición de los hidrogramas de entrada al modelo. En el capítulo 3 se presentan los resultados de la modelación para la situación actual. El capítulo 4 incluye la identificación y costeo de obras de intervención en el arroyo tendientes a mejorar la problemática de inundaciones de la situación actual. Finalmente el capítulo 5 incluye las conclusiones del estudio hidrológico e hidráulico del arroyo La Caballada.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

CAPÍTULO 2

ARMADO DEL MODELO

2. ARMADO DEL MODELO

2.1. Descripción del sistema de modelación HEC-RAS

El HEC-RAS es un sistema de modelación hidrodinámica diseñado para simular el flujo unidimensional en redes de canales naturales y artificiales a superficie libre. El modelo es desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers* y ha sido extensamente testado.

El sistema contiene cuatro componentes principales para el análisis hidráulico de las conducciones:

- Cálculo del perfil de la superficie libre para flujo estacionario.
- Simulación de flujo no estacionario.
- Cálculo de transporte de sedimentos con lecho móvil.
- Análisis de calidad de agua.

El elemento clave del sistema de modelación es que los cuatro componentes utilizan el mismo modelo físico y las mismas rutinas para el cálculo hidráulico y geométrico. Además, el sistema contiene varias utilidades para diseño de estructuras hidráulicas, que pueden ser invocadas una vez que los perfiles básicos de la superficie libre hayan sido calculados.

2.2. Delimitación de cuencas

El modelo bajo estudio comprende tanto al arroyo La Caballada como a su afluente principal, el Arroyo del General. En tal sentido, para la concepción del modelo hidrodinámico se consideró al dominio compuesto por tres tramos, uno correspondiente al Arroyo del General, otro al arroyo La Caballada aguas arriba de la confluencia con el Arroyo del General, y el tercero al arroyo La Caballada desde la confluencia hasta la desembocadura en el Río de la Plata.

De este modo, la cuenca de aporte del arroyo La Caballada está conformada por las cuencas del propio arroyo y la cuenca del Arroyo del General, habiéndose entonces definido dos puntos de ingreso de caudales para el estudio hidráulico del arroyo.

En todos los casos, la delimitación de las cuencas se realizó siguiendo la topografía del área, tomando en consideración las curvas de nivel cada 2,0 m del IDE (infraestructura de datos espaciales).

La Figura 2.1 muestra el trazado y ubicación de ambas cuencas, cuyas características físicas se presentan en la Tabla 2.1.

Figura 2.1 Cuencas de aporte



Tabla 2.1 Características físicas de las cuencas

Cuenca	Área (km ²)	Longitud hidráulica (km)	ΔH (m)	Pendiente (m/m)
1	64,4	23,4	70	0.0030
2	72,8	24,2	70	0.0029

2.3. Definición de caudales de aporte

Para la definición de los caudales de aporte de las sub-cuencas se utilizó el método del *Soil Conservation Service* (en adelante SCS). Este método calcula el volumen de escurrimiento de eventos extremos a partir de la precipitación, las características del suelo y cobertura de la cuenca. Además, propone la utilización de un Hidrograma Unitario triangular para la estimación del caudal máximo y el Hidrograma correspondiente al evento extremo, a partir de la precipitación efectiva.

El método consta de tres etapas:

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017

- Tormenta de diseño (Método del Bloque Alterno).
- Precipitación efectiva (Método del Número de Curva del SCS)
- Hidrograma Unitario (hidrograma triangular del SCS).

2.3.1. Tormenta de diseño

Las tormentas de diseño fueron armadas mediante el Método de Bloque Alterno, recomendado en el Capítulo 7.3.3 del Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de la Dirección Nacional de Aguas (en adelante DINAGUA).

Las tormentas fueron construidas para 2, 10, 20,100 y 500 años de período de retorno, a partir de la información disponible de curvas de intensidad-duración-frecuencia presentada en el Capítulo 7.3.2 del Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de DINAGUA.

A continuación se presentan los cálculos realizados para la obtención de las diferentes tormentas de diseño.

En el Método de Bloque Alterno, la intensidad de la lluvia se divide en intervalos de tiempo, donde la intensidad de la lluvia se mantiene constante. Para determinar el tiempo de cada uno de estos intervalos o bloques del Método de Bloque Alterno se analizaron en primera instancia los tiempos de concentración de las dos cuencas, los que se estimaron a partir de la fórmula de Kirpich, a saber:

$$t_c = 0,066 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Dónde:

L es la longitud hidráulica de la cuenca (km), y corresponde a la mayor trayectoria del flujo.

S es la pendiente promedio de la trayectoria hidráulicamente más larga (m/m).

Tanto L como S se presentaron en la Tabla 2.1, mientras que la Tabla a continuación resume los tiempos de concentración obtenidos para cada cuenca.

Tabla 2.2 Tiempo de concentración para cada cuenca

Cuenca	Tiempo de concentración (horas)
1	7,1
2	7,3

Habiéndose estimado los tiempos de concentración para las cuencas, se seleccionó el tiempo para cada intervalo del Método de Bloque Alterno. Se seleccionó un único tiempo de intervalo ya que para la modelación, la tormenta de diseño debe ser la misma para ambas cuencas. Se eligió el tamaño del intervalo en función de la cuenca de menor tiempo de concentración, en este caso la Cuenca 1, asumiéndose un valor de 30 minutos.

Para el armado de las tormentas la cantidad de bloques considerados fue tal que cubra al menos el doble de duración que el mayor tiempo de concentración estimado. Se consideraron 30 bloques de 30 minutos de duración cada uno, donde la intensidad de la lluvia se mantiene constante.

La intensidad de precipitación es la tasa promedio de lluvia, expresada generalmente en milímetros por unidad de tiempo sobre una cuenca dada. El valor que asume está íntimamente ligado al período de retorno de la tormenta (T_r) y a la duración de la lluvia.

A efectos del cálculo de la intensidad de precipitación se emplearon las curvas IDF (intensidad – duración – frecuencia), presentadas de acuerdo a la Ley de Montana:

$$i = a \times t^b$$

Dónde:

I es la intensidad en mm/h.

t es la duración de la tormenta en horas.

a, b = coeficientes característicos; son función de la duración y del T_r y se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

- Para duraciones menores a 3,5 horas

$$a = P(3,10,p) \times (0,1241 \times \ln(T_r) + 0,317)$$

$$b = -0,547$$
- Para duraciones mayores a 3,5 horas

$$a = P(3,10,p) \times (0,1567 \times \ln(T_r) + 0,4017)$$

$$b = -0,725$$

Dónde:

T_r es el período de retorno en años.

$P(3,10,p)$ es la altura de precipitación para una tormenta de 3 horas de duración, 10 años de período de retorno, en mm. Se obtiene de la carta de isoyetas de lluvias extremas en Uruguay. Para la ubicación del arroyo en la zona de estudio adquiere un valor de 82 mm.

La Tabla a continuación resume los valores del coeficiente a y b para los diferentes períodos de retorno estudiados.

Tabla 2.3 Coeficiente a y b para calcular la intensidad de precipitación según los diferentes T_r

Período de retorno (años)	Duración < 3,5 horas		Duración > 3,5 horas	
	Coeficiente a	Coeficiente b	Coeficiente a	Coeficiente b
2	33,0	-0,547	41,8	-0,725
10	49,4	-0,547	62,5	-0,725
20	56,5	-0,547	71,4	-0,725
100	72,9	-0,547	92,1	-0,725

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

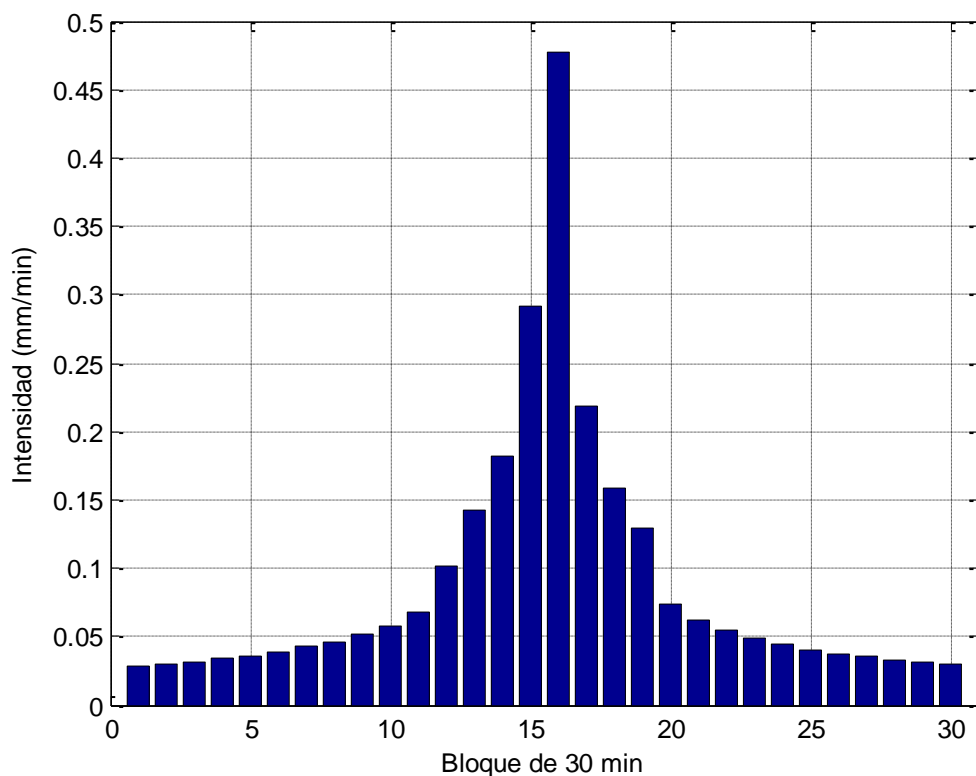
Período de retorno (años)	Duración < 3,5 horas		Duración > 3,5 horas	
	Coefficiente a	Coefficiente b	Coefficiente a	Coefficiente b
500	89,2	-0,547	112,8	-0,725

Para el armado de las tormentas se consideraron 30 bloques de 30 minutos de duración cada uno, con el pico en el centro de la tormenta. Se calcularon las precipitaciones de cada bloque con el Método del Bloque Alterno. De este modo siempre se tiene que la precipitación máxima en cualquier período múltiplo de 30 minutos corresponde con la fórmula anteriormente presentada.

Finalmente, por tratarse de una cuenca grande, se aplica un factor de corrección que se debe a que no es probable que la precipitación sea uniforme a lo largo de la superficie de la cuenca. El factor aplicado es función de la superficie de la cuenca.

Las Figuras a continuación muestran las tormentas de diseño resultantes para los diferentes períodos de retorno considerados.

Figura 2.2 Tormenta de diseño para $T_r = 2$ años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 2.3 Tormenta de diseño para Tr=10 años

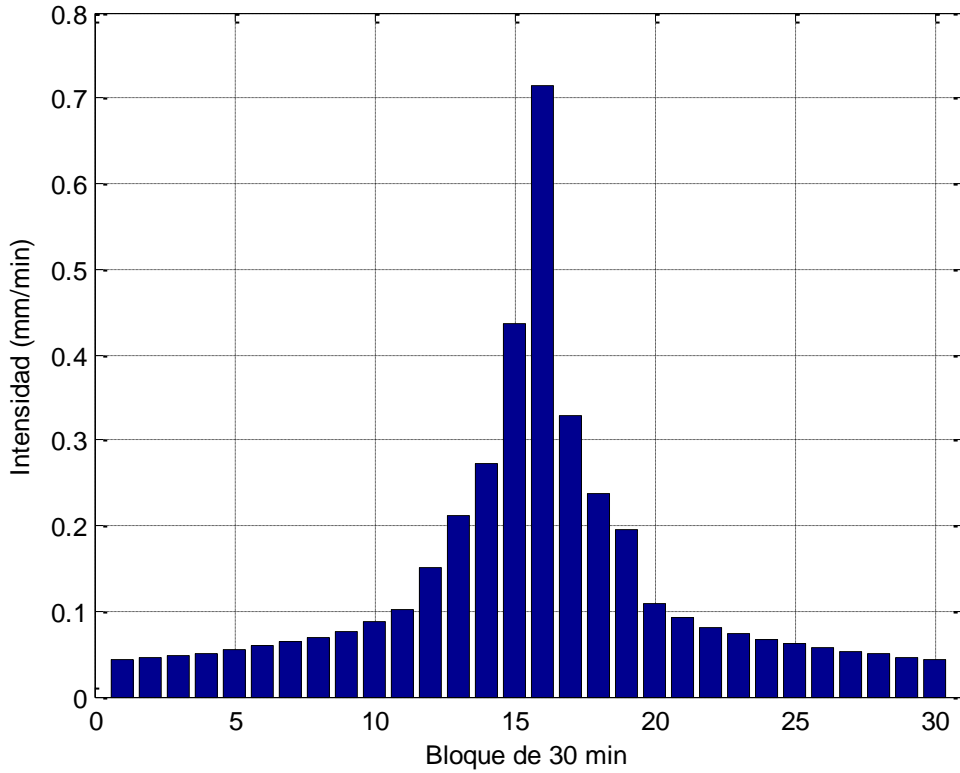
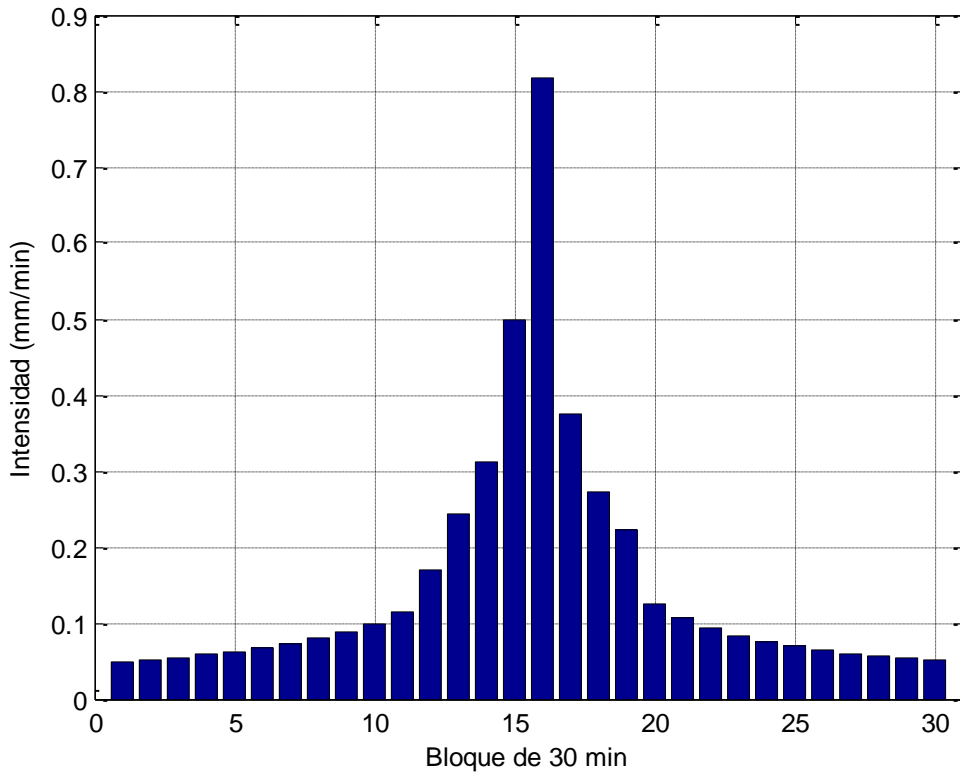


Figura 2.4 Tormenta de diseño para Tr=20 años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 2.5 Tormenta de diseño para Tr=100 años

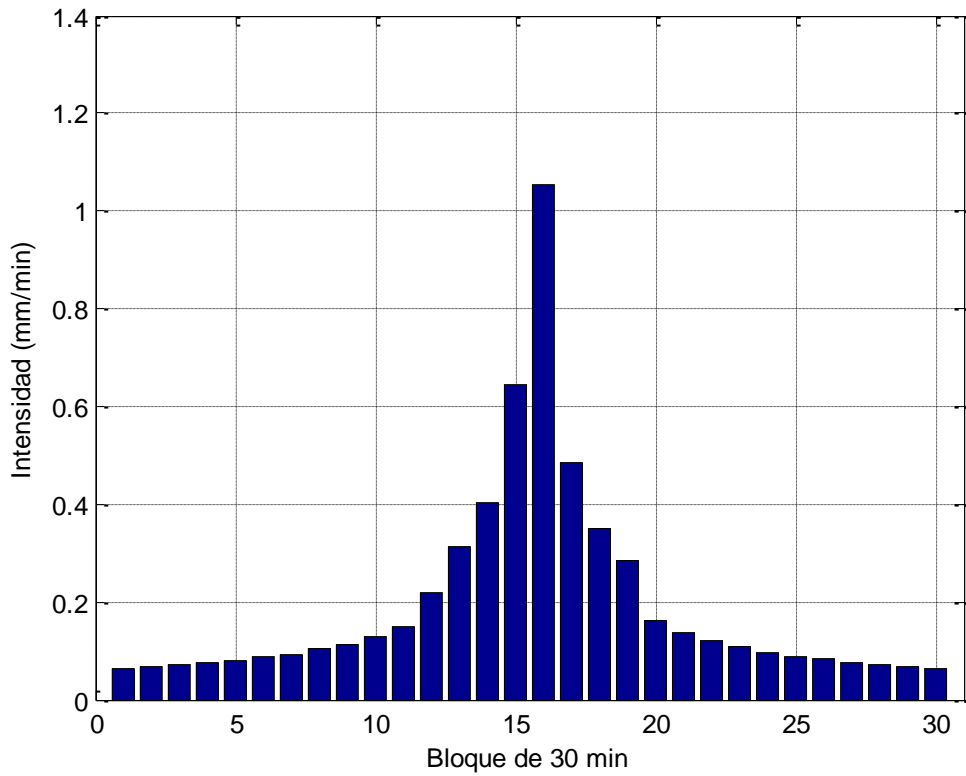
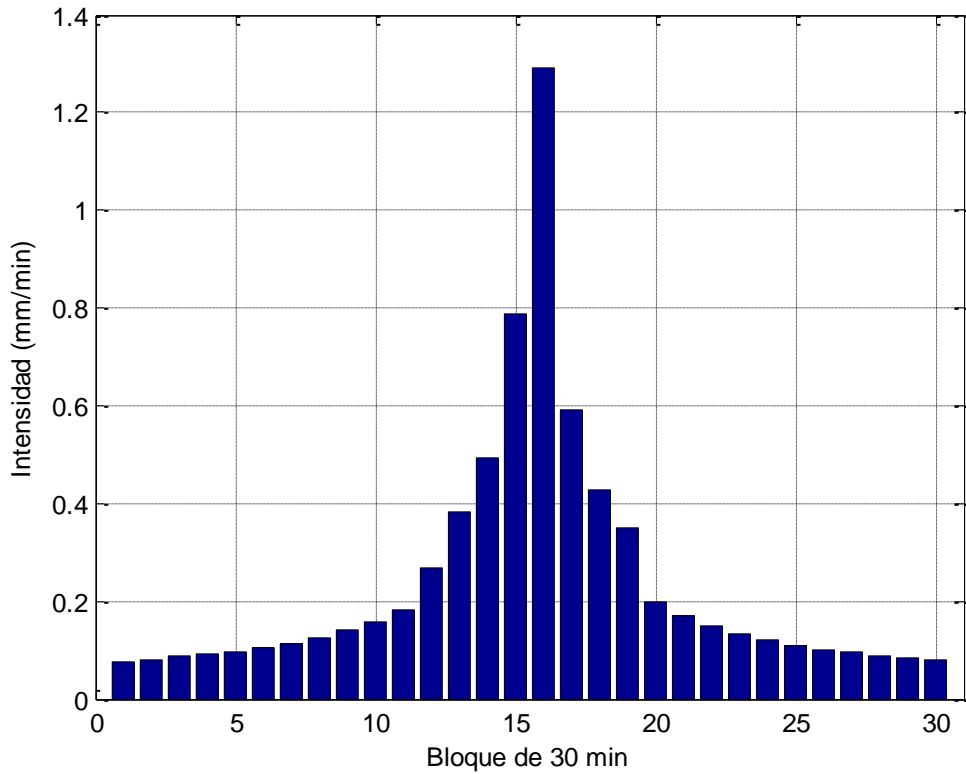


Figura 2.6 Tormenta de diseño para Tr=500 años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

2.3.2. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es aquella parte de la precipitación total caída sobre un área determinada que genera escorrentía directa. Esta se determinó a partir de la metodología presentada en el Capítulo 11.2.1.2 del Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de DINAGUA, para lo cual se requiere conocer las tormentas de diseño, ya determinadas en el Numeral anterior, y la unidad de suelo.

La precipitación efectiva se calcula para cada intervalo de la tormenta de diseño. A partir de la acumulada de la tormenta se calculó el volumen de escurrimiento empleando el método del Número de Curva (en adelante NC), siguiendo las ecuaciones que se muestran a continuación.

- Si la precipitación total $P < 0,2 S$

$$P_e = 0$$

- Si $P > 0,2 S$

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

Siendo S la retención potencial máxima del suelo, la cual depende del NC, que a su vez depende de los grupos hidrológicos de las formaciones presentes y de su cobertura. Dicha retención ajustada para el Uruguay se calcula como:

$$S = 25,4 \times \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right)$$

Los NC han sido tabulados por el SCS con base en el tipo de suelo, del uso y cobertura del mismo y también de su condición hidrológica.

Para definir el tipo de suelo de las cuencas de aporte delimitadas se recurrió a la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, habiéndose identificado la presencia de diferentes tipos de suelos, correspondientes a dos unidades de suelo distintas, las que se resumen en la Tabla a continuación, indicando además el grupo hidrológico al que pertenece y el porcentaje que ocupa en cada una de las dos cuencas.

Tabla 2.4 Unidad de suelo, grupo hidrológico y porcentaje de cobertura de las cuencas

Unidad de suelo	Abreviación	Grupo hidrológico	% Cuenca 1	% Cuenca 2
Ecilda Paullier – Las Brujas	EP-LB	C	89,4	95,1
Kiyú	Ky	C/D	10,6	4,9

En cuanto al uso de suelo y cobertura, a partir de la observación mediante imagen satelital obtenida de Google Earth ® se aprecia la predominancia de usos agropecuarios: praderas y cultivos. Si bien en la actualidad es posible apreciar mayor porcentaje de pradera que de cultivos, previéndose una expansión de la tierra cultivada y considerando que los NC de cultivos son mayores que los de praderas se consideraron NC considerando 50% pradera y 50% cultivos.

Los distintos tipos de cultivos tienen distintos NC, por lo que se eligió un valor representativo, tal como se indica en la Tabla a continuación. Los valores de NC para el grupo hidrológico C/D son el promedio de C y D.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Tabla 2.5 Numero de Curva (NC) para cada grupo hidrológico

NC	Grupo hidrológico		
	C	D	C/D
Cultivos	85	88	87
Pradera	79	84	82
Valor ponderado	82		84

Utilizando los porcentajes de ocupación de la Tabla 2.4 y los NC para cada grupo hidrológico se obtuvo el NC para cada cuenca.

Tabla 2.6 Numero de curva (NC) para cada cuenca

Cuenca	NC
Cuenca 1	82
Cuenca 2	82

2.3.3. Hidrogramas de salida para cada cuenca

Para cada cuenca fue construido un Hidrograma Unitario de acuerdo a sus características de tiempo de concentración y área según la metodología del SCS presentada en el Capítulo 11.2.1.3 del Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de DINAGUA.

En base a esta metodología, para cada cuenca se calculó el Hidrograma unitario de duración igual al tiempo de concentración de la misma (ver Tabla 2.2). Se utilizó el método del Hidrograma Unitario Triangular del SCS. El Hidrograma Unitario consiste en un triángulo que posee la siguiente forma:

$$t_p = \frac{D}{2} + 0,6 \times t_c$$

$$t_b = 2,667 \times t_p$$

$$q_p = \frac{0,208 \times A}{t_p}$$

Dónde:

t_p es el tiempo del pico del hidrograma (horas)

D es la duración del bloque de precipitación (horas)

t_c es el tiempo de concentración (horas)

t_b es el tiempo base (horas)

q_p es el caudal pico del hidrograma (m^3/s)

A es el área de la sub-cuenca (km^2)

Posteriormente aplicando las propiedades de linealidad y superposición, se multiplica el Hidrograma Unitario obtenido por cada Incremento de escurrimiento y se suman dichos hidrogramas desfasándolos en el tiempo.

De esta manera se obtiene un Hidrograma correspondiente a la tormenta de diseño cuya integral en el tiempo es igual al volumen escurrido en dicha tormenta desde esa cuenca.

Las Figuras a continuación muestran los Hidrogramas de salida de cada cuenca (Hidrograma de entrada para la modelación), considerando los diferentes períodos de retorno.

Figura 2.7 Hidrogramas de salida Cuenca 1

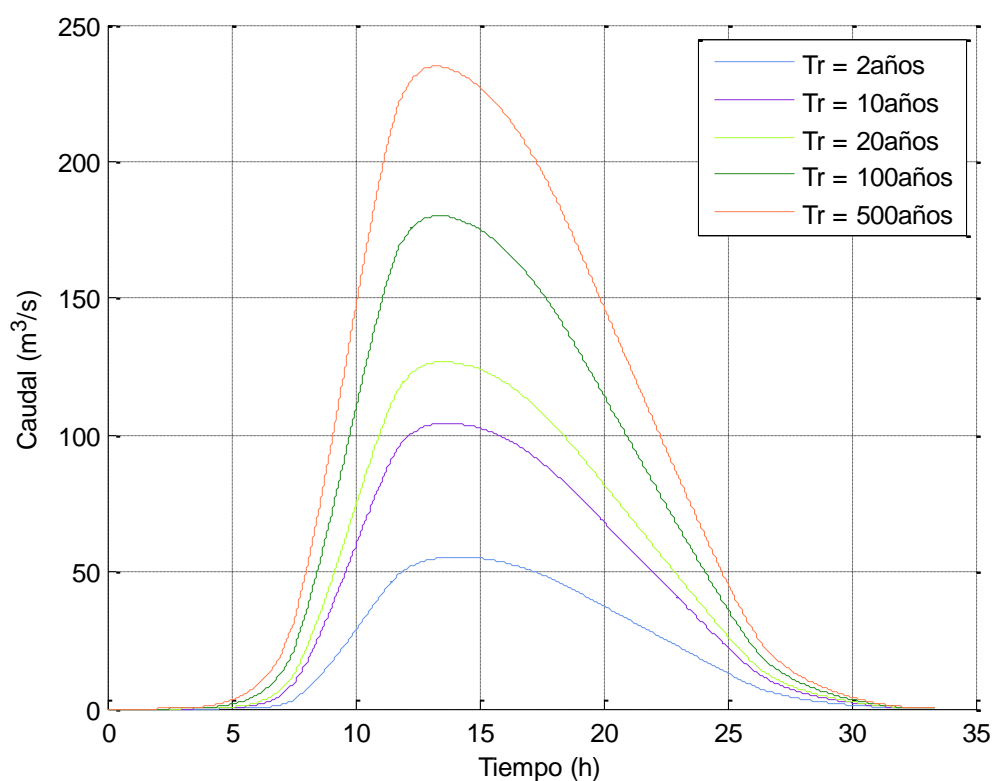
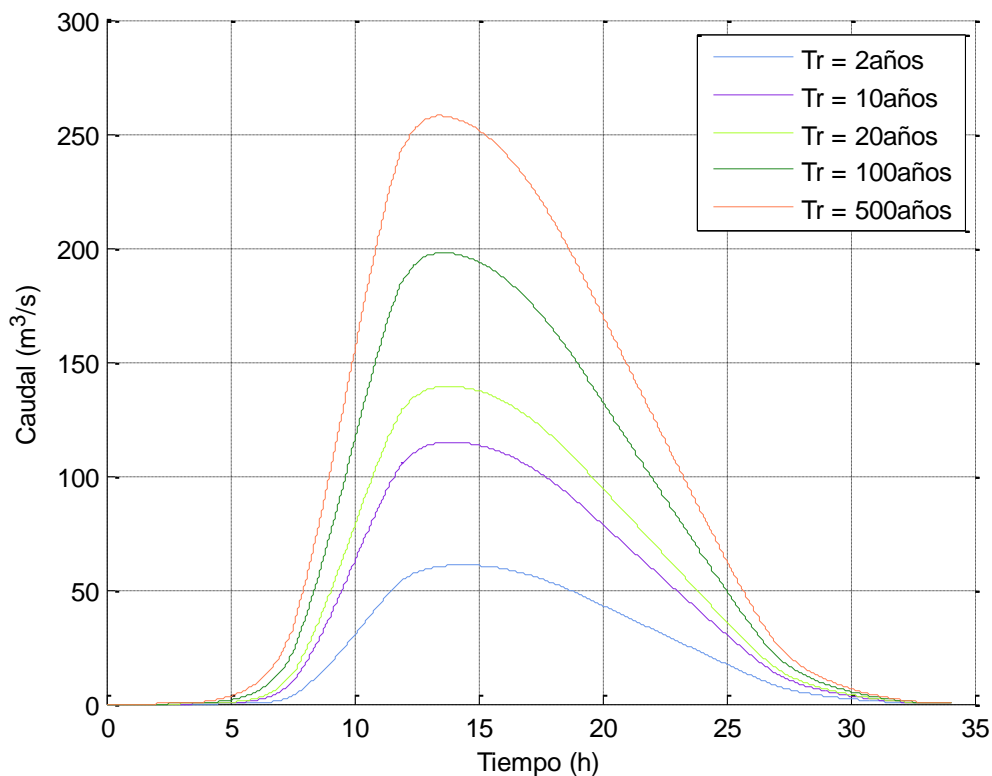


Figura 2.8 Hidrogramas de salida Cuenca 2



2.4. Esquema geométrico del modelo

Se realizó la modelación hidrodinámica unidimensional de los Arroyos La Caballada y Del General en los tramos donde se dispone información de relevamiento topográfico.

Se modeló una longitud total de 10,8 km del Arroyo La Caballada (2 tramos) y 3,9 km del Arroyo del General (1 tramo). Sus principales características se sintetizan en la tabla que sigue:

Tabla 2.7 – Caracterización de tramos de cauce modelados

Arroyo	Progresiva de aguas arriba	Progresiva de aguas abajo	Longitud (m)	Pendiente media (por extremos)	Rango de profundidades de canal principal (m)
La Caballada	10.779,96	5.424,96	5.355,00	0,06%	0,3 – 2,7
La Caballada	5.359,96	0	5.359,96	0,10%	0,7 – 6,7
Del General	9.344,96	5434,96	3.910,00	0,04%	0,6 – 9,3

El Arroyo La Caballada cuenta con una zona de bañado en la confluencia con el Arroyo del General, hasta la progresiva 3.749,96.

A continuación se presenta la información relativa a secciones transversales y obras hidráulicas existentes incorporadas al modelo.

Informe final.

2.4.1. Secciones transversales

Para el armado del modelo se dispuso de información topográfica entregada por el contratante. Dicha información corresponde a dos relevamientos distintos encomendados por la Intendencia de Colonia en dos etapas diferentes. En una primera etapa se relevaron 28 secciones transversales del arroyo La Caballada entre la Ruta 1 y el Río de la Plata, incluyendo los puentes de la Ruta 1, la Ruta 1 vieja y la vía férrea. Posteriormente, en el año 2016 se relevaron 10 secciones en el arroyo La Caballada y 5 secciones en el Arroyo del General, todas aguas arriba del puente de la Ruta 1, para complementar la zona de estudio. La Figura 2.9 muestra la ubicación de las secciones relevadas.

Figura 2.9 Ubicación de las secciones transversales relevadas



2.4.2. Alcantarillas y puentes

En el modelo se incluyeron las siguientes estructuras hidráulicas (alcantarillas y puentes) que afectan el flujo en el arroyo:

- Puente de vía férrea
- Puente de Ruta N° 1 vieja
- Puente de Ruta N° 1
- Alcantarilla de calle Municipio

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Aguas arriba existen otras alcantarillas pertenecientes a caminos vecinales. Por tratarse de alcantarillas totalmente inundables que se ubican lejos de la zona de interés del proyecto se consideró adecuado no incluirlas.

Respecto a las estructuras incluidas, se resalta la complejidad del puente de la Ruta N° 1 vieja, ya que se le agregaron estructuras en su base para mejorar su estabilidad, las que generan una obstrucción extra que para algunos niveles de agua implica una descarga libre. Se simuló esta estructura agregando una obstrucción a la sección inmediatamente aguas abajo del puente. La Figura 2.10 muestra la implementación del puente de la ruta vieja en el modelo, mientras que la Figura 2.11 muestra la implementación del puente sobre Ruta N° 1.

Figura 2.10 Puente de la Ruta N° 1 vieja

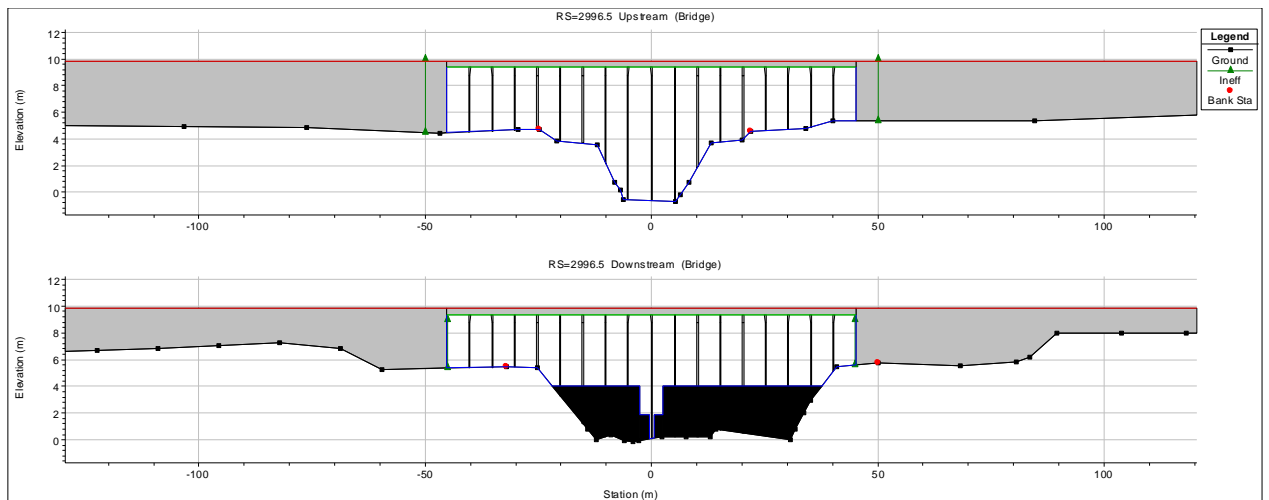
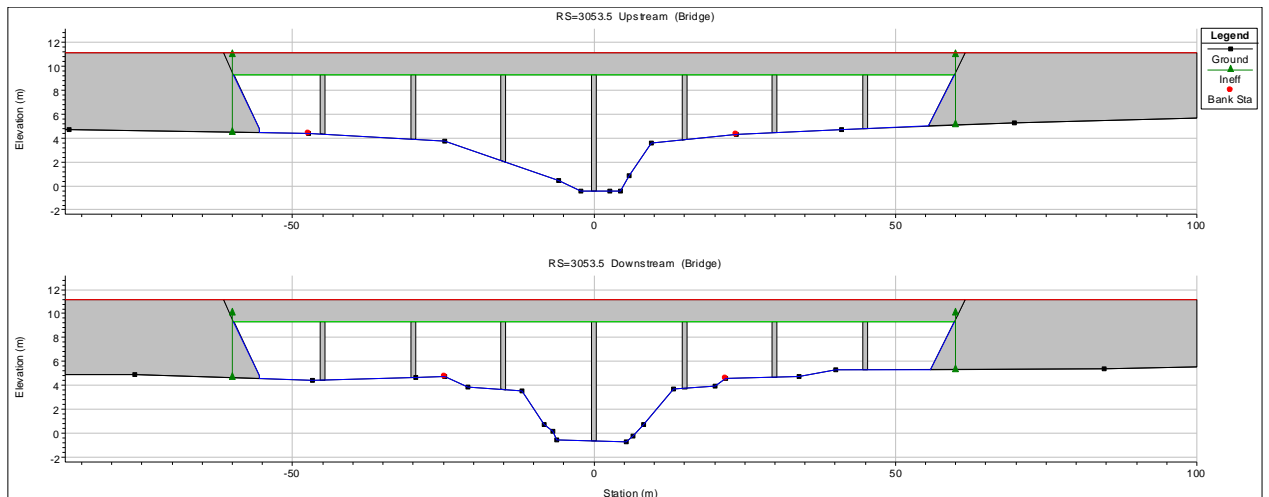


Figura 2.11 Puente de Ruta N° 1



2.5. Coeficientes de resistencia

Los valores de rugosidad de Manning de cauce y planicie para las diferentes secciones transversales de los arroyos se adoptaron de bibliografía, en base al relevamiento visual del curso.

Los datos bibliográficos considerados fueron aquellos incluidos en la Tabla 7.3 del Capítulo 7.2.1 del Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de DINAGUA, así como los coeficientes según Ven Te

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Chow citados en el libro Hidrología aplicada, MC Graw Hill. (Véanse Tabla 2.7 y Tabla 2.8 respectivamente).

Tabla 2.8 Valores del coeficiente de Manning para flujos en canales – Manual de DINAGUA

Tipo de canal	Coeficiente de Manning (n)
Canales revestidos	
De asfalto	0,013 – 0,017
De ladrillo	0,012 – 0,018
De hormigón	0,011 – 0,020
De escombros	0,020 – 0,035
De vegetación	0,03 – 0,04
Excavado o en zanja	
En tierra, recto y uniforme	0,020 – 0,030
En tierra, con curvas no uniforme	0,025 – 0,040
En roca	0,030 – 0,045
Sin mantenimiento	0,05 – 0,14
Canales o cauces naturales	
Sección más o menos regular	0,03 – 0,07
Sección irregular con charcos	0,04 – 0,10

Fuente: Manual de Diseño de Aguas Pluviales Urbanas de DINAGUA

Tabla 2.9 Coeficientes de rugosidad para varias superficies de canales abiertos – Ven te Chow

Material	Coeficiente de rugosidad de Manning típico (n)
Concreto	0,012
Fondo de grava con lados de concreto	0,020
Fondo de grava con lados de piedra	0,023
Fondo de grava con lados de riprap	0,033
Canales naturales	
Limpios y rectos	0,030
Limpios y curvos	0,040
Curvos con hierbas y piscinas	0,050
Con matorrales y árboles	0,100
Planicies de inundación	
Pastos	0,035

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017

Material	Coefficiente de rugosidad de Manning típico (n)
Cultivos	0,040
Hierbas y pequeños matorrales	0,050
Matorrales densos	0,070
Árboles densos	0,100

Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.

En lo que hace al canal principal se adoptó un valor de 0,04; dicho valor es el recomendado por Ven Te Chow para canales limpios y curvos, y está dentro del rango de valores recomendados por DINAGUA para canales de vegetación. En la zona del bañado, se adoptó un valor de 0,1 que corresponde a canales naturales con matorrales y árboles. Para las planicies de inundación se adoptó un valor mayor (0,4) para tomar en cuenta las obstrucciones de una trama urbana. Durante el armado del modelo se analizó cualitativamente la influencia de este valor en los niveles simulados, y al encontrarse que no son significativos se mantuvo el valor conservador de 0,4.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

CAPÍTULO 3

MODELACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3. MODELACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Características de la modelación

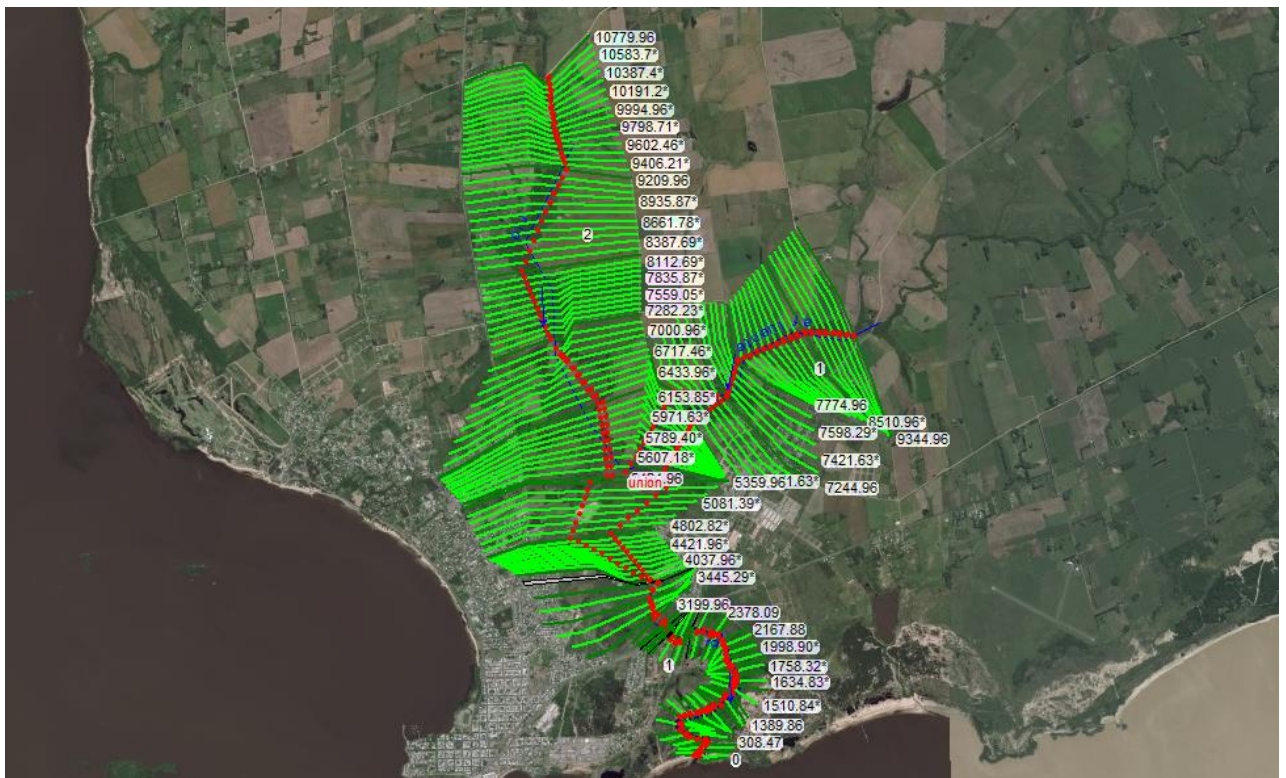
3.1.1. Esquemización del modelo

Para la modelación hidrodinámica del arroyo La Caballada y su afluente, el Arroyo del General, fue esquematizado un modelo en HEC-RAS, discretizando ambos cursos de agua en tramos y considerando los elementos hidráulicos e hidrológicos que conforman el sistema y que fueron presentados en el Capítulo 2 (caudales de entrada de las cuencas, secciones transversales, puentes y alcantarillas, coeficientes de resistencia de Manning).

El modelo incluye las secciones transversales obtenidas a partir del relevamiento topográfico, cuya descripción ya se presentó en el Numeral 2.4, y además se interpolaron secciones a los efectos de lograr una mejor distribución de secciones transversales de los dos cursos.

En la Figura 3.1 presenta el esquema de discretización adoptado para la modelación de los dos arroyos, mientras que las Figura 3.2 y Figura 3.3 muestran los perfiles del esquema para el arroyo La Caballada y del General respectivamente.

Figura 3.1 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – planta



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Figura 3.2 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – perfil del arroyo La Caballada

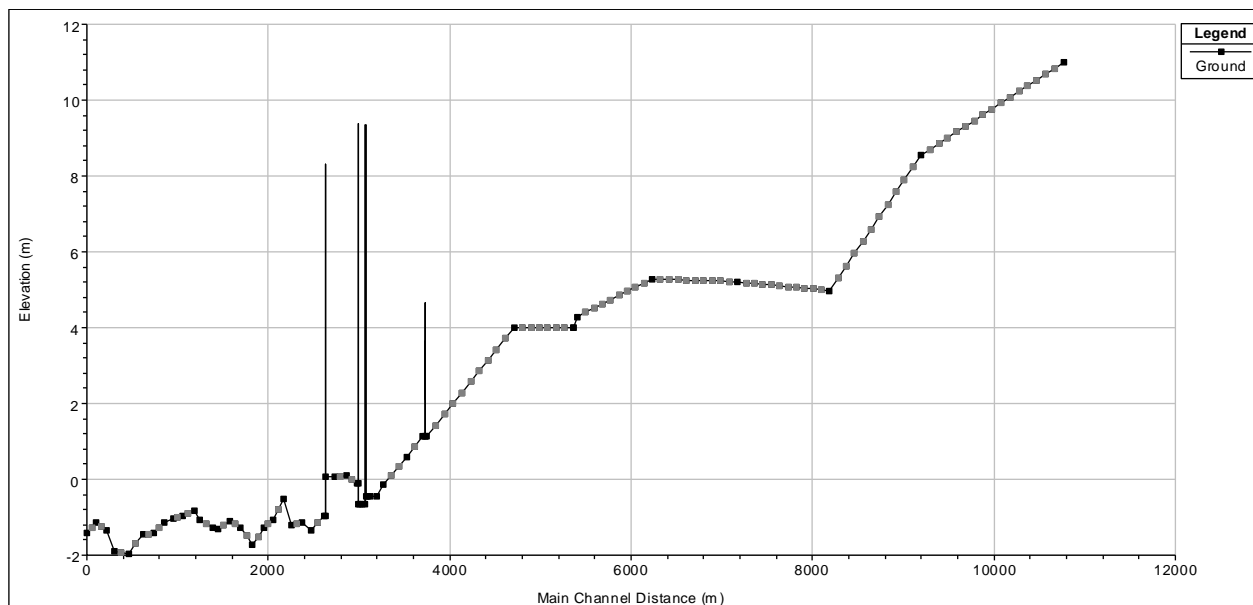
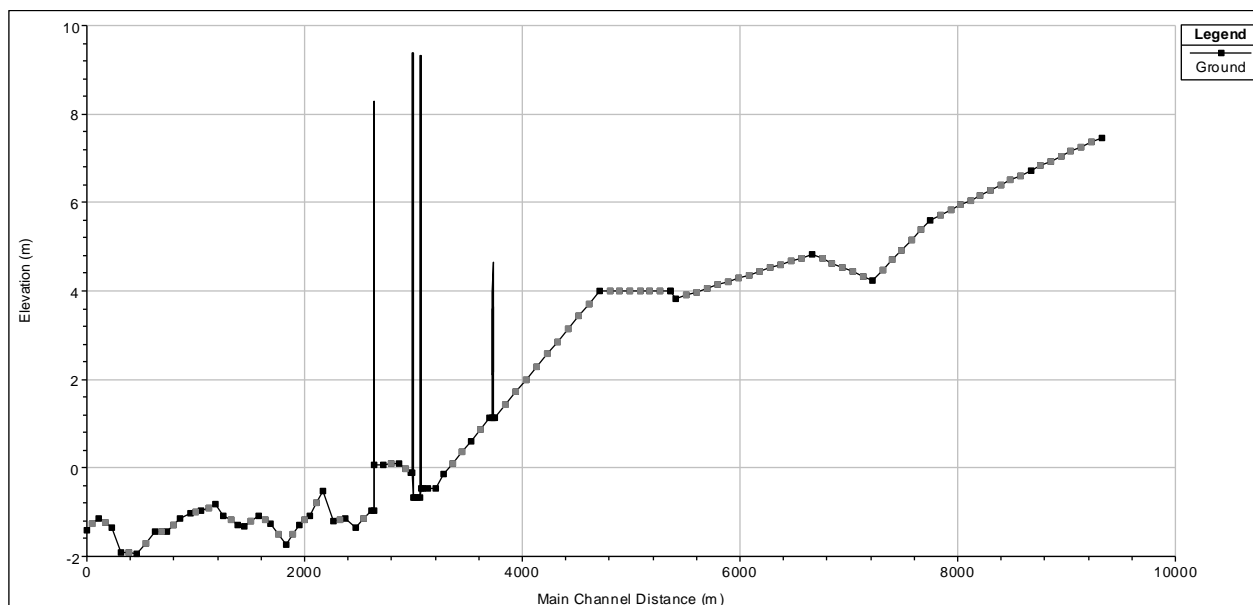


Figura 3.3 Esquema del modelo implementado en HEC-RAS – perfil del Arroyo del General



3.1.2. Definición de la condición de borde aguas abajo

Como condición de borde aguas abajo del modelo hidrodinámico se consideró el nivel del río de la Plata en la zona de la desembocadura del Arroyo La Caballada correspondiente a cada período de recurrencia considerado. Como excepción, para la tormenta de 500 años de período de retorno se utilizó el máximo nivel observado en el Río de la Plata; dicho nivel se observó en la ciudad de Montevideo con anterioridad al inicio de los registros de nivel en la ciudad de Colonia del Sacramento.

La Tabla a continuación muestra los niveles del Río de la Plata adoptados como condición de borde del modelo.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Tabla 3.1 Nivel del Río de la Plata considerado como condición de borde aguas abajo

Período de retorno (años)	Nivel del Río de la Plata (m)
2	2,10
10	2,63
20	2,84
100	3,30
500	3,49

3.2. Validación del modelo

Al ser una cuenca sin estaciones de medición de niveles y caudales, no se puede realizar una calibración. Existen sin embargo mediciones topográficas de los niveles de inundación alcanzados durante el evento registrado el 28 de octubre de 2014, y también se dispone del dato de creciente máxima conocida (previo a 1982) en el puente de la Ruta N°1.

3.2.1. Inundación de 2014

Se desconoce el caudal que generó esa inundación. Sin embargo, se dispone del dato de precipitación diaria en la estación La Estanzuela del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Dicha estación registra datos de precipitación diaria desde el año 1965, siendo el valor del día en cuestión el máximo registrado, igual a 255,2 mm. La Tabla 3.2 muestra los 10 mayores valores registrados en esa estación desde 1965.

Tabla 3.2 Mayores valores de precipitación diaria registrados para La Estanzuela

Fecha	Precipitación anual (mm)
28-10-2014	255,2
16-03-1966	173
03-06-2004	158,7
15-04-2016	157,3
23-02-1973	150
31-05-1985	148
21-04-2004	137,5
12-06-2012	134,3
13-02-1978	131
24-06-2006	126
16-10-1993	121

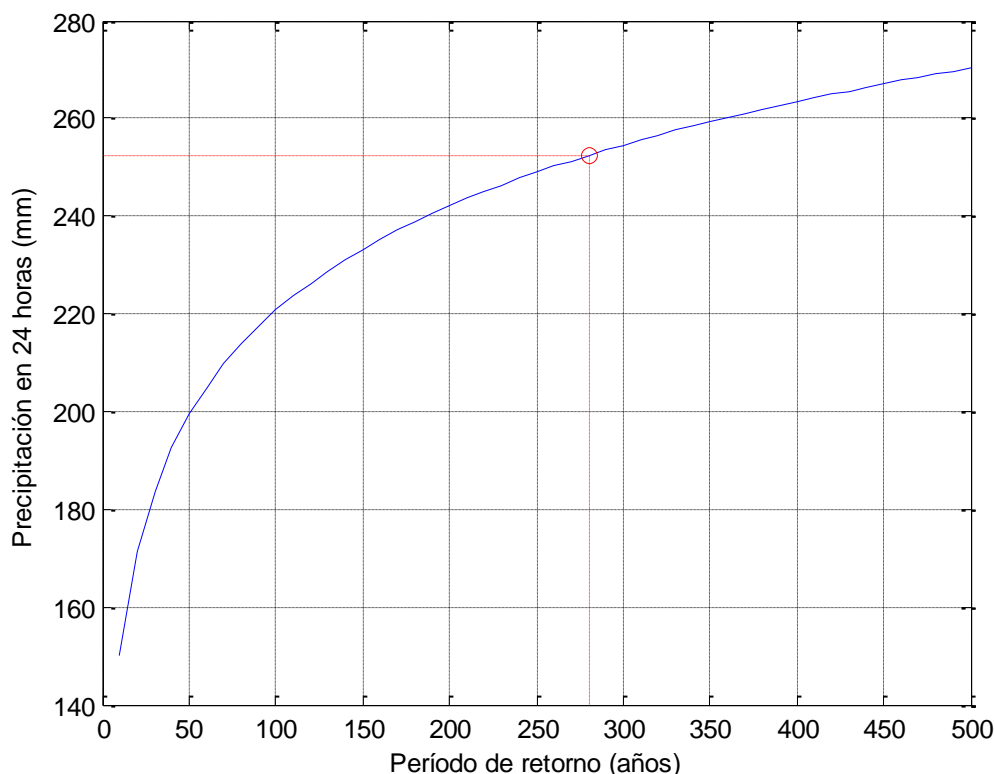
Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Siendo el tiempo de concentración de la cuenca del orden de 8 horas, el período de retorno de la tormenta de 24 horas de duración no es representativo del período de retorno del evento de inundación, pero a falta de un dato mayor se calculó dicho período de retorno como valor de referencia.

La siguiente Figura muestra la relación entre el período de retorno y la precipitación de 24 horas de duración para la ubicación de la cuenca. Allí se ve que el período de retorno es de aproximadamente 280 años.

Figura 3.4 Relación entre el período de retorno y la precipitación de 24 horas de duración



Las precipitaciones de 24 horas para 100 y 500 años de período de retorno son 221 mm y 270 mm respectivamente. Por lo tanto, la validación consistió en verificar que los niveles observados en la tormenta de octubre del 2014 estén entre los simulados para 100 y 500 años de período de retorno. La Tabla 3.3 presenta los niveles observados y simulados en las secciones transversales donde se cuenta con niveles relevados.

Tabla 3.3 Comparación de niveles observados para la tormenta del 2014 con los simulados

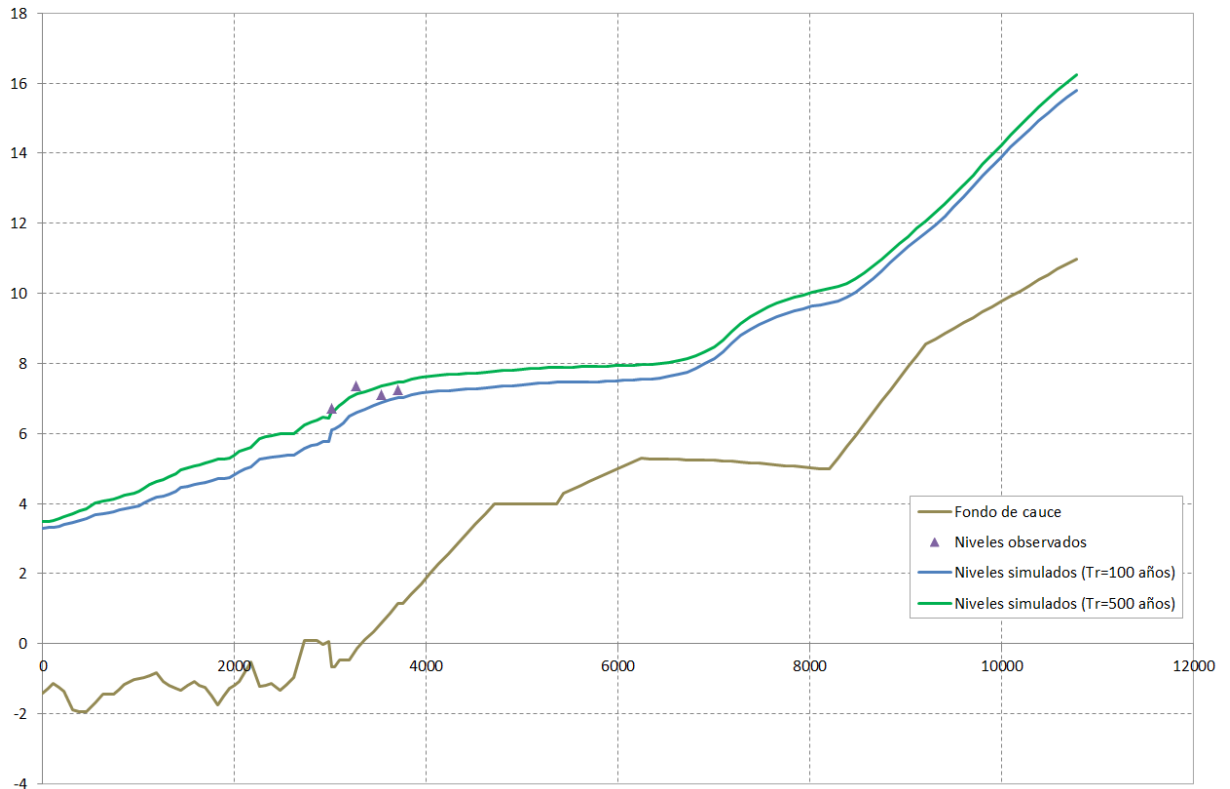
Arroyo	Sección	Nivel observado (m)	Nivel simulado (m)	
			Tr 100	Tr 500
La Caballada	3.011,46	6,73	6,1	6,64
La Caballada	3.271,96	7,37	6,61	7,13
La Caballada	3.531,96	7,1	6,88	7,35
La Caballada	3.701,96	7,26	7,01	7,46

Informe final.

Arroyo	Sección	Nivel observado (m)	Nivel simulado (m)	
			Tr 100	Tr 500
Del General	5.434,96	7,51	7,46	7,89
Del General	6.778,29*	9,37	9,98	10,46

Las figuras que siguen permiten contrastar los niveles observados con los simulados para Tr=100 y 500 años:

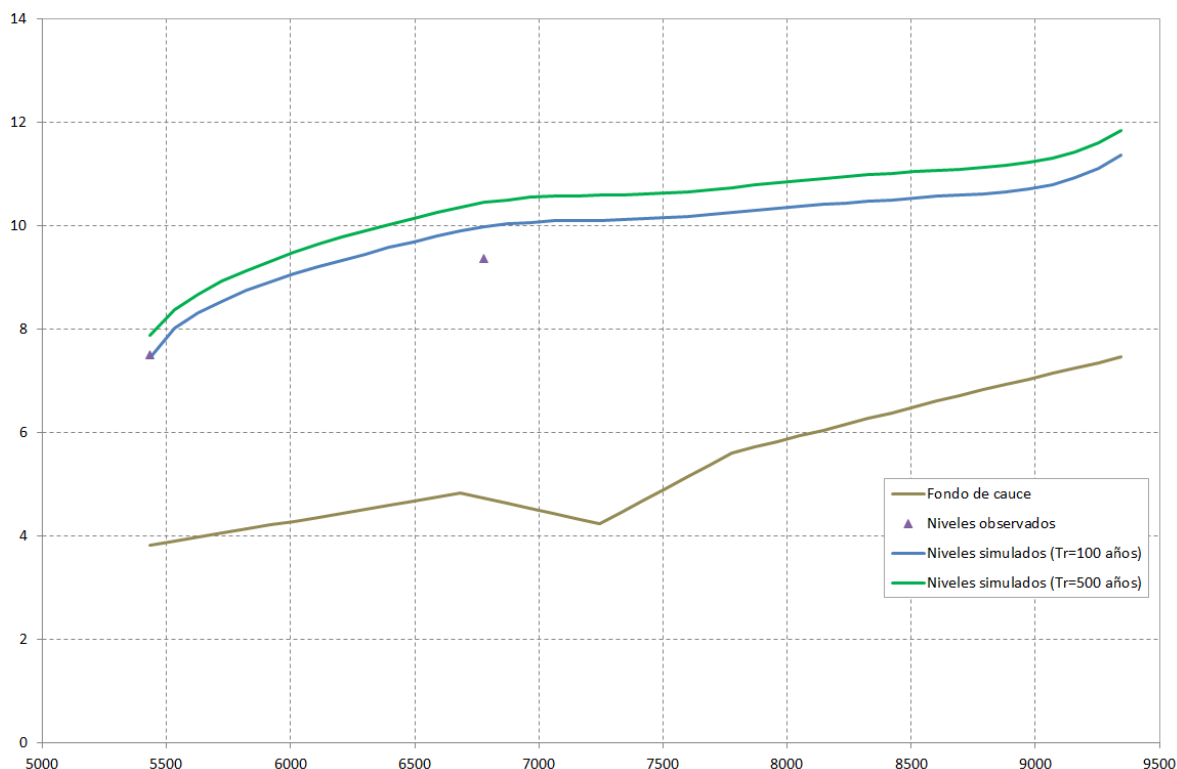
Figura 3.5 Comparación de niveles simulados y observados en el Arroyo La Caballada



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 3.6 Comparación de niveles simulados y observados en el Arroyo del General



3.2.2. Creciente máxima conocida en el puente de Ruta N° 1

De acuerdo con la información suministrada por DINAGUA, los planos del nuevo puente del año 1982 sitúan la creciente máxima conocida 2,7 m por debajo del nivel de pavimento proyectado. El nivel de pavimento medido es 11,13 m; asumiendo que se construyó a la cota proyectada, el nivel de máxima crecida sería de 8,43 m.

Aunque el plano no lo indique, se asume que esa máxima crecida corresponde a las inundaciones generalizadas que abarcaron gran parte de Uruguay en abril de 1959. Dichas inundaciones se caracterizaron por presentar varios días continuos de lluvias intensas. En la cuenca del río Negro se ha estimado que el período de retorno correspondiente a este evento es mayor a 1.000 años. No se plantea trasladar esa situación a la ciudad de Colonia, ni mucho menos a una cuenca de 8 horas de tiempo de concentración, pero sí se utiliza el dato como referencia.

Se analizó el evento en dos etapas: primero se simularon diferentes hidrogramas hasta determinar cuál hubiera sido el caudal máximo del evento que genera la cota de aproximadamente 8,4 m, y luego se estimó el período de retorno que generaría un hidrograma así.

Por lo tanto, se determinó en primer lugar que el nivel de 8,4 m es alcanzado cuando el caudal pico es aproximadamente 550 m³/s. A continuación se realizó la simulación hidrológica para determinar el período de retorno aproximado de ese hidrograma. Considerando las condiciones del evento de abril de 1959, se asumió que el suelo estaba en condiciones de humedad antecedente tipo III (condiciones húmedas) y no en las condiciones tipo II (normales) que se usan para el diseño de estructuras. En esas condiciones de humedad antecedente, el número de curva de ambas cuencas pasa de 82 a 91.

Informe final.

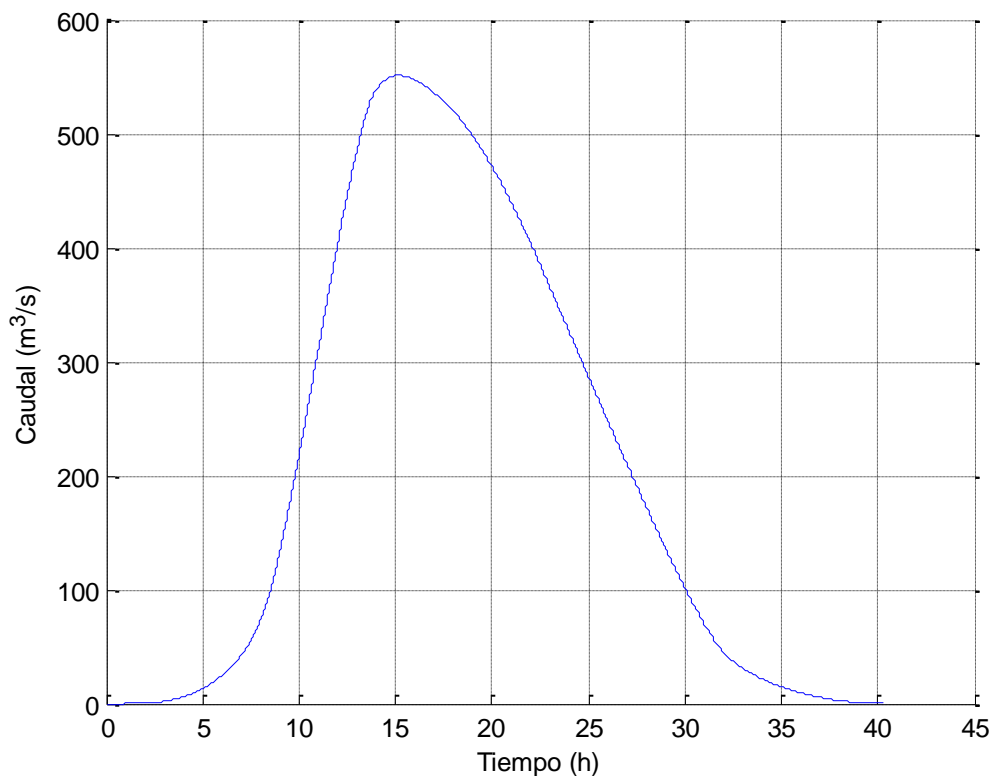
Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Se analizó primero la tormenta de 500 años de período de retorno en estas condiciones, encontrándose que su caudal pico es 505 m³/s. Posteriormente se calculó el evento de 1.000 años de período de retorno, que sí tiene un caudal pico del orden de 550 m³/s, como muestra la siguiente Figura.

Figura 3.7 Hidrograma para 1.000 años de período de retorno con condiciones antecedentes de humedad tipo III



Tomando en cuenta las condiciones de la tormenta del año 1959, y comparando estos resultados con la crecida de 2014 (comparando también los niveles medidos), se concluye que el dato de crecida máxima conocida no invalida el modelo.

3.3. Resultados obtenidos

En este apartado se presentan los resultados de las simulaciones del comportamiento hidráulico del arroyo La Caballada y su afluente principal, Arroyo del General, para tormentas de diferentes períodos de retorno (2, 10, 20, 100 y 500 años) a fin de elaborar un diagnóstico de la situación actual e identificar los problemas de inundabilidad o efectos de remansos.

La Tabla a continuación muestra los niveles simulados en ambos arroyos para todos los períodos de retorno estudiados, presentando los valores obtenidos en todos los elementos incluidos en el modelo hidrodinámico.

Tabla 3.4 Niveles simuladas para los períodos de retorno estudiados

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
La Caballada	10.779,96	14,33	15,02	15,29	15,8	16,23
La Caballada	10.681,8*	14,15	14,83	15,09	15,6	16,02
La Caballada	10.583,7*	13,96	14,63	14,88	15,38	15,79
La Caballada	10.485,5*	13,78	14,42	14,67	15,15	15,56
La Caballada	10.387,4*	13,59	14,21	14,45	14,92	15,31
La Caballada	10.289,3*	13,39	13,99	14,22	14,68	15,06
La Caballada	10.191,2*	13,19	13,77	13,99	14,43	14,79
La Caballada	10.093,0*	12,98	13,54	13,75	14,17	14,51
La Caballada	9.994,96*	12,77	13,3	13,5	13,9	14,24
La Caballada	9.896,84*	12,54	13,04	13,24	13,62	13,96
La Caballada	9.798,71*	12,31	12,78	12,97	13,34	13,67
La Caballada	9.700,59*	12,06	12,51	12,69	13,06	13,38
La Caballada	9.602,46*	11,8	12,23	12,41	12,77	13,1
La Caballada	9.504,34*	11,54	11,96	12,13	12,49	12,82
La Caballada	9.406,21*	11,26	11,68	11,85	12,21	12,55
La Caballada	9.308,09*	10,98	11,41	11,58	11,95	12,3
La Caballada	9.209,96	10,74	11,16	11,34	11,73	12,07
La Caballada	9.118,60*	10,53	10,95	11,13	11,53	11,86
La Caballada	9.027,23*	10,3	10,73	10,92	11,33	11,63
La Caballada	8.935,87*	10,07	10,51	10,7	11,12	11,41
La Caballada	8.844,51*	9,84	10,29	10,49	10,89	11,19
La Caballada	8.753,14*	9,6	10,06	10,27	10,65	10,98
La Caballada	8.661,78*	9,35	9,83	10,04	10,43	10,78
La Caballada	8.570,41*	9,09	9,6	9,82	10,22	10,59
La Caballada	8.479,05*	8,85	9,4	9,61	10,04	10,42
La Caballada	8.387,69*	8,67	9,23	9,45	9,89	10,28
La Caballada	8.296,32*	8,55	9,11	9,33	9,79	10,19
La Caballada	8.204,96	8,49	9,04	9,27	9,73	10,13
La Caballada	8.112,69*	8,44	9	9,22	9,68	10,08
La Caballada	8.020,42*	8,39	8,94	9,17	9,63	10,02

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
La Caballada	7.928,14*	8,34	8,89	9,11	9,57	9,95
La Caballada	7.835,87*	8,28	8,82	9,05	9,5	9,88
La Caballada	7.743,60*	8,22	8,75	8,97	9,42	9,8
La Caballada	7.651,32*	8,15	8,67	8,89	9,34	9,71
La Caballada	7.559,05*	8,07	8,58	8,8	9,23	9,6
La Caballada	7.466,78*	7,99	8,48	8,69	9,12	9,48
La Caballada	7.374,51*	7,88	8,36	8,56	8,98	9,33
La Caballada	7.282,23*	7,76	8,21	8,41	8,81	9,15
La Caballada	7.189,96	7,58	8,02	8,2	8,59	8,92
La Caballada	7.095,46*	7,39	7,8	7,98	8,34	8,67
La Caballada	7.000,96*	7,22	7,62	7,79	8,15	8,48
La Caballada	6.906,46*	7,07	7,46	7,63	7,99	8,33
La Caballada	6.811,96*	6,94	7,32	7,49	7,86	8,22
La Caballada	6.717,46*	6,82	7,2	7,38	7,76	8,14
La Caballada	6.622,96*	6,72	7,11	7,28	7,68	8,08
La Caballada	6.528,46*	6,63	7,03	7,21	7,63	8,03
La Caballada	6.433,96*	6,56	6,97	7,16	7,59	8
La Caballada	6.339,46*	6,5	6,93	7,12	7,56	7,98
La Caballada	6.244,96	6,46	6,9	7,1	7,54	7,96
La Caballada	6.153,85*	6,43	6,88	7,08	7,53	7,95
La Caballada	6.062,74*	6,41	6,86	7,06	7,51	7,94
La Caballada	5.971,63*	6,39	6,85	7,05	7,5	7,93
La Caballada	5.880,52*	6,38	6,84	7,04	7,49	7,92
La Caballada	5.789,40*	6,37	6,83	7,03	7,48	7,91
La Caballada	5.698,29*	6,37	6,82	7,03	7,48	7,9
La Caballada	5.607,18*	6,36	6,82	7,02	7,47	7,9
La Caballada	5.516,07*	6,36	6,81	7,01	7,46	7,89
La Caballada	5.424,96	6,35	6,81	7,01	7,46	7,89
La Caballada	5.359,96	6,35	6,81	7,01	7,46	7,89
La Caballada	5.267,10*	6,31	6,78	6,99	7,44	7,88
La Caballada	5.174,25*	6,26	6,76	6,96	7,43	7,86

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
La Caballada	5.081,39*	6,22	6,73	6,94	7,41	7,85
La Caballada	4.988,53*	6,17	6,7	6,92	7,39	7,83
La Caballada	4.895,67*	6,12	6,68	6,89	7,37	7,81
La Caballada	4.802,82*	6,07	6,65	6,86	7,35	7,79
La Caballada	4.709,96	6,02	6,61	6,83	7,32	7,77
La Caballada	4.613,96*	5,98	6,58	6,81	7,29	7,75
La Caballada	4.517,96*	5,96	6,56	6,79	7,27	7,73
La Caballada	4.421,96*	5,95	6,55	6,77	7,26	7,71
La Caballada	4.325,96*	5,94	6,54	6,76	7,24	7,69
La Caballada	4.229,96*	5,93	6,53	6,74	7,22	7,68
La Caballada	4.133,96*	5,93	6,52	6,73	7,21	7,66
La Caballada	4.037,96*	5,92	6,5	6,72	7,19	7,64
La Caballada	3.941,96*	5,91	6,49	6,7	7,16	7,61
La Caballada	3.845,96*	5,89	6,46	6,66	7,12	7,56
La Caballada	3.749,96	5,8	6,35	6,55	7,01	7,47
La Caballada	3.720					
La Caballada	3.701,96	5,8	6,35	6,55	7,01	7,46
La Caballada	3.616,96*	5,75	6,3	6,5	6,96	7,42
La Caballada	3.531,96	5,66	6,21	6,41	6,88	7,35
La Caballada	3.445,29*	5,53	6,1	6,31	6,79	7,27
La Caballada	3.358,63*	5,41	5,98	6,19	6,69	7,2
La Caballada	3.271,96	5,3	5,89	6,1	6,61	7,13
La Caballada	3.199,96	5,2	5,78	5,98	6,49	7,03
La Caballada	3.129,96	5,11	5,61	5,8	6,31	6,87
La Caballada	3.089,96	5,09	5,55	5,73	6,22	6,79
La Caballada	3.053,5					
La Caballada	3.041,46	5,07	5,49	5,66	6,12	6,66
La Caballada	3.011,46	5,07	5,49	5,64	6,1	6,64
La Caballada	2.996,5					
La Caballada	2.981,46	4,32	4,74	5,01	5,76	6,45
La Caballada	2.922,46*	3,48	4,53	4,93	5,76	6,46

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
La Caballada	2.863,46	3,45	4,49	4,88	5,7	6,39
La Caballada	2.795,72*	3,42	4,46	4,85	5,66	6,34
La Caballada	2.727,97	3,38	4,4	4,78	5,58	6,25
La Caballada	2.630					
La Caballada	2.619,97	3,3	4,26	4,62	5,37	5,98
La Caballada	2.547,33*	3,28	4,26	4,62	5,37	5,99
La Caballada	2.474,69	3,28	4,25	4,61	5,36	5,98
La Caballada	2.378,09	3,25	4,22	4,58	5,33	5,93
La Caballada	2.320,16*	3,23	4,19	4,55	5,29	5,9
La Caballada	2.262,22	3,2	4,16	4,52	5,26	5,86
La Caballada	2.167,88	3,08	4,01	4,35	5,05	5,6
La Caballada	2.109,67*	3,03	3,95	4,28	4,99	5,56
La Caballada	2.051,45	2,95	3,86	4,2	4,92	5,49
La Caballada	1.998,90*	2,89	3,78	4,11	4,83	5,39
La Caballada	1.946,35	2,84	3,71	4,04	4,75	5,31
La Caballada	1.887,19*	2,82	3,69	4,02	4,72	5,27
La Caballada	1.828,02	2,8	3,67	4	4,71	5,26
La Caballada	1.758,32*	2,77	3,63	3,96	4,66	5,21
La Caballada	1.688,62	2,75	3,6	3,92	4,61	5,15
La Caballada	1.634,83*	2,72	3,56	3,88	4,58	5,11
La Caballada	1.581,03	2,69	3,53	3,85	4,54	5,07
La Caballada	1.510,84*	2,66	3,48	3,8	4,49	5,02
La Caballada	1.440,65	2,64	3,45	3,77	4,45	4,97
La Caballada	1.389,86	2,59	3,39	3,69	4,36	4,86
La Caballada	1.320,15*	2,55	3,33	3,63	4,28	4,76
La Caballada	1.250,43	2,53	3,28	3,58	4,22	4,69
La Caballada	1.181,65	2,5	3,25	3,54	4,18	4,63
La Caballada	1.116,41*	2,45	3,19	3,48	4,1	4,54
La Caballada	1.051,16	2,39	3,11	3,4	4,01	4,43
La Caballada	999,55*	2,36	3,07	3,34	3,94	4,35
La Caballada	947,93	2,34	3,03	3,3	3,9	4,29

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
La Caballada	853,56	2,31	2,99	3,26	3,85	4,23
La Caballada	796,74*	2,29	2,96	3,23	3,81	4,18
La Caballada	739,91	2,27	2,94	3,2	3,77	4,14
La Caballada	681,50*	2,26	2,92	3,18	3,75	4,1
La Caballada	623,09	2,25	2,9	3,16	3,72	4,07
La Caballada	539,68*	2,23	2,87	3,12	3,67	4,01
La Caballada	456,26	2,2	2,81	3,05	3,57	3,86
La Caballada	382,37*	2,18	2,77	3	3,51	3,78
La Caballada	308,47	2,17	2,74	2,97	3,46	3,71
La Caballada	224,05	2,14	2,71	2,93	3,4	3,63
La Caballada	165,14*	2,13	2,67	2,89	3,36	3,57
La Caballada	106,22	2,11	2,65	2,86	3,32	3,52
La Caballada	53,11*	2,11	2,64	2,85	3,31	3,5
La Caballada	0	2,1	2,63	2,84	3,3	3,49
Del General	9.344,96	9,82	10,58	10,84	11,38	11,85
Del General	9.252,10*	9,5	10,29	10,55	11,11	11,6
Del General	9.159,25*	9,24	10,07	10,35	10,93	11,43
Del General	9.066,39*	9,05	9,93	10,21	10,8	11,31
Del General	8.973,53*	8,92	9,83	10,12	10,72	11,23
Del General	8.880,67*	8,85	9,77	10,07	10,66	11,17
Del General	8.787,82*	8,8	9,73	10,03	10,62	11,13
Del General	8.694,96	8,78	9,71	10	10,6	11,1
Del General	8.602,96*	8,75	9,69	9,98	10,57	11,08
Del General	8.510,96*	8,73	9,66	9,95	10,54	11,05
Del General	8.418,96*	8,71	9,64	9,93	10,51	11,02
Del General	8.326,96*	8,68	9,61	9,9	10,49	10,99
Del General	8.234,96*	8,66	9,58	9,87	10,45	10,96
Del General	8.142,96*	8,63	9,55	9,84	10,42	10,92
Del General	8.050,96*	8,6	9,52	9,81	10,39	10,88
Del General	7.958,96*	8,57	9,49	9,77	10,35	10,84
Del General	7.866,96*	8,54	9,45	9,73	10,3	10,79

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Arroyo	Sección	Nivel máximo (m)				
		Tr=2 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=100 años	Tr=500 años
Del General	7.774,96	8,5	9,41	9,69	10,26	10,74
Del General	7.686,63*	8,47	9,37	9,65	10,22	10,7
Del General	7.598,29*	8,44	9,34	9,62	10,18	10,66
Del General	7.509,96*	8,42	9,32	9,6	10,16	10,63
Del General	7.421,63*	8,41	9,3	9,58	10,14	10,61
Del General	7.333,29*	8,4	9,29	9,57	10,12	10,6
Del General	7.244,96	8,4	9,28	9,56	10,11	10,59
Del General	7.151,63*	8,39	9,28	9,55	10,11	10,58
Del General	7.058,29*	8,38	9,27	9,54	10,1	10,57
Del General	6.964,96*	8,36	9,24	9,52	10,07	10,55
Del General	6.871,63*	8,33	9,21	9,48	10,04	10,51
Del General	6.778,29*	8,28	9,15	9,43	9,98	10,46
Del General	6.684,96	8,21	9,07	9,35	9,9	10,37
Del General	6.588,81*	8,12	8,98	9,25	9,8	10,27
Del General	6.492,65*	8,03	8,88	9,15	9,69	10,15
Del General	6.396,50*	7,93	8,78	9,04	9,58	10,03
Del General	6.300,35*	7,83	8,67	8,93	9,46	9,91
Del General	6.204,19*	7,73	8,56	8,82	9,34	9,78
Del General	6.108,04*	7,63	8,44	8,7	9,21	9,64
Del General	6.011,88*	7,52	8,32	8,57	9,07	9,49
Del General	5.915,73*	7,39	8,19	8,43	8,92	9,32
Del General	5.819,58*	7,26	8,04	8,28	8,75	9,14
Del General	5.723,42*	7,11	7,87	8,11	8,55	8,93
Del General	5.627,27*	6,92	7,66	7,9	8,32	8,68
Del General	5.531,11*	6,69	7,39	7,62	8,03	8,39
Del General	5.434,96	6,35	6,81	7,01	7,46	7,89

* Secciones interpoladas

A continuación se presenta el análisis de los perfiles longitudinales simulados para cada período de retorno estudiado.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

■ **Tr=2 años**

La Figura 3.8 y Figura 3.9 muestran los perfiles longitudinales generales de los arroyos La Caballada y del General respectivamente para la tormenta de diseño de 2 años de período de retorno.

Figura 3.8 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=2 años

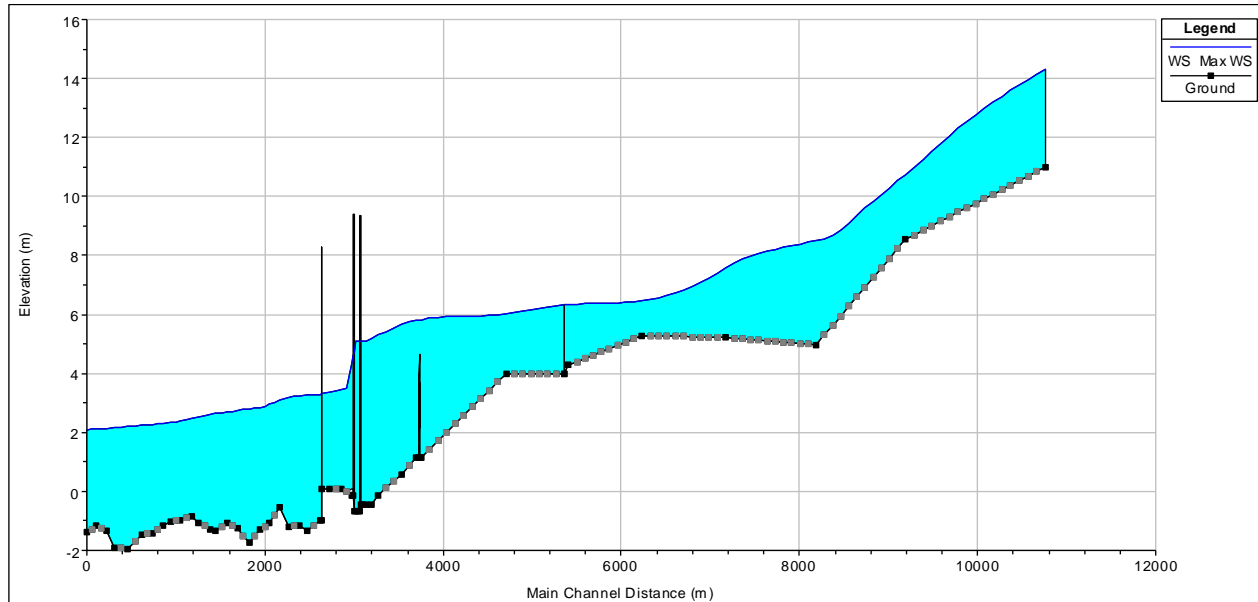
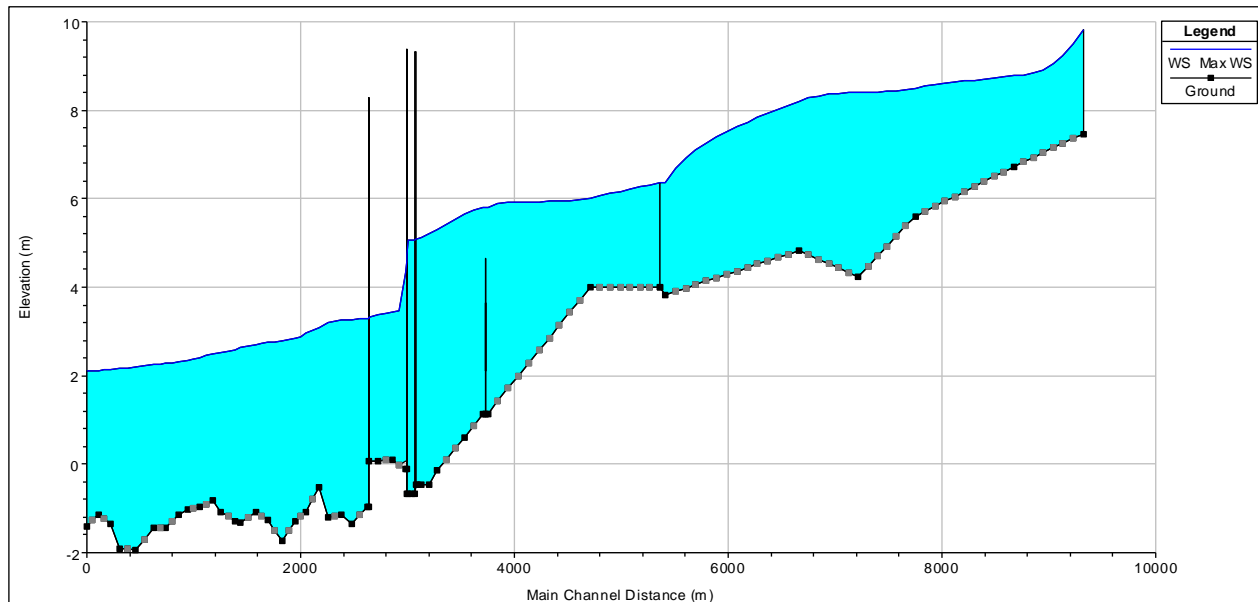


Figura 3.9 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=2 años



■ **Tr=10 años**

La Figura 3.10 y Figura 3.11 muestran los perfiles longitudinales generales de los arroyos La Caballada y del General respectivamente para la tormenta de diseño de 10 años de período de retorno.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 3.10 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=10 años

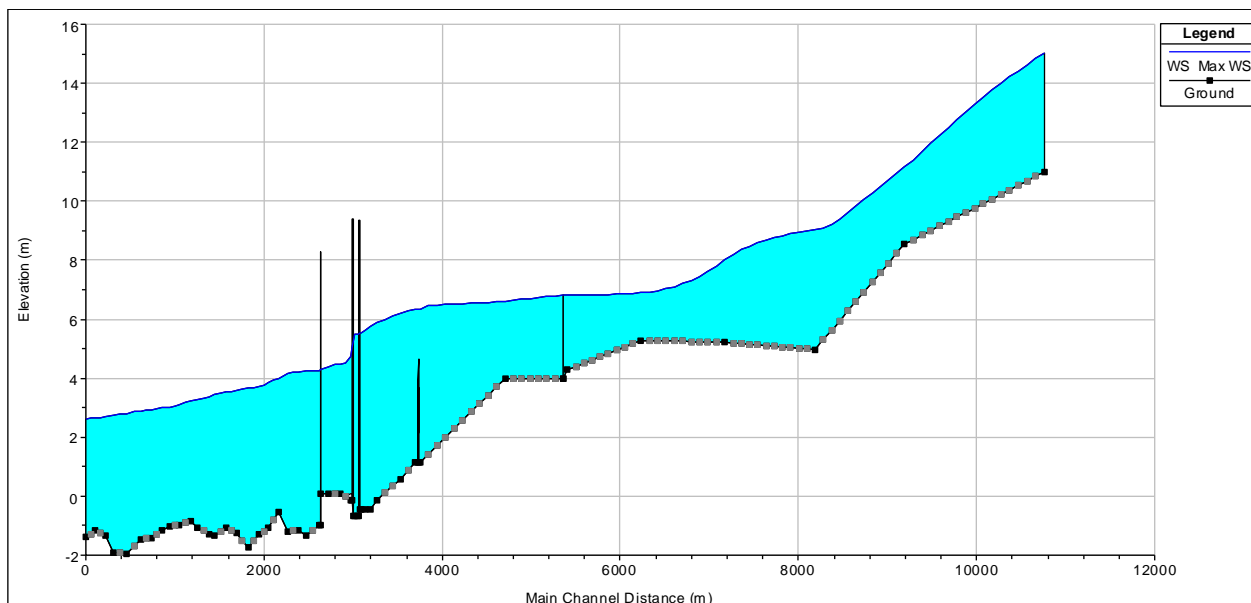
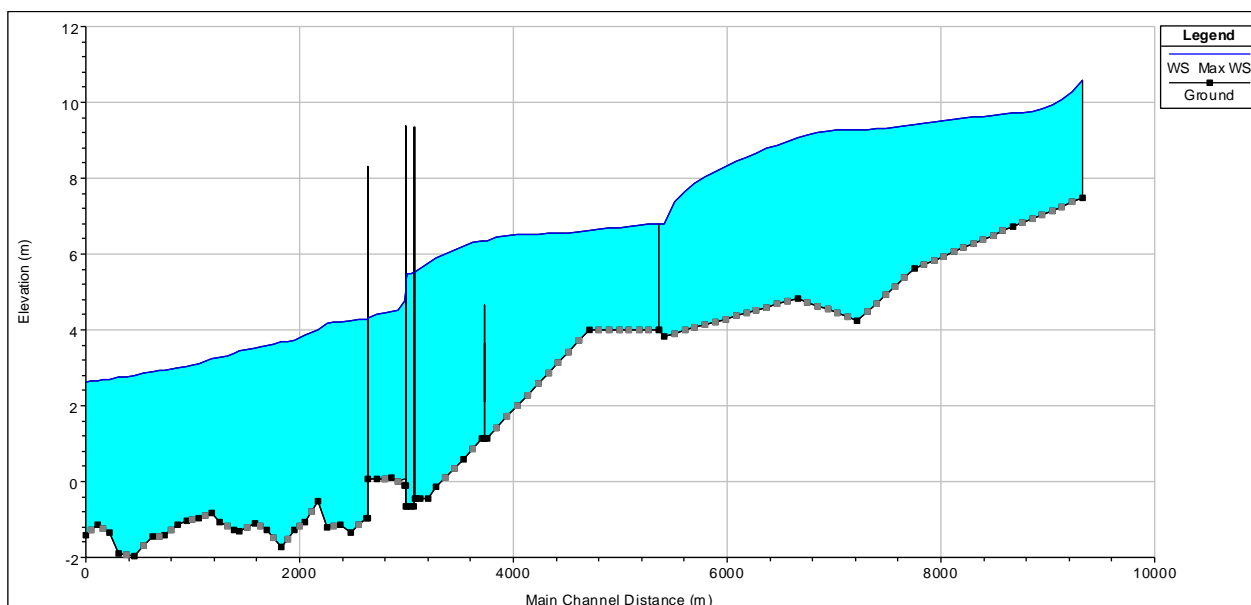


Figura 3.11 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=10 años



■ **Tr=20 años**

La Figura 3.12 y Figura 3.13 muestran los perfiles longitudinales generales de los arroyos La Caballada y del General respectivamente para la tormenta de diseño de 20 años de período de retorno.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 3.12 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=20 años

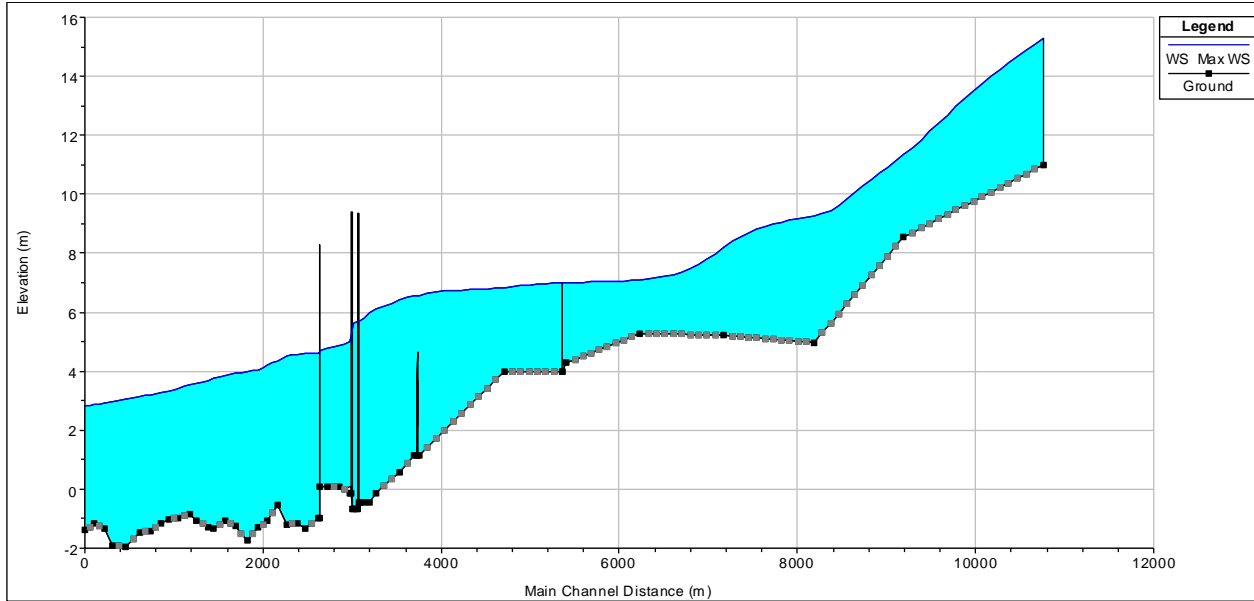
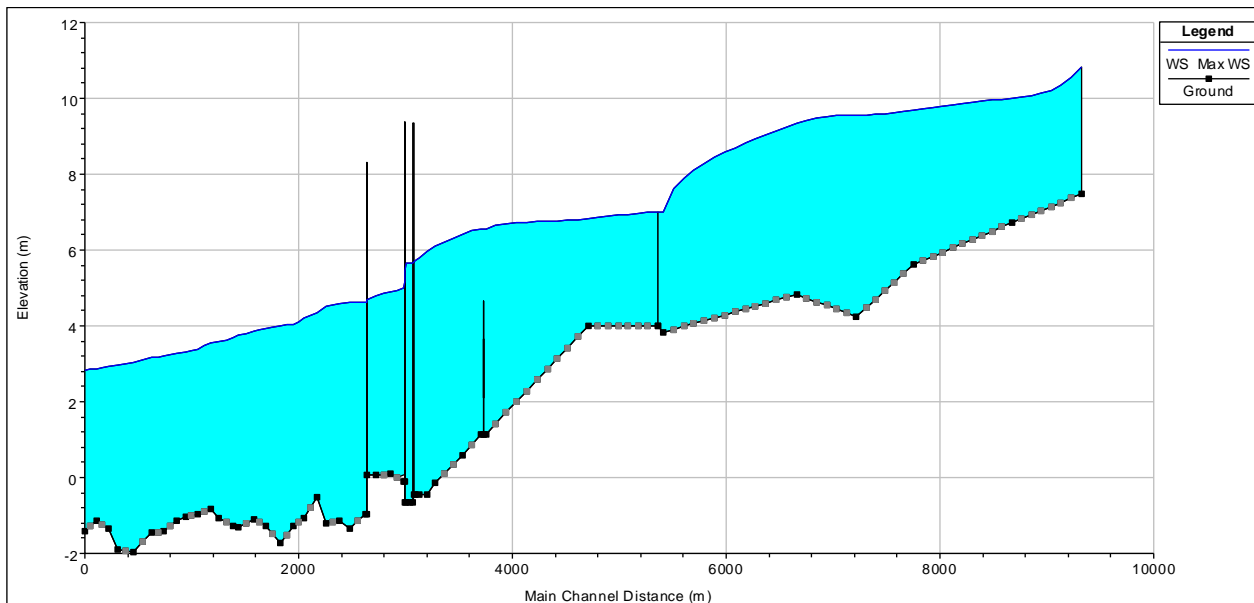


Figura 3.13 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=20 años



■ **Tr=100 años**

La Figura 3.14 y Figura 3.15 muestran los perfiles longitudinales generales de los arroyos La Caballada y del General respectivamente para la tormenta de diseño de 100 años de período de retorno.

Informe final.

Figura 3.14 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para $Tr=100$ años

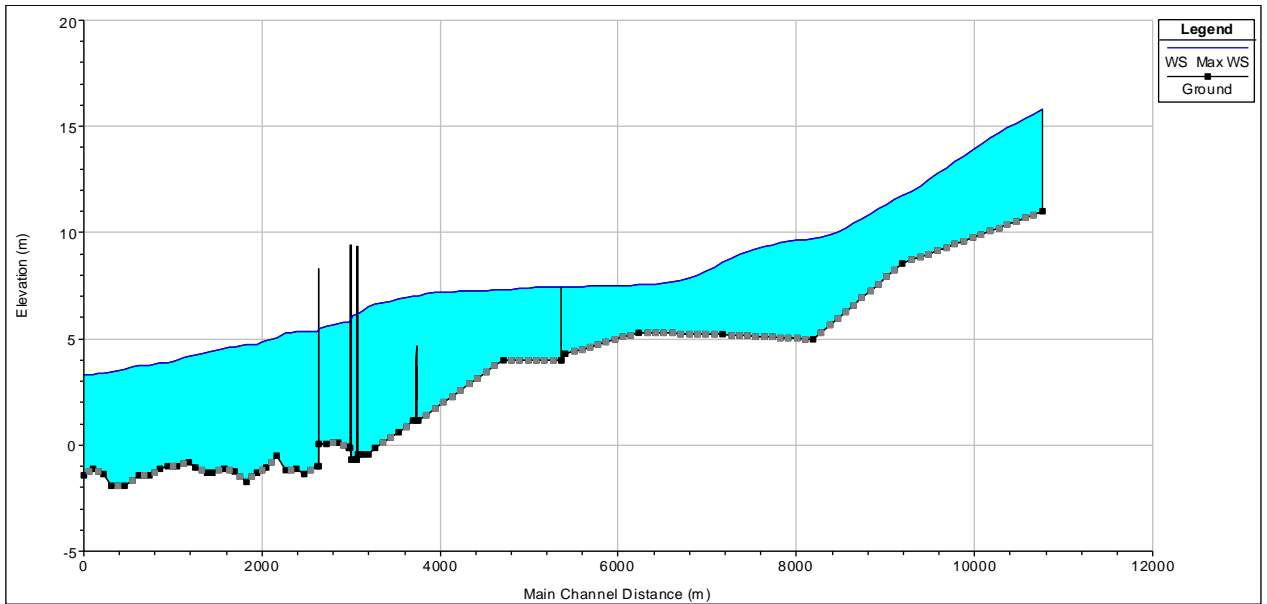
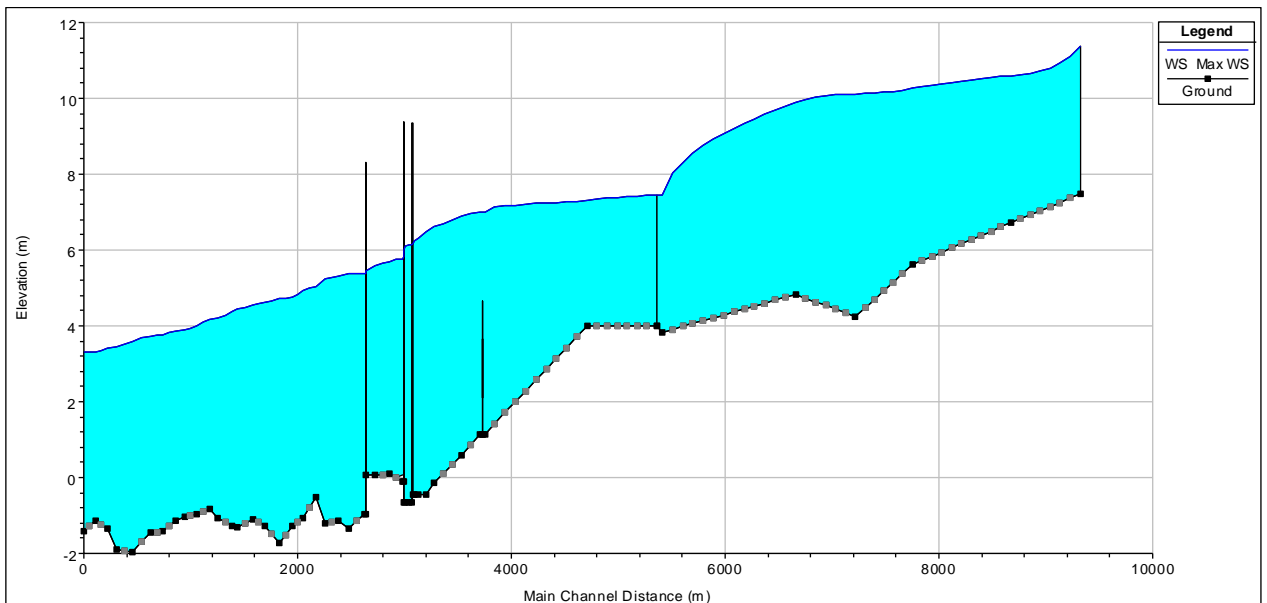


Figura 3.15 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para $Tr=100$ años



■ **Tr=500 años**

La Figura 3.16 y Figura 3.17 muestran los perfiles longitudinales generales de los arroyos La Caballada y del General respectivamente para la tormenta de diseño de 500 años de período de retorno.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 3.16 Perfil longitudinal general del arroyo La Caballada para Tr=500 años

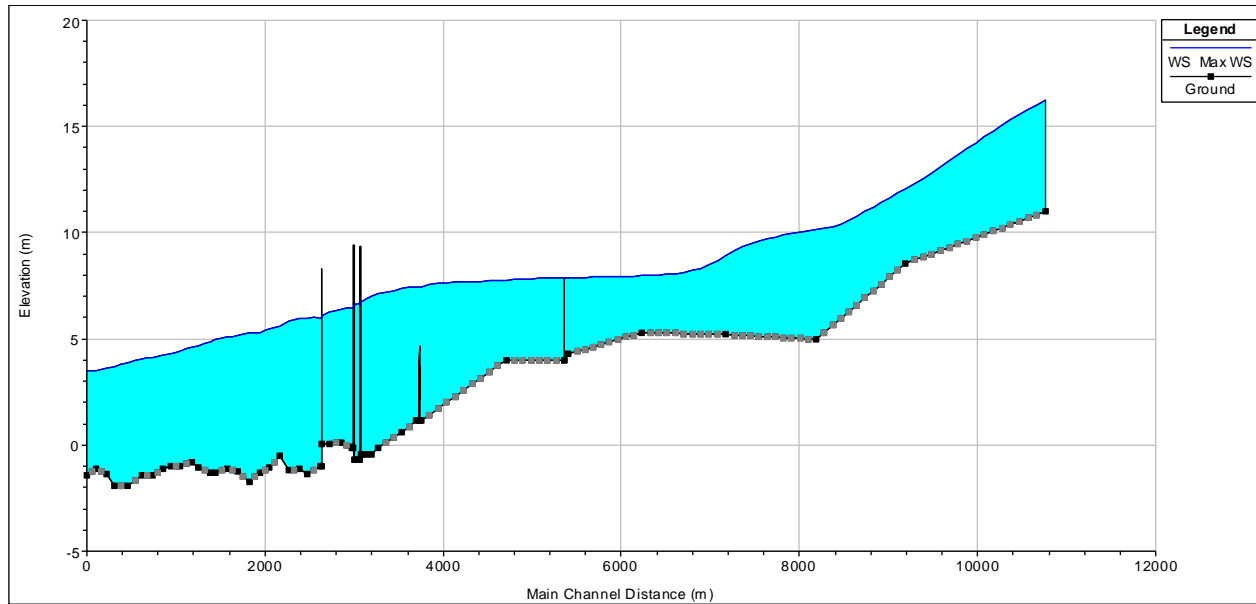
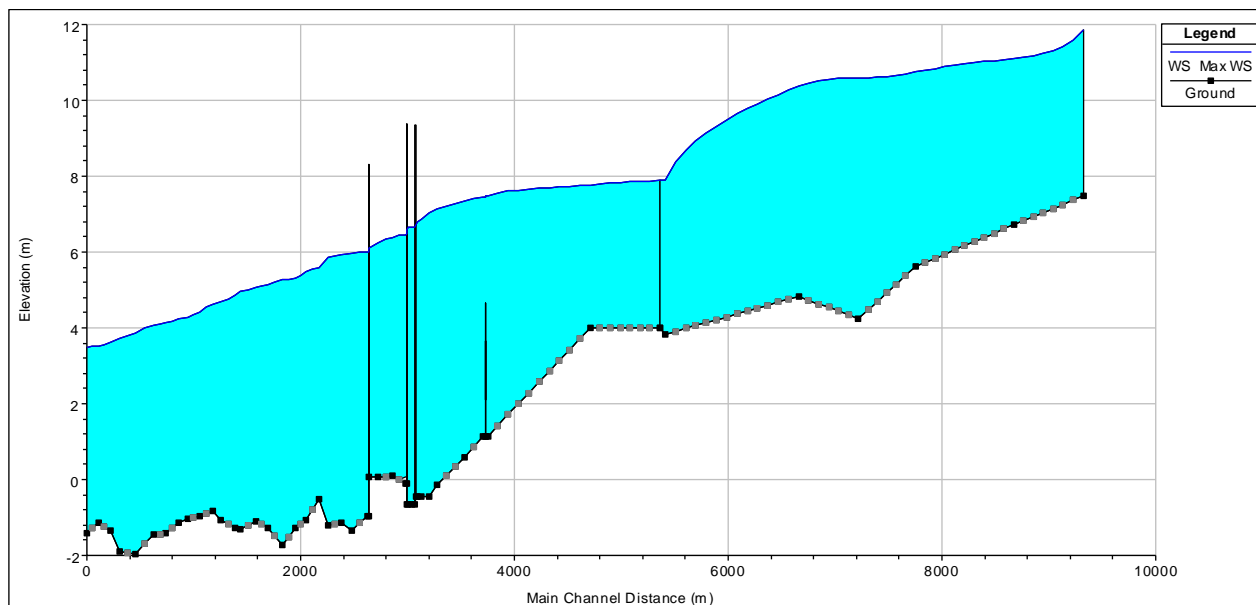


Figura 3.17 Perfil longitudinal general del Arroyo del General para Tr=500 años



3.4. Evaluación de los resultados

3.4.1. Niveles – Caudal

En el anexo a este informe se presentan gráficos nivel-caudal para los distintos períodos de retorno analizados, en las transectas que representan mayor interés en el Arroyo La Caballada. Los resultados se asocian a las secciones ubicadas próximas a las obras hidráulicas existentes.

3.4.2. Influencia del Río de la Plata en los niveles del arroyo

Los niveles máximos alcanzados en la cercanía a la descarga del arroyo son una combinación de dos factores: caudal del Arroyo La Caballada y condición de borde en el Río de la Plata. Considerando que la

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

condición de borde adoptada para cada período de retorno es el nivel para ese mismo período de retorno, el efecto conjunto es mayor que el que se daría independientemente por la presencia de uno solo de los factores.

Aunque existan zonas cercanas a la desembocadura donde el nivel alcanzado sería menor si la condición de borde fuera menor, sería incorrecto concluir que ese nivel es consecuencia del nivel del Río de la Plata, ya que en realidad es una consecuencia de los dos eventos actuando en conjunto.

3.4.3. Remanso producido por alcantarillas y puentes

A los efectos de estudiar los remansos generados por las alcantarillas y puentes existentes a lo largo del arroyo La Caballada para los diferentes períodos de retorno, se realizaron simulaciones hidrodinámicas de los cursos de agua con y sin las estructuras hidráulicas y se evaluaron las diferencias de niveles entre ambas modelaciones, las cuales se presentan en la Figura 3.18.

Se observa que existen tres zonas bien delimitadas: la zona aguas abajo del puente ferroviario, donde el remanso negativo significa que la retención en los puentes impacta en disminución de caudales y niveles aguas abajo, una zona entre el puente ferroviario y la alcantarilla de la calle Municipio, donde se producen remansos significativos, y una zona aguas arriba de la calle Municipio donde los remansos son de menor entidad. La Tabla 3.5 resume el efecto de remanso en cada tramo según el período de retorno.

Figura 3.18 Diferencia de niveles en La Caballada por la presencia de alcantarillas y puentes

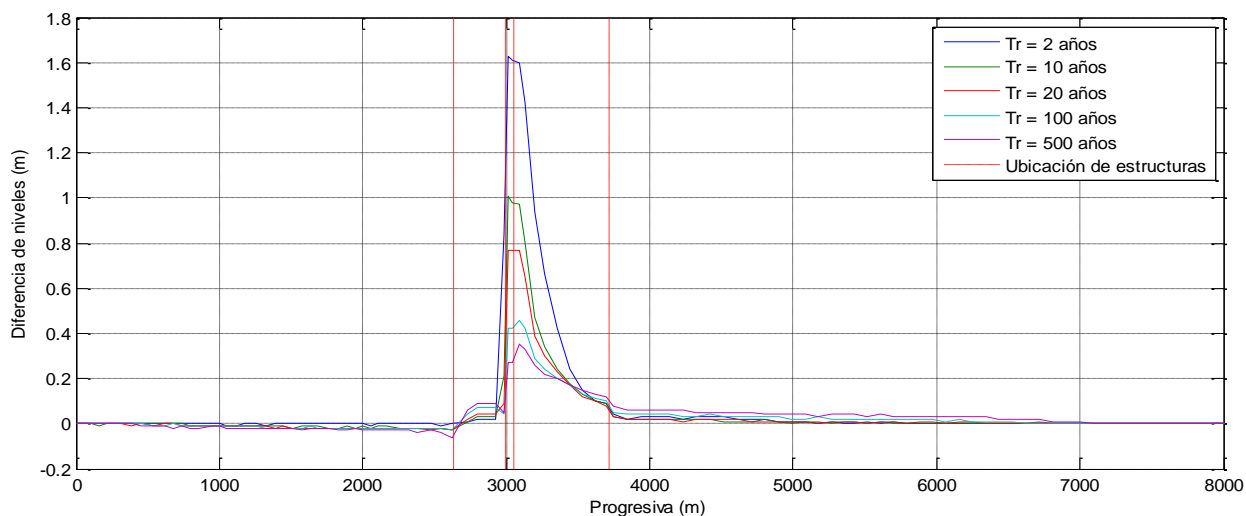


Tabla 3.5 Remanso máximo producido por alcantarillas y puentes

Progresivas	Ubicación	Remanso máximo para cada alcantarilla (m)				
		Tr 2	Tr 10	Tr 20	Tr 100	Tr 500
0 a 2.630	Aguas abajo	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,06
2.630 a 3.720	Entre estructuras	1,63	1,01	0,77	0,46	0,35
3.720 al final	Aguas arriba	0,04	0,03	0,03	0,05	0,08

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

CAPÍTULO 4

POSIBLES MODIFICACIONES

4. POSIBLES MODIFICACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el capítulo anterior de diagnóstico de funcionamiento hidráulico del arroyo, es que se llevó adelante un análisis de distintas intervenciones que permitan mejorar, al menos localmente, las afectaciones de crecidas del cauce por eventos extremos. Se incluye además, un estudio adicional asociado al efecto de un potencial terraplenado del terreno bajo o zona de bañado.

Estos análisis elaborados son de carácter exploratorio, en busca de identificar medidas estructurales tendientes a la disminución de áreas inundables generadas por la crecida del arroyo. Las diferentes propuestas de obras arrojan resultados no comparables ya que repercuten de distinta manera a lo largo de la extensión del arroyo, y es por este motivo que el análisis efectuado no representa un estudio de alternativas en sí mismo, sino que más bien pretende evaluar el comportamiento del arroyo para distintas intervenciones.

A continuación se realizará una breve descripción de cada una de las propuestas de obras analizadas, así como también se presentarán los resultados obtenidos en la modelación para cada una de ellas y estimación de costos de inversión.

4.1. Medidas tendientes a atenuar los problemas de inundación

A los efectos de minimizar o atenuar los problemas de inundación ocasionados por eventos extremos se plantean tres propuestas de obras:

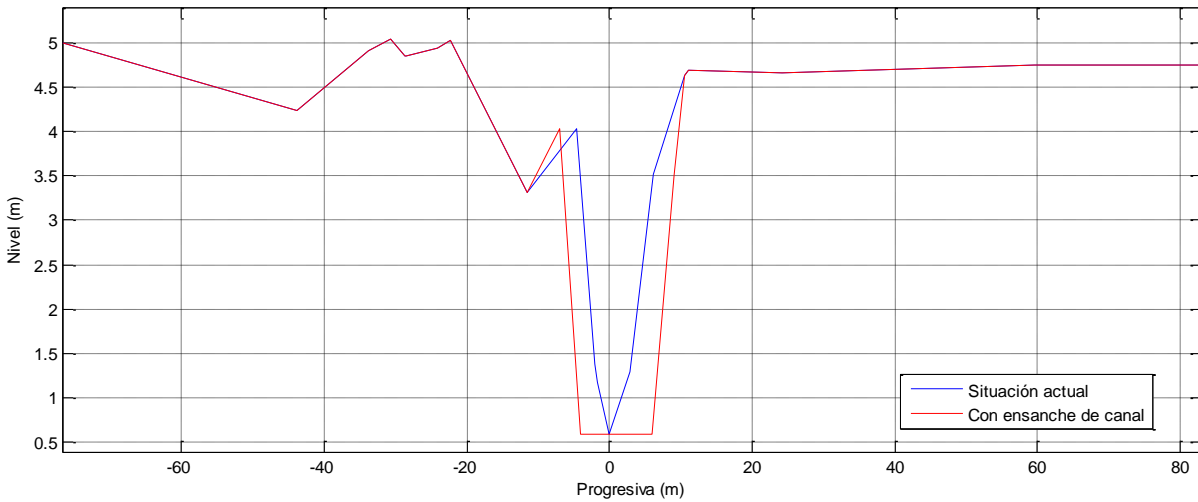
- Ensanche y profundización del canal principal en la zona del bañado.
- Eliminación del puente de la Ruta N° 1 vieja.
- Embalses de laminación.

4.1.1. Ensanche y profundización del canal principal en el bañado

La propuesta estudiada en primera instancia consistió en analizar el efecto de aumentar la capacidad de conducción en el cauce principal en la zona de bañado, ubicada entre la confluencia del Arroyo La Caballada con el Arroyo del General y el cruce con la Ruta N° 1, mediante el ensanchamiento y profundización del canal principal del curso.

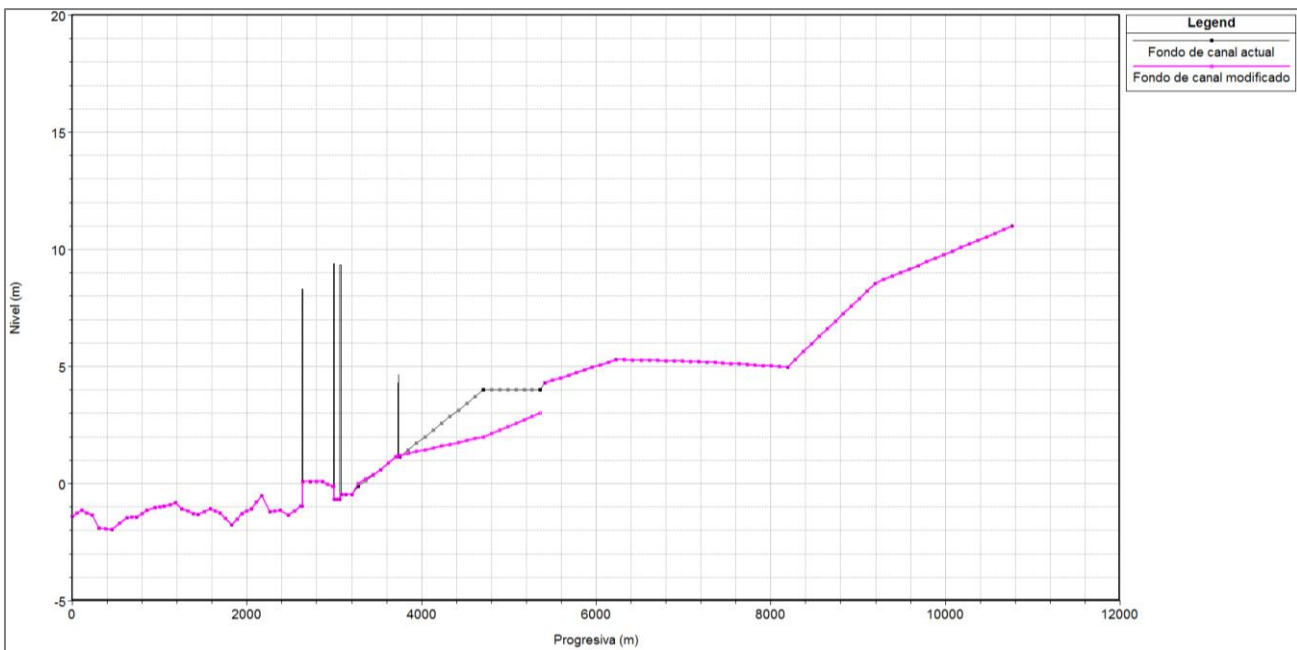
Se seleccionó un ancho del canal principal de 10 m, modificándose la sección actual a la que se presenta en la Figura a continuación. Se modificó la rugosidad respecto a la situación actual, adoptando un valor de número de Manning de 0,04 en el canal propiamente dicho y de 0,40 hacia las planicies de inundación.

Figura 4.1 Ensanchamiento del canal principal en la zona de bañado



Asimismo, en algunas secciones a lo largo del tramo donde se ubica la zona de bañado se optó por profundizar el canal principal, teniéndose el perfil longitudinal que se indica en la Figura 4.2.

Figura 4.2 Profundización del canal principal en la zona de bañado



Tal como se esquematiza en la figura anterior, el fondo de canal será modificado en un tramo de aproximadamente 1,7 km de longitud. En el tramo comprendido entre las calles Municipio y Ruta N° 1 se propone únicamente un ensanche del cauce principal ya que la existencia de obras hidráulicas no permite una modificación altimétrica de su fondo.

A continuación se sintetizan los resultados obtenidos en las simulaciones que representan la condición actual y condición propuesta con cauce modificado, para las distintas recurrencias de la tormenta de diseño. Las figuras que siguen permiten contrastar los perfiles hidráulicos obtenidos, y la lámina IF01 presenta la planimetría con curvas de inundación asociadas.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 4.3 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=2 años

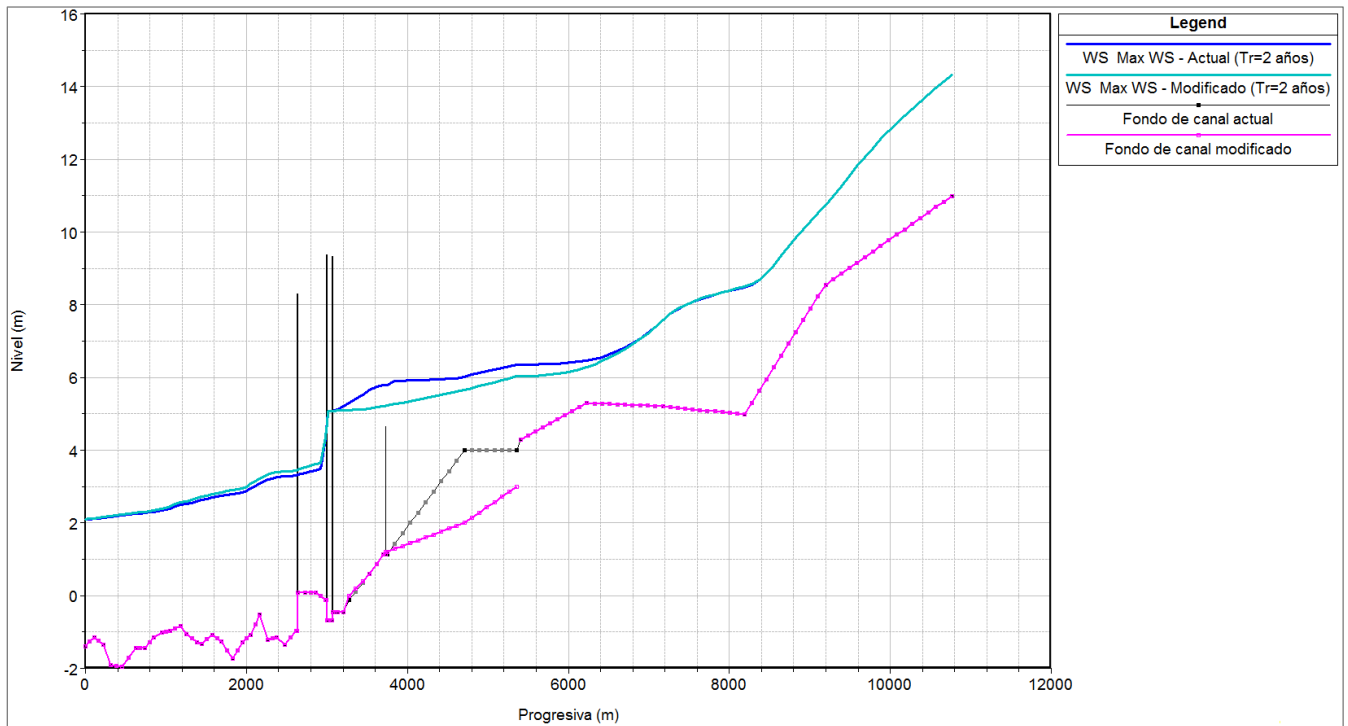
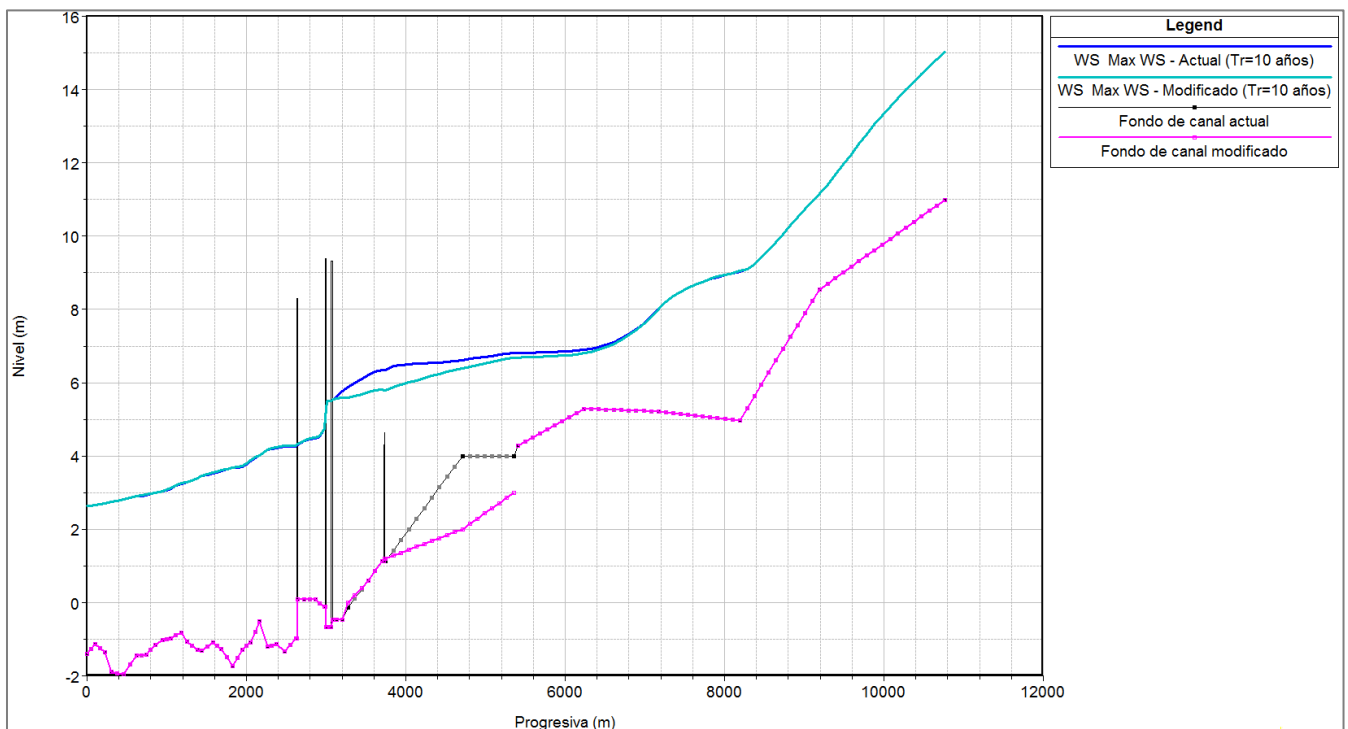


Figura 4.4 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=10 años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 4.5 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=20 años

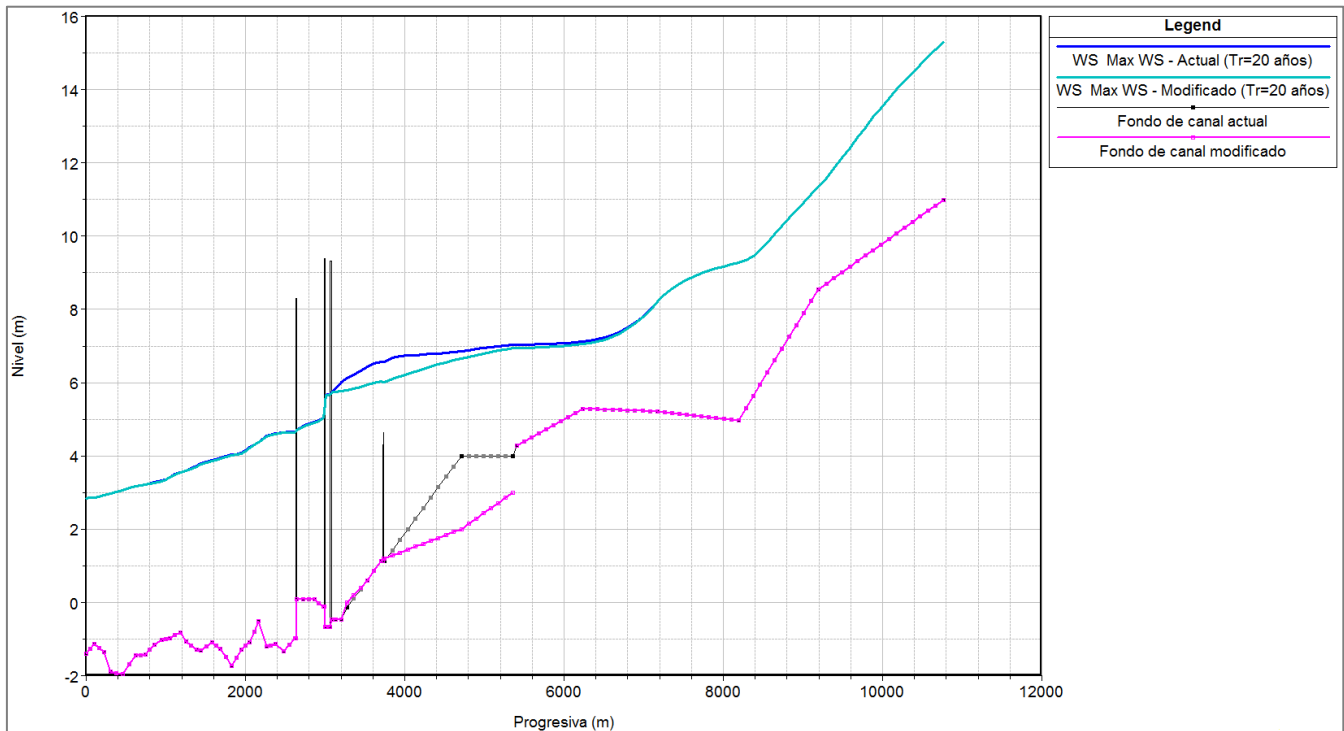
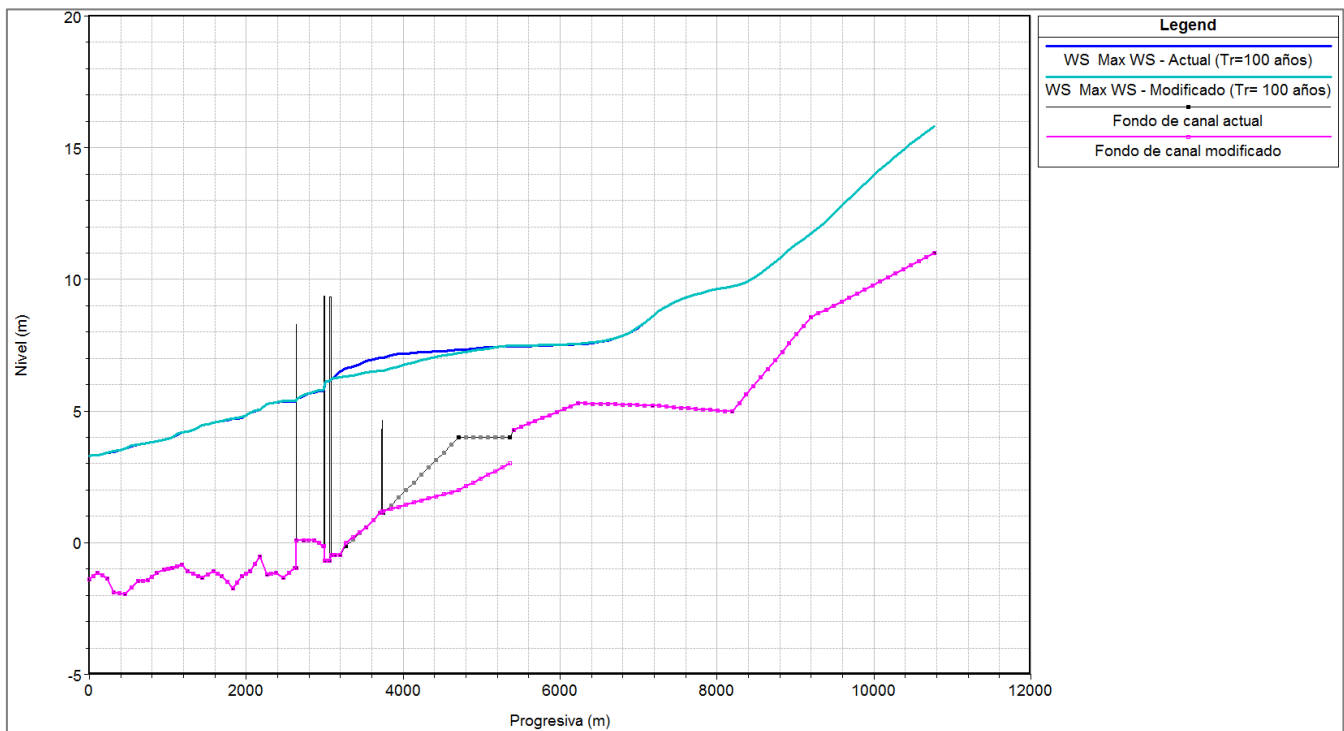


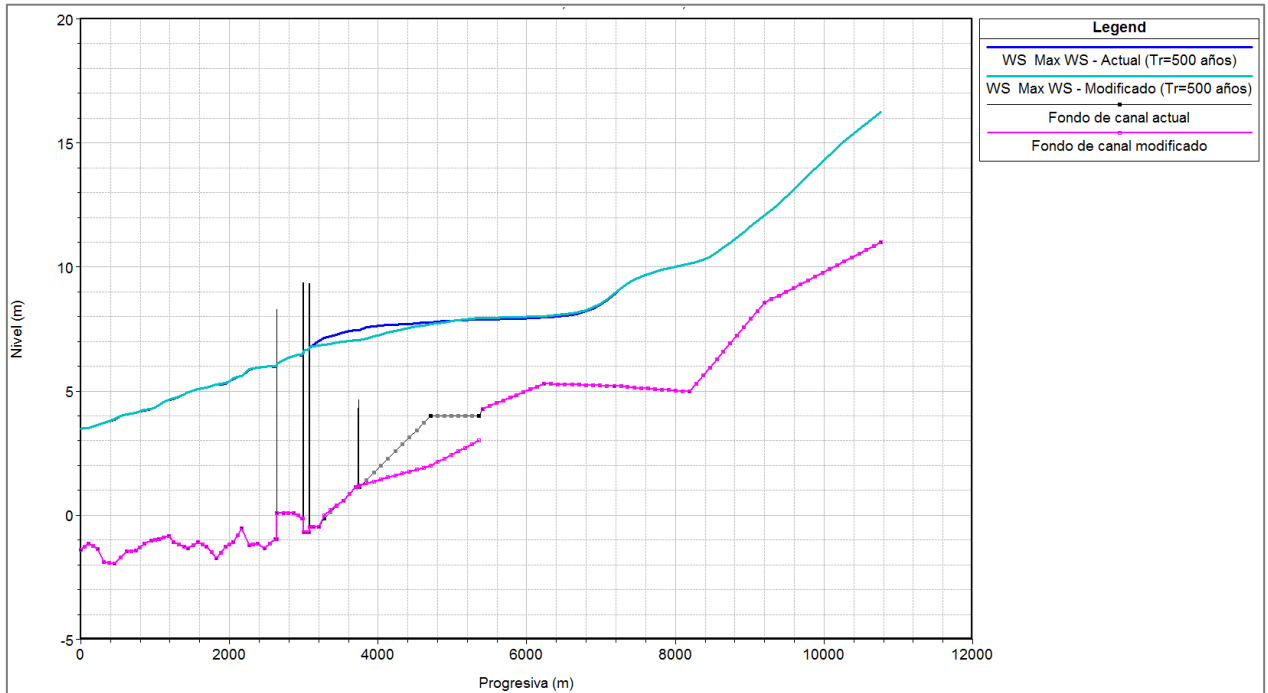
Figura 4.6 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=100 años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017

Figura 4.7 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y con el ensanchamiento y profundización del canal en la zona de bañado, para Tr=500 años



De las figuras anteriores se desprende que la propuesta analizada que modifica la geometría del cauce del arroyo resulta favorable en cuanto a las afectaciones de crecida del arroyo, ya que los resultados obtenidos muestran un descenso de los niveles de crecida para la condición de cauce modificado respecto de la situación actual.

Por último, la Figura 4.8 y la Tabla 4.1 resumen las diferencias de niveles obtenidas entre ambas simulaciones, para cada período de retorno y en función de la progresiva.

La diferencia de niveles es favorable hacia aguas arriba de la alcantarilla de calle Municipio, teniéndose un descenso de niveles de hasta 0,6 m para bajas recurrencias de la tormenta de diseño. Hacia aguas abajo de esta alcantarilla los niveles de agua entre simulaciones con y sin propuesta tienden a igualarse, siendo levemente superiores en la condición propuesta respecto a la situación actual.

Informe final.

Figura 4.8 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de ensanche y profundización de la zona de bañado

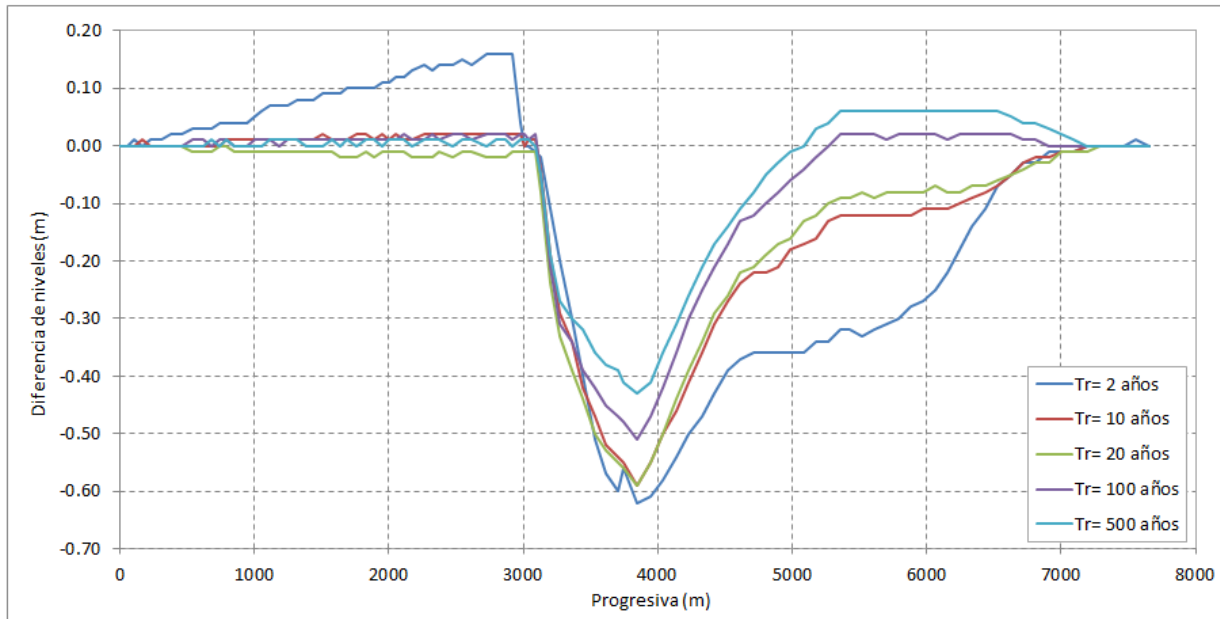


Tabla 4.1 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de ensanche y profundización de la zona de bañado

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
106,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
165,14	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
224,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
308,47	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
382,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
456,26	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
539,68	0,03	0,00	-0,01	0,01	0,00
623,09	0,03	0,00	-0,01	0,01	0,00
681,5	0,03	0,00	-0,01	0,00	0,01
739,91	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
796,74	0,04	0,01	0,00	0,01	0,01
853,56	0,04	0,01	-0,01	0,00	0,00
947,93	0,04	0,01	-0,01	0,00	0,00
999,55	0,05	0,01	-0,01	0,01	0,00
1.051,16	0,06	0,01	-0,01	0,01	0,00
1.116,41	0,07	0,01	-0,01	0,01	0,01

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
1.181,65	0,07	0,01	-0,01	0,00	0,01
1.250,43	0,07	0,01	-0,01	0,01	0,01
1.320,15	0,08	0,01	-0,01	0,01	0,01
1.389,86	0,08	0,01	-0,01	0,01	0,00
1.440,65	0,08	0,01	-0,01	0,01	0,00
1.510,84	0,09	0,02	-0,01	0,01	0,00
1.581,03	0,09	0,01	-0,01	0,01	0,01
1.634,83	0,09	0,01	-0,02	0,01	0,00
1.688,62	0,10	0,01	-0,02	0,01	0,01
1.758,32	0,10	0,02	-0,02	0,01	0,00
1.828,02	0,10	0,02	-0,01	0,01	0,01
1.887,19	0,10	0,01	-0,02	0,01	0,01
1.946,35	0,11	0,02	-0,01	0,01	0,00
1.998,9	0,11	0,01	-0,01	0,01	0,01
2.051,45	0,12	0,02	-0,01	0,01	0,01
2.109,67	0,12	0,01	-0,01	0,02	0,01
2.167,88	0,13	0,01	-0,02	0,01	0,00
2.262,22	0,14	0,02	-0,02	0,01	0,01
2.320,16	0,13	0,02	-0,02	0,02	0,01
2.378,09	0,14	0,02	-0,01	0,01	0,01
2.474,69	0,14	0,02	-0,02	0,02	0,00
2.547,33	0,15	0,02	-0,01	0,02	0,01
2.619,97	0,14	0,02	-0,01	0,01	0,01
2.727,97	0,16	0,02	-0,02	0,02	0,00
2.795,72	0,16	0,02	-0,02	0,02	0,01
2.863,46	0,16	0,02	-0,02	0,02	0,01
2.922,46	0,16	0,02	-0,01	0,01	0,00
2.981,46	0,04	0,02	-0,01	0,02	0,01
3.011,46	0,00	0,00	-0,01	0,02	0,01
3.041,46	0,00	0,01	-0,01	0,01	0,01
3.089,96	-0,01	0,01	-0,01	0,02	0,00
3.129,96	-0,02	-0,04	-0,08	-0,05	-0,05
3.199,96	-0,11	-0,19	-0,24	-0,21	-0,19
3.271,96	-0,20	-0,29	-0,33	-0,31	-0,27
3.358,63	-0,30	-0,34	-0,39	-0,34	-0,30

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
3.445,29	-0,40	-0,42	-0,44	-0,39	-0,32
3.531,96	-0,51	-0,47	-0,50	-0,42	-0,36
3.616,96	-0,57	-0,52	-0,53	-0,45	-0,38
3.701,96	-0,60	-0,54	-0,55	-0,47	-0,39
3.749,96	-0,56	-0,55	-0,56	-0,48	-0,41
3.845,96	-0,62	-0,59	-0,59	-0,51	-0,43
3.941,96	-0,61	-0,55	-0,55	-0,47	-0,41
4.037,96	-0,58	-0,50	-0,50	-0,42	-0,36
4.133,96	-0,54	-0,46	-0,44	-0,36	-0,31
4.229,96	-0,50	-0,41	-0,39	-0,30	-0,26
4.325,96	-0,47	-0,36	-0,34	-0,25	-0,21
4.421,96	-0,43	-0,31	-0,29	-0,21	-0,17
4.517,96	-0,39	-0,27	-0,26	-0,17	-0,14
4.613,96	-0,37	-0,24	-0,22	-0,13	-0,11
4.709,96	-0,36	-0,22	-0,21	-0,12	-0,08
4.802,82	-0,36	-0,22	-0,19	-0,10	-0,05
4.895,67	-0,36	-0,21	-0,17	-0,08	-0,03
4.988,53	-0,36	-0,18	-0,16	-0,06	-0,01
5.081,39	-0,36	-0,17	-0,13	-0,04	0,00
5.174,25	-0,34	-0,16	-0,12	-0,02	0,03
5.267,1	-0,34	-0,13	-0,10	0,00	0,04
5.359,96	-0,32	-0,12	-0,09	0,02	0,06
5.424,96	-0,32	-0,12	-0,09	0,02	0,06
5.516,07	-0,33	-0,12	-0,08	0,02	0,06
5.607,18	-0,32	-0,12	-0,09	0,02	0,06
5.698,29	-0,31	-0,12	-0,08	0,01	0,06
5.789,4	-0,30	-0,12	-0,08	0,02	0,06
5.880,52	-0,28	-0,12	-0,08	0,02	0,06
5.971,63	-0,27	-0,11	-0,08	0,02	0,06
6.062,74	-0,25	-0,11	-0,07	0,02	0,06
6.153,85	-0,22	-0,11	-0,08	0,01	0,06
6.244,96	-0,18	-0,10	-0,08	0,02	0,06
6.339,46	-0,14	-0,09	-0,07	0,02	0,06
6.433,96	-0,11	-0,08	-0,07	0,02	0,06
6.528,46	-0,07	-0,07	-0,06	0,02	0,06

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
6.622,96	-0,05	-0,05	-0,05	0,02	0,05
6.717,46	-0,03	-0,03	-0,04	0,01	0,04
6.811,96	-0,03	-0,02	-0,03	0,01	0,04
6.906,46	-0,01	-0,02	-0,03	0,00	0,03
7.000,96	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,02
7.095,46	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,01
7.189,96	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
7.282,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.374,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.466,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.559,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
7.651,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.743,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.835,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.928,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.020,42	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
8.112,69	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
8.204,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.296,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8.387,69	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8.479,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

De lo anterior se observa que la modificación del canal principal en la zona de bañado provoca una disminución de niveles hacia aguas arriba de la alcantarilla de la calle Municipio (del orden de 43-62 cm). Por el contrario, hacia aguas abajo la afectación es negativa, generándose un leve aumento de niveles entre 0,02 a 0,16 m según el tiempo de retorno.

Como conclusión se tiene que de mantenerse las obras hidráulicas en su estado actual, la modificación de la geometría del curso del arroyo en el tramo del bañado repercute en forma positiva en cuanto a la inundabilidad de la zona.

4.1.2. Eliminación del puente de la Ruta N° 1 vieja

De los resultados obtenidos en las simulaciones que representan el funcionamiento actual del arroyo, se concluye que el puente ubicado sobre la Ruta N° 1 vieja resulta una importante obstrucción al flujo, especialmente para caudales de baja magnitud.

Por problemas estructurales, a este puente se le construyeron refuerzos que generan un importante estrangulamiento de la sección hidráulica del arroyo. A nivel de zampeado se colocaron tuberías que

permiten el paso del caudal permanente del arroyo, pero para situaciones de crecida las obras de refuerzo en el puente generan un estrangulamiento importante de la sección hidráulica.

Como propuesta de mejora se propone eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja ubicado en la progresiva 2.996,5. Esto significa eliminar la barrera al flujo, disminuyendo en consecuencia el remanso hacia aguas arriba.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en las distintas simulaciones que reflejan el comportamiento hidráulico del arroyo La Caballada para distintas tormentas de diseño.

Las figuras que se incluyen a continuación muestran los perfiles hidráulicos para la condición actual de escurrimiento y condición de cauce sin el puente de la Ruta N° 1 vieja. La lámina IF02 presenta la planimetría con las curvas de inundación asociadas.

Figura 4.9 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta 1 vieja, para $T_r=2$ años

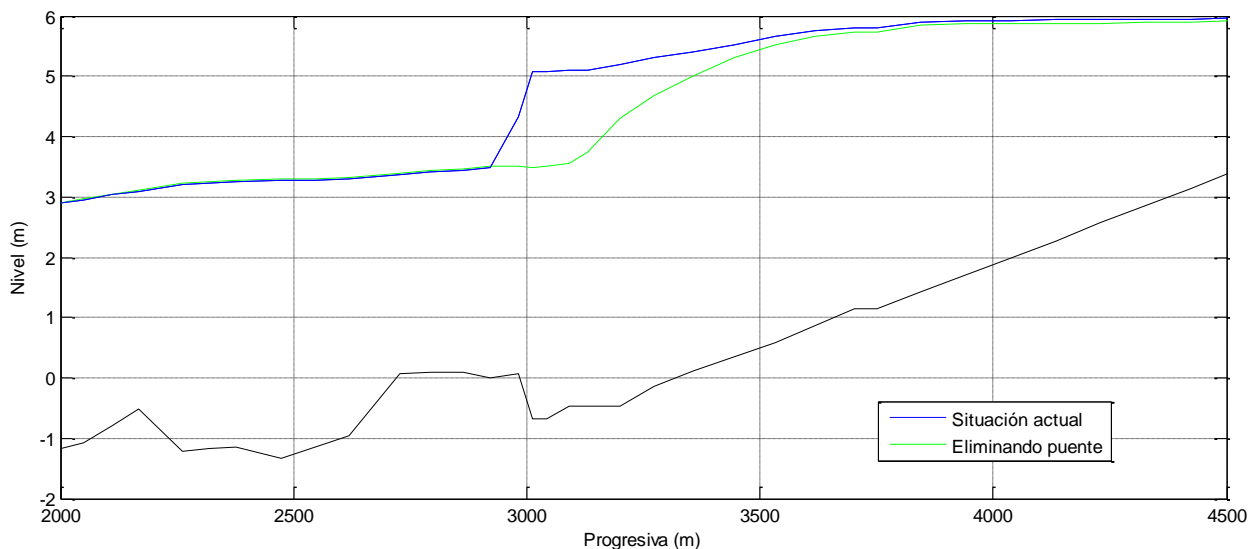


Figura 4.10 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para Tr=10 años

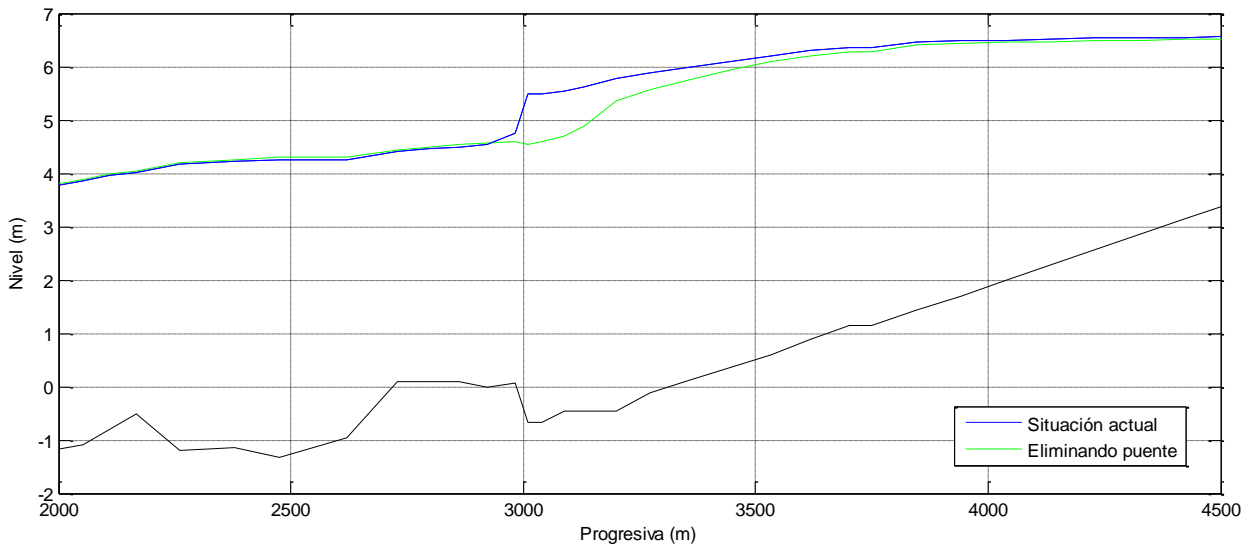
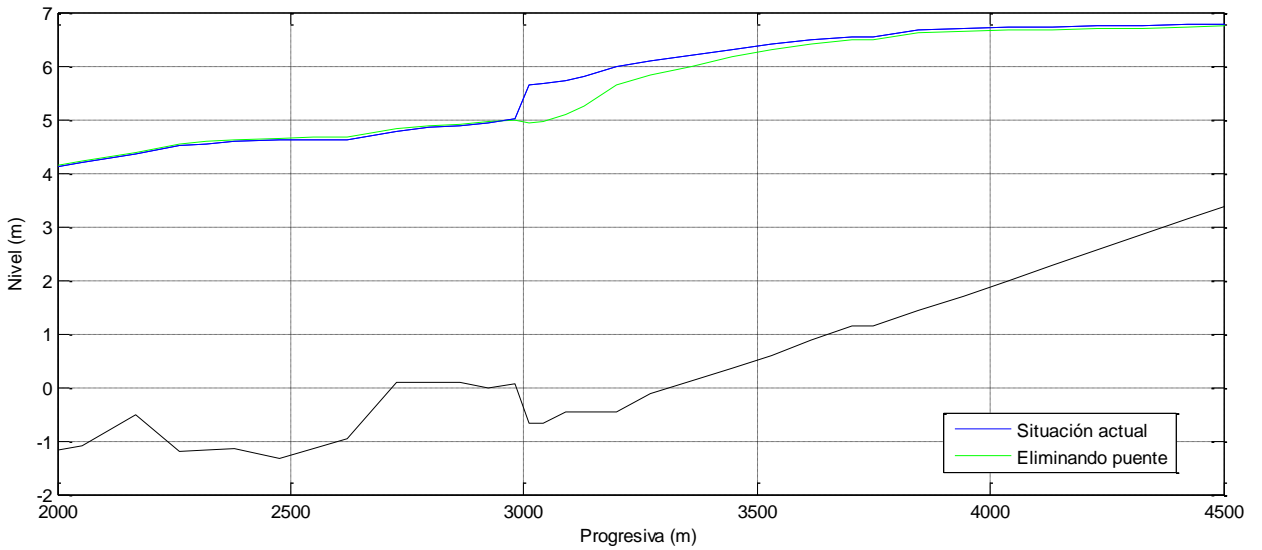


Figura 4.11 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para Tr=20 años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Figura 4.12 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para Tr=100 años

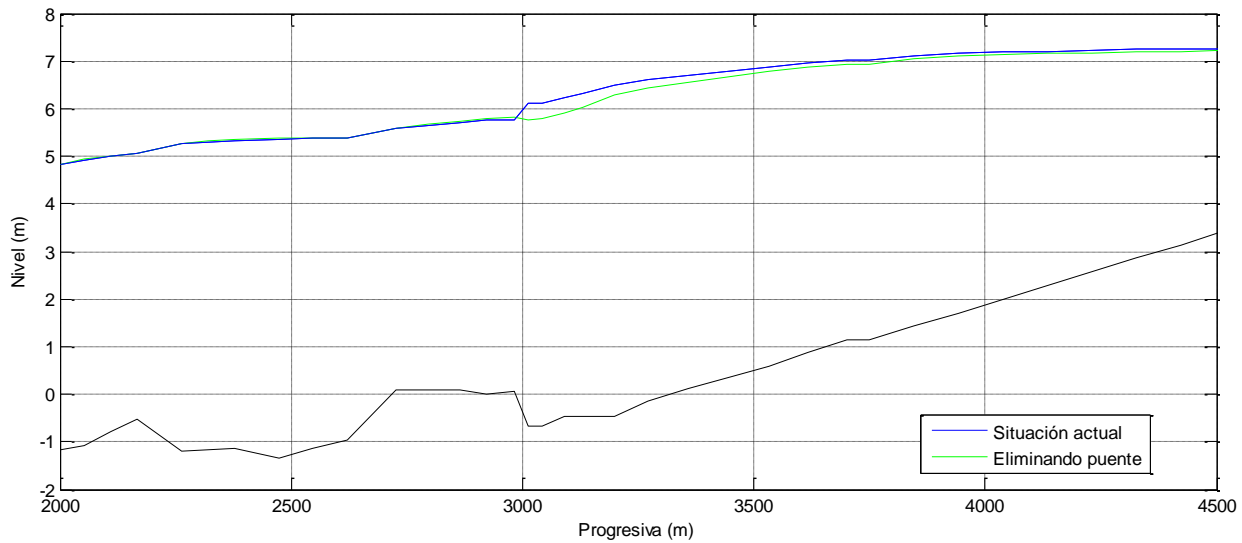
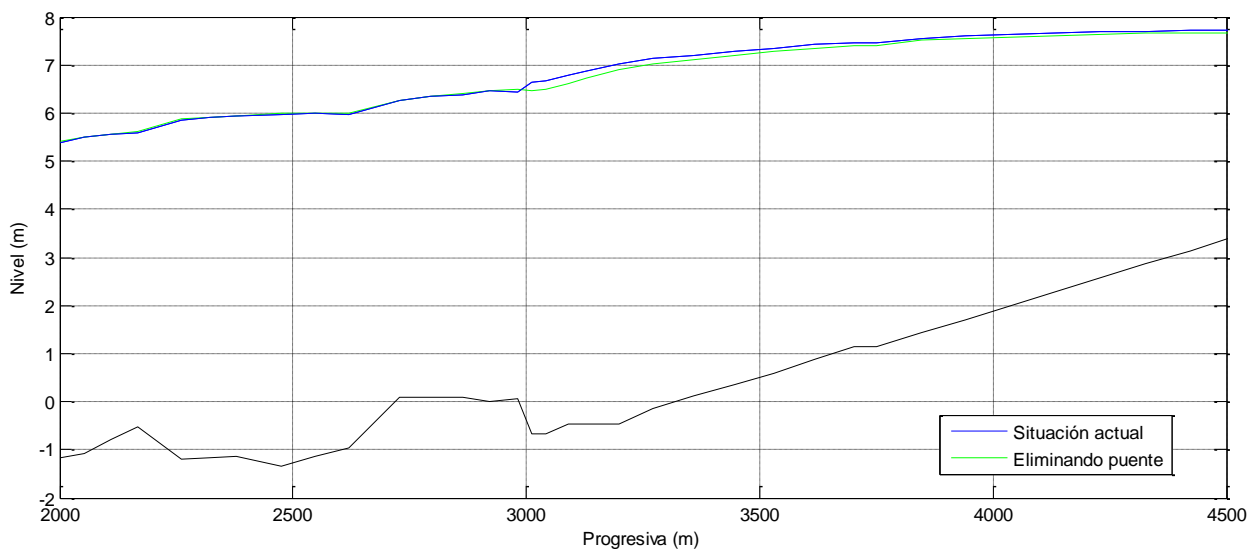


Figura 4.13 Perfil del agua del arroyo La Caballada en la situación actual y al eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja, para Tr=500 años



Los perfiles hidráulicos asociados a la situación actual evidencian un remanso del arroyo inmediatamente aguas arriba de la localización del puente (progresiva 2+996,5). Para la condición en la que este puente se elimina y a mayores progresivas, los niveles de agua disminuyen en relación a la situación actual. Asimismo, hacia aguas abajo los niveles suben pero en forma despreciable (apenas unos centímetros).

Al igual que para el caso anterior, la Figura 4.14 y la Tabla 4.2 resumen las diferencias de niveles obtenidas entre ambas simulaciones para cada período de retorno considerado en función de la progresiva.

Informe final.

Figura 4.14 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de eliminación del puente sobre la Ruta N° 1 vieja

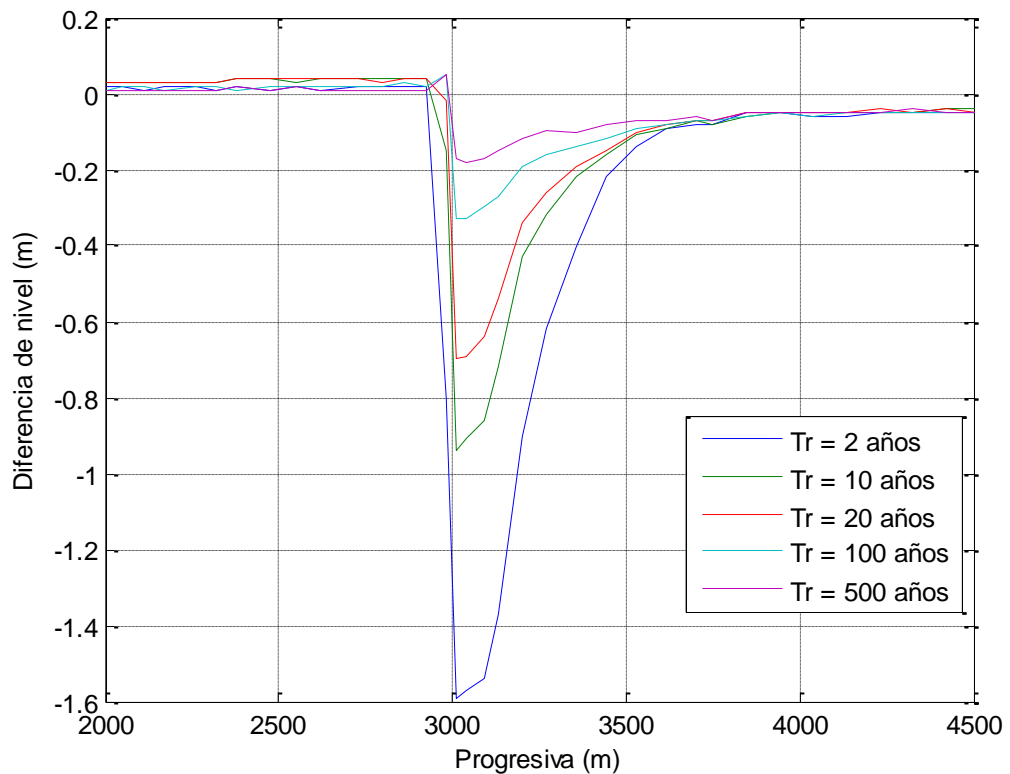


Tabla 4.2 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de eliminación del puente sobre la Ruta N° 1 vieja

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
0	0	0	0	0	0
53,11	0	0	0	0	0
106,22	0,01	0	0	0	0
165,14	0	0,01	0	0	0
224,05	0,01	0	0	0	0
308,47	0	0,01	0	0	0
382,37	0	0,01	0,01	0	0
456,26	0	0	0	0	0
539,68	0	0	0,01	0,01	0
623,09	0	0,01	0,01	0,01	0,01
681,5	0	0,01	0,01	0	0,01
739,91	0,01	0,01	0,01	0,01	0

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
796,74	0	0,01	0,01	0,01	0,01
853,56	0	0,01	0,02	0,01	0,01
947,93	0	0,02	0,02	0,01	0
999,55	0,01	0,01	0,02	0,01	0
1.051,16	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
1.116,41	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
1.181,65	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
1.250,43	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
1.320,15	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
1.389,86	0,01	0,02	0,03	0,02	0
1.440,65	0,01	0,02	0,02	0,02	0
1.510,84	0,01	0,03	0,03	0,02	0
1.581,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01
1.634,83	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
1.688,62	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01
1.758,32	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
1.828,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
1.887,19	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
1.946,35	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
1.998,9	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01
2.051,45	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
2.109,67	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
2.167,88	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01
2.262,22	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
2.320,16	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
2.378,09	0,02	0,04	0,04	0,01	0,02
2.474,69	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01
2.547,33	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02
2.619,97	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01
2.727,97	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01
2.795,72	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
2.863,46	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01
2.922,46	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01
2.981,46	-0,8	-0,15	-0,02	0,05	0,05
3.011,46	-1,59	-0,94	-0,7	-0,33	-0,17
3.041,46	-1,57	-0,91	-0,69	-0,33	-0,18
3.089,96	-1,54	-0,86	-0,64	-0,3	-0,17
3.129,96	-1,37	-0,72	-0,54	-0,27	-0,15
3.199,96	-0,9	-0,43	-0,34	-0,19	-0,12
3.271,96	-0,62	-0,32	-0,26	-0,16	-0,1
3.358,63	-0,4	-0,22	-0,19	-0,14	-0,1
3.445,29	-0,22	-0,16	-0,15	-0,12	-0,08
3.531,96	-0,14	-0,11	-0,1	-0,09	-0,07
3.616,96	-0,09	-0,09	-0,08	-0,08	-0,07
3.701,96	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06
3.749,96	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07
3.845,96	-0,05	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05
3.941,96	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
4.037,96	-0,06	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05
4.133,96	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
4.229,96	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05
4.325,96	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04
4.421,96	-0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05
4.517,96	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05
4.613,96	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05
4.709,96	-0,04	-0,03	-0,03	-0,05	-0,04
4.802,82	-0,03	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04
4.895,67	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03
4.988,53	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04
5.081,39	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,04
5.174,25	-0,01	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03
5.267,1	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
5.359,96	0	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04
5.424,96	0	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04
5.516,07	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
5.607,18	0	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03
5.698,29	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
5.789,4	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
5.880,52	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
5.971,63	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
6.062,74	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03
6.153,85	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
6.244,96	0	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
6.339,46	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03
6.433,96	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
6.528,46	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
6.622,96	0	-0,01	0	-0,01	-0,02
6.717,46	0	0	-0,01	-0,01	-0,02
6.811,96	0	0	0	-0,01	-0,01
6.906,46	0	0	0	-0,01	-0,01
7.000,96	0	0	0	0	-0,01
7.095,46	0	0	0	0	0

El efecto de eliminar el puente de la Ruta N° 1 vieja es el descenso de los niveles de crecida hacia aguas arriba de su localización (progresiva 2.996,5), y el aumento de unos pocos centímetros hacia aguas abajo.

A menores períodos de retorno, la disminución de los niveles de crecida hacia aguas arriba es más notoria, lo cual es esperable debido a la obstrucción que se tiene para niveles bajos.

4.1.3. Construcción de embalses de laminación

La construcción de embalses de laminación aguas arriba de la zona de interés es el método más eficaz para reducir las afectaciones por inundaciones. La desventaja más grande de esta propuesta de obra suele ser el costo de la construcción de las represas y la expropiación de las tierras.

En este caso se identificaron dos lugares posibles para construcción de embalses: uno en el Arroyo La Caballada y otro en el Arroyo del General. Los sitios son interesantes porque presentan geometrías

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

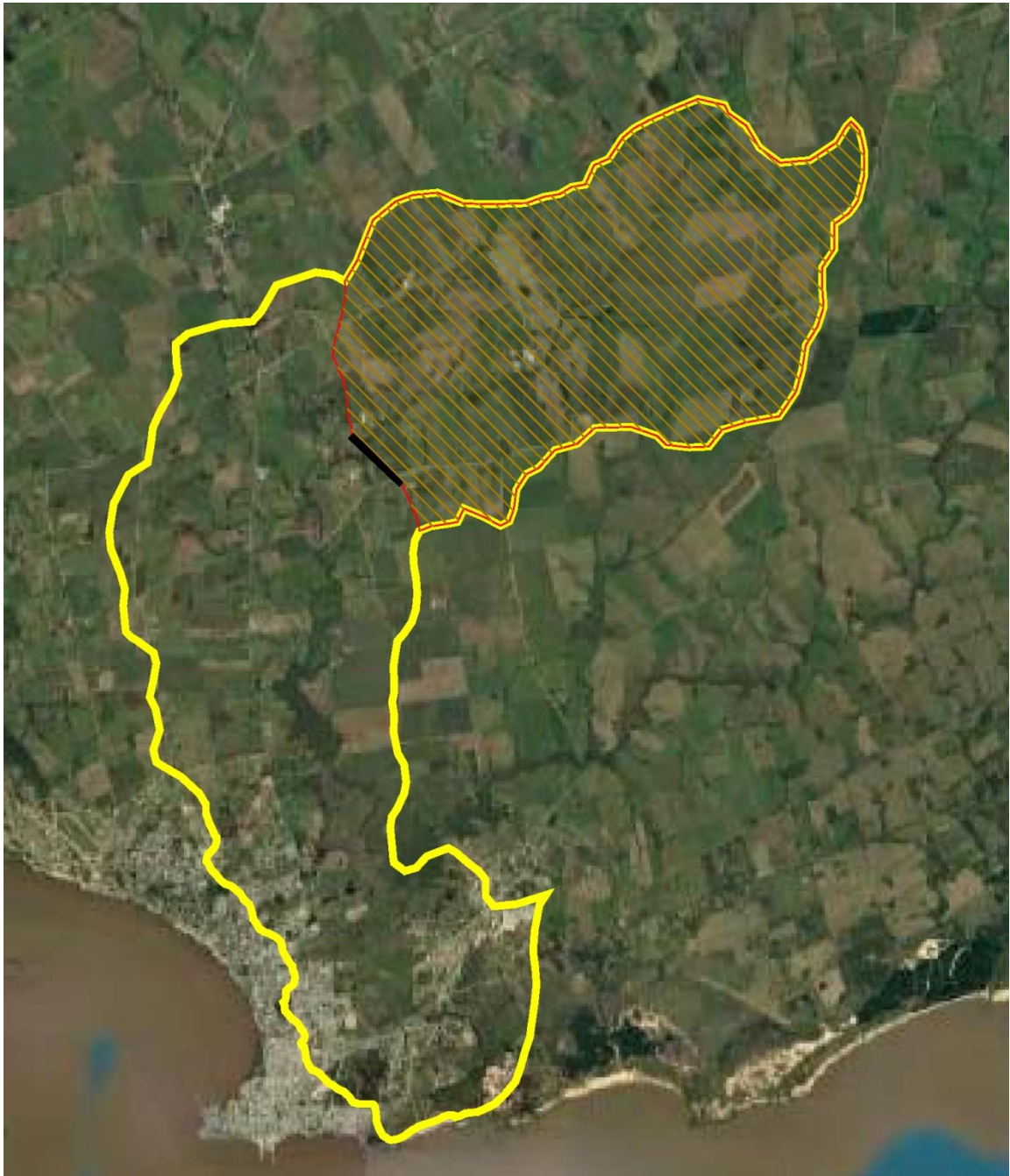
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

adecuadas para el cierre y su cuenca de aporte es un porcentaje apreciable de la cuenca que aporta a la zona de interés.

La Figura 4.15 muestra la ubicación del embalse del arroyo La Caballada y su cuenca de aporte. Esta tiene 2.700 ha, el 39% de la cuenca del arroyo sin considerar la cuenca del Arroyo del General, y un tiempo de concentración de 3 horas. La Figura 4.16 muestra los caudales de entrada al embalse para cada período de retorno.

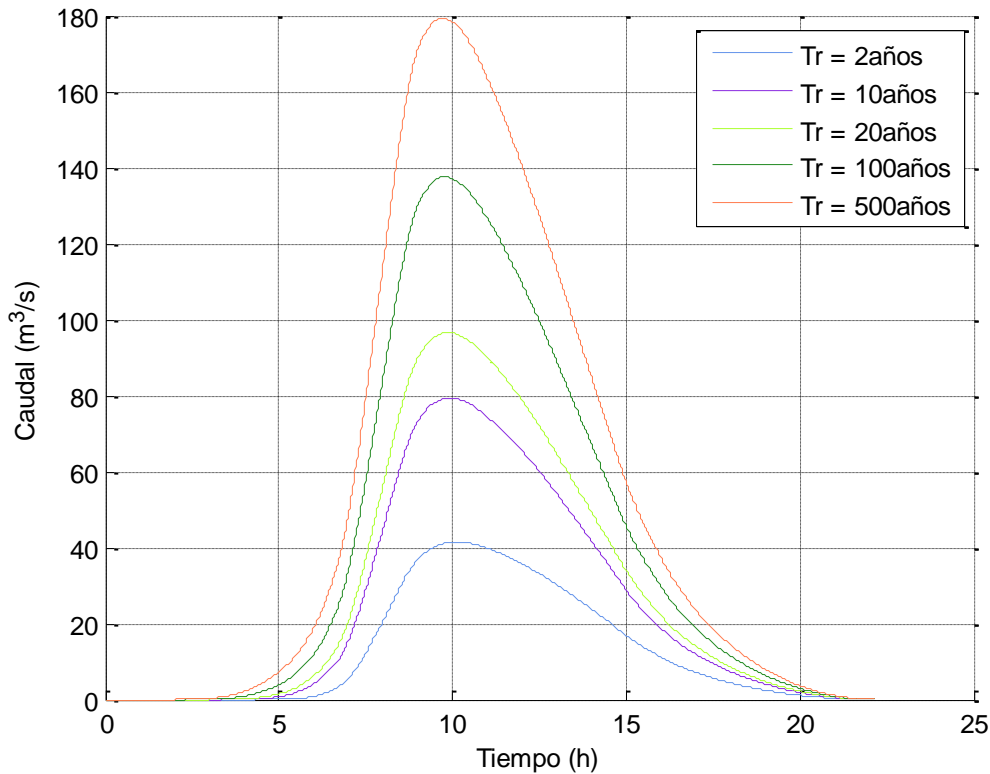
Figura 4.15 Embalse del arroyo La Caballada



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Figura 4.16 Caudales de entrada al embalse del arroyo La Caballada



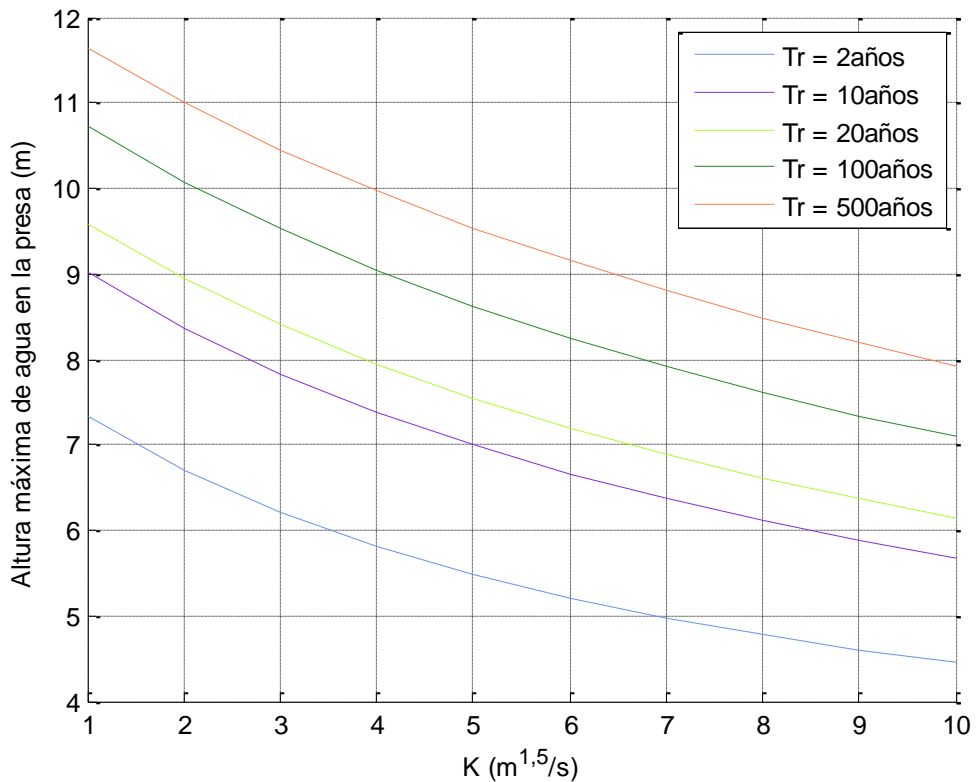
En el punto de cierre, la cota del arroyo es aproximadamente 19 m. Utilizando las curvas de nivel cada 10 m se estimó en forma muy gruesa la capacidad de laminación del embalse. Para el cálculo de la laminación se asumió una cota de vertedero de 21 m, de modo de asegurar un nivel mínimo en el embalse.

El caudal de salida depende de la forma y dimensiones del vertedero, pero en forma genérica se puede expresar como:

$$Q_s = K(h - h_v)^{1,5}$$

Donde h es el nivel de agua y h_v es la cota del vertedero. El valor de K depende del largo y la forma del vertedero. Como en esta instancia no se está dimensionando el vertedero, se trabajó solamente con esa constante. La siguiente Figura muestra la altura máxima obtenida en el embalse para cada período de retorno en función del valor de la constante K . La altura es relativa al fondo del embalse (2 m por debajo del nivel de vertedero). Se utilizó ese nivel de referencia ya que es el que determinará la altura máxima de la presa.

Figura 4.17 Altura máxima obtenida en el embalse del arroyo La Caballada para cada período de retorno en función del valor de la constante K



Se pueden presentar también los caudales de salida en función de K, pero se decidió utilizar los resultados anteriores para vincular dicha constante con la altura de la presa, si se determina con qué período de retorno se comienza a sobrepasar la presa. En este caso se tomó el criterio de 100 años.

Por lo tanto, las Figuras a continuación muestran el caudal máximo saliente y su relación con el caudal máximo entrante al embalse en función de la altura de la presa, para cada período de retorno. No se presentan los datos para 500 años de período de retorno porque al sobrepasarse la presa respondería a una ley de descarga totalmente diferente.

Figura 4.18 Caudal máximo de salida del embalse del arroyo La Caballada

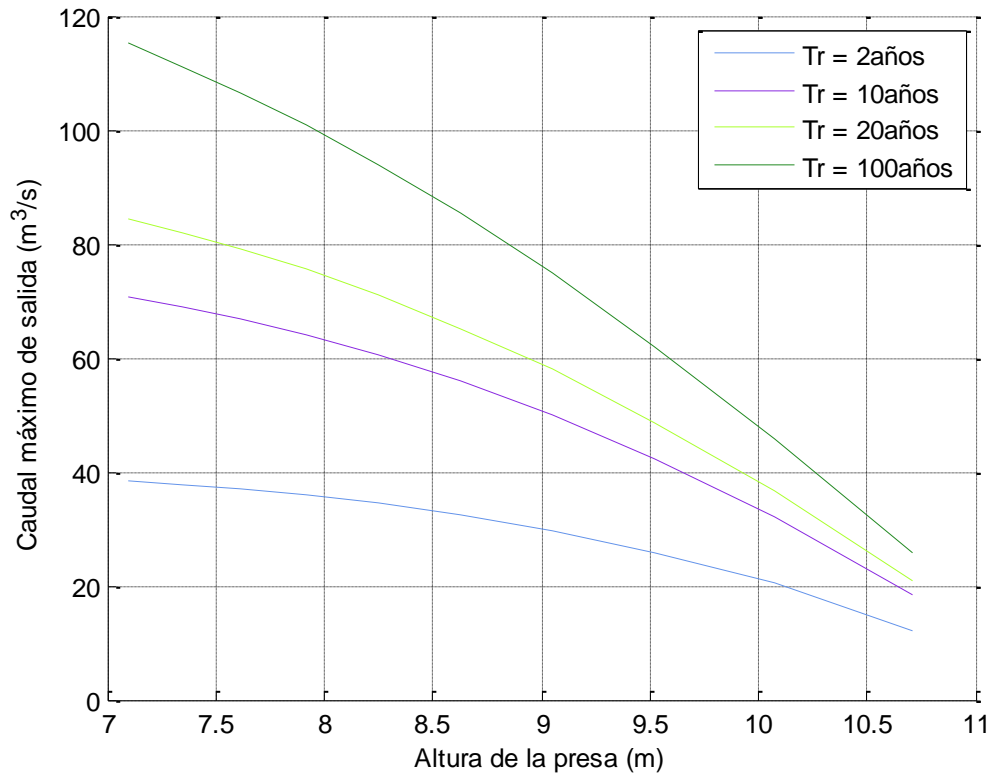
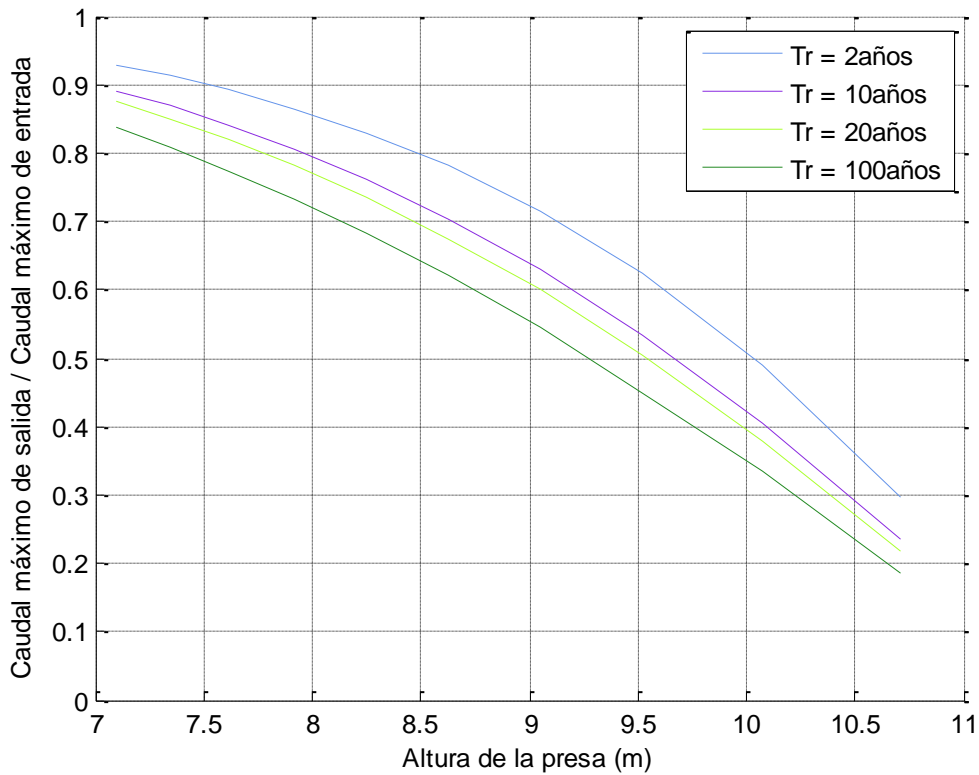


Figura 4.19 Relación del caudal máximo de salida y el caudal máximo de entrada del embalse del arroyo La Caballada



Informe final.

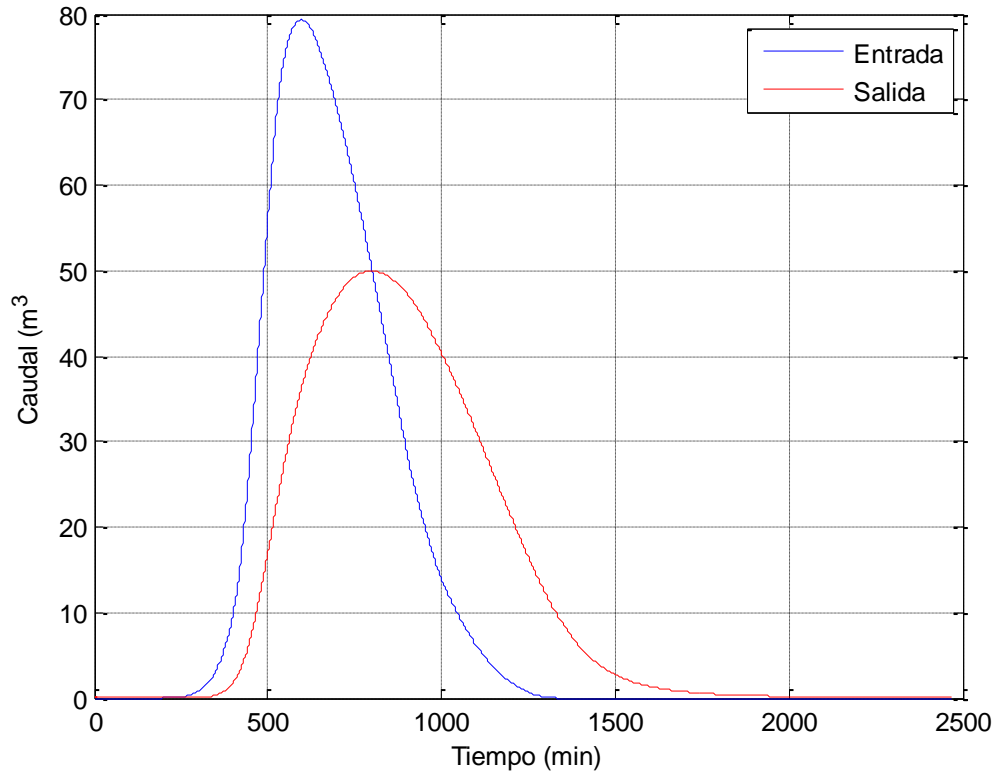
Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

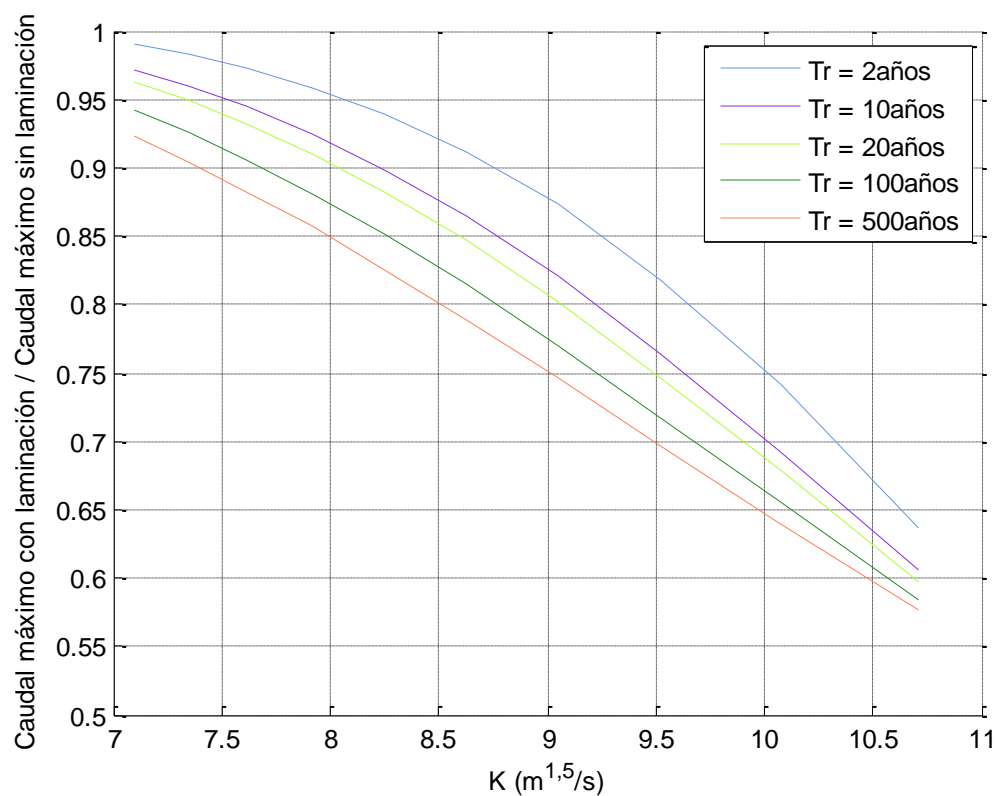
Como ejemplo, se presentan los caudales de entrada y salida del embalse para 10 años de período de retorno y 9 m de altura de presa.

Figura 4.20 Ejemplo de caudal de entrada y salida del embalse del arroyo La Caballada para $T_r=10$ años



A su vez, al hidrograma de salida del embalse se le suma aguas abajo el de la cuenca no laminada. La Figura 4.21 muestra la relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa.

Figura 4.21 Relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa



Del mismo modo, se calculó el efecto de construir un embalse en el Arroyo del General, en el sitio indicado en la Figura 4.22. La cuenca de aporte tiene 4.200 ha que representa el 58% del área de la cuenca del arroyo, y un tiempo de concentración de 4,5 horas.

Figura 4.22 Embalse del Arroyo del General



La Figura 4.23 muestra los caudales de entrada al embalse en el Arroyo del General para cada período de retorno, mientras que la Figura 4.24 muestra la altura máxima obtenida en el embalse para cada período de retorno en función del valor de la constante K, tal como se realizó para el embalse en el arroyo La Caballada empleando la fórmula genérica de vertido.

En este embalse, en el punto de cierre, la cota del arroyo es aproximadamente 18 m. Para el cálculo de la laminación se asumió una cota de vertedero de 20 m, de modo de asegurar un nivel mínimo en el embalse. La altura es relativa al fondo del embalse (2 m por debajo del nivel de vertedero). Se utilizó ese nivel de referencia ya que es el que determinará la altura máxima de la presa.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Figura 4.23 Caudales de entrada al embalse del Arroyo del General

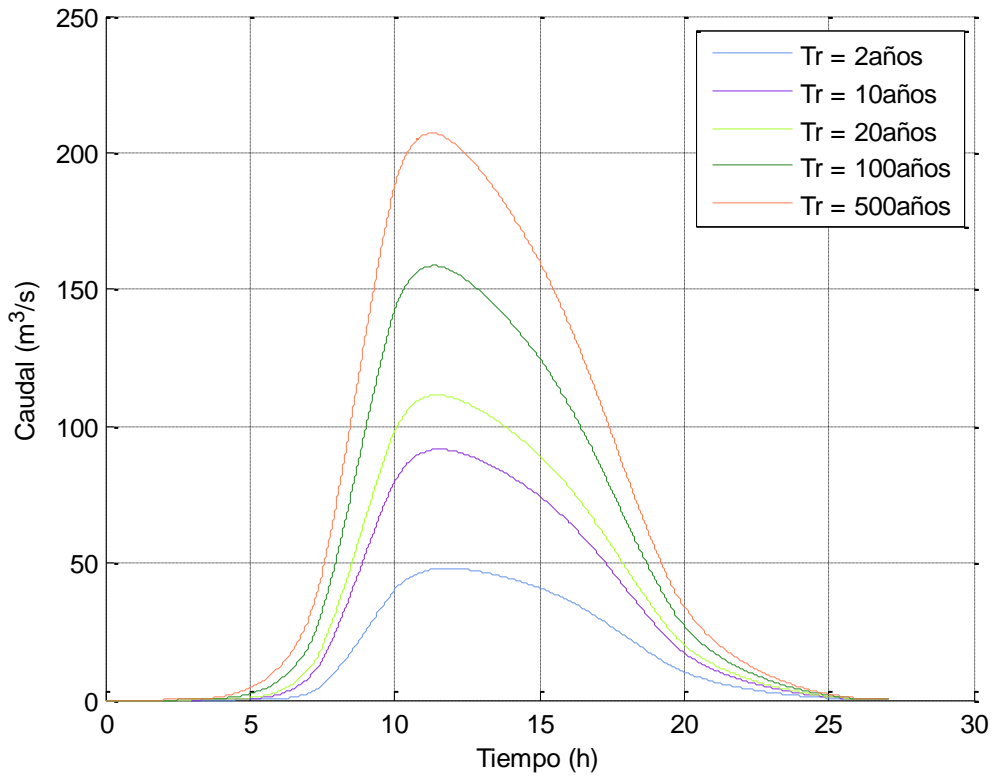
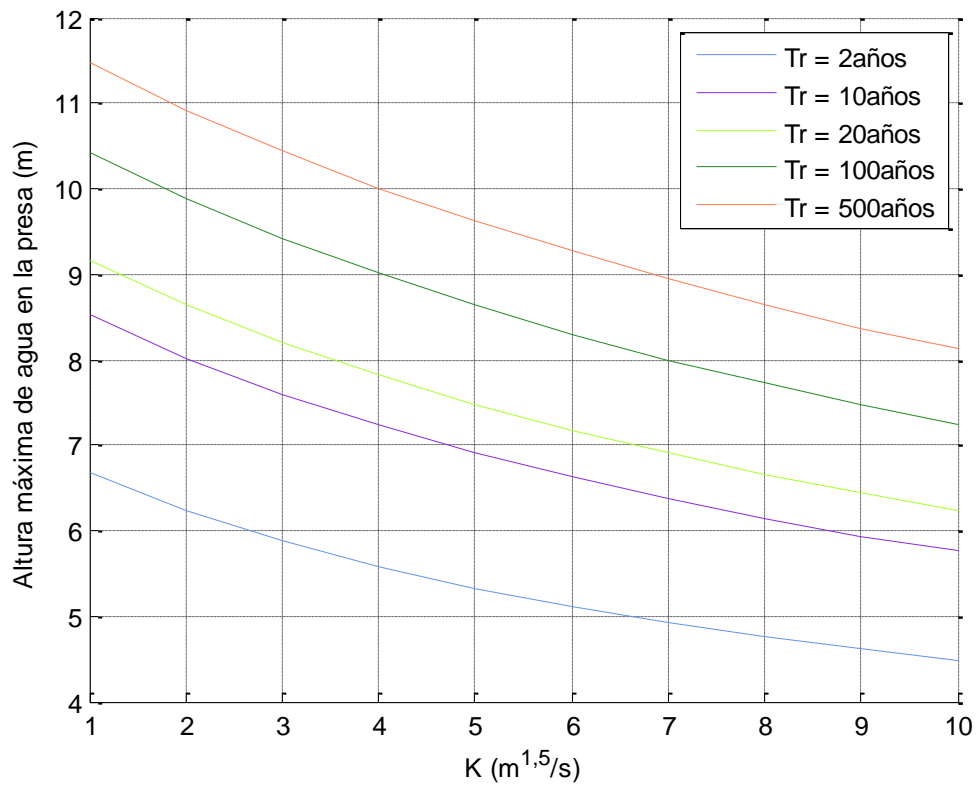


Figura 4.24 Altura máxima obtenida en el embalse del Arroyo del General para cada período de retorno en función del valor de la constante K



Informe final.

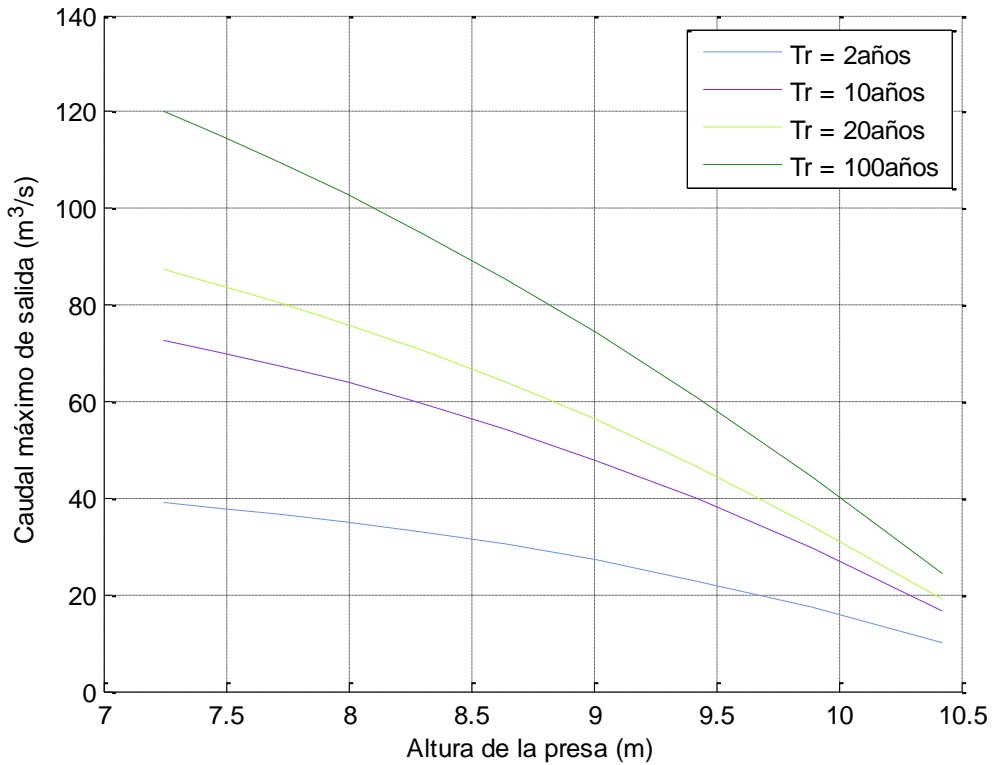
Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Al igual que para el embalse del arroyo La Caballada, las Figuras a continuación muestran el caudal máximo saliente y su relación con el caudal máximo entrante al embalse del Arroyo del General en función de la altura de la presa, para cada período de retorno. Tampoco se presentan los datos para 500 años de período de retorno porque al sobrepasarse la presa respondería a una ley de descarga totalmente diferente.

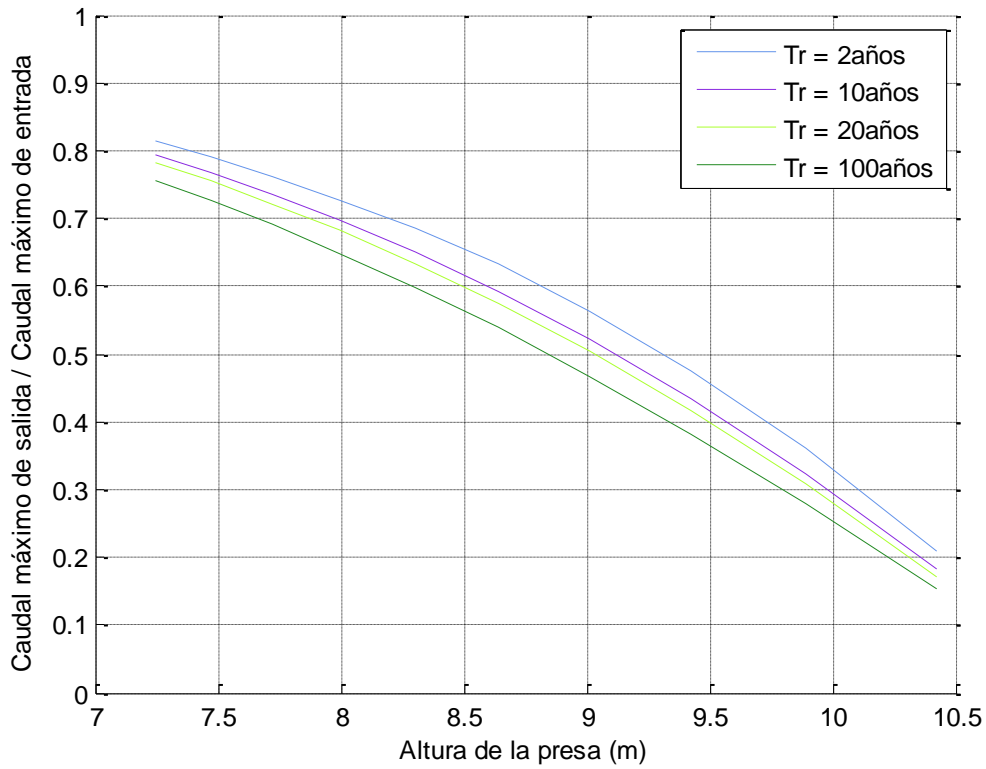
Figura 4.25 Caudal máximo de salida del embalse del Arroyo del General



Informe final.

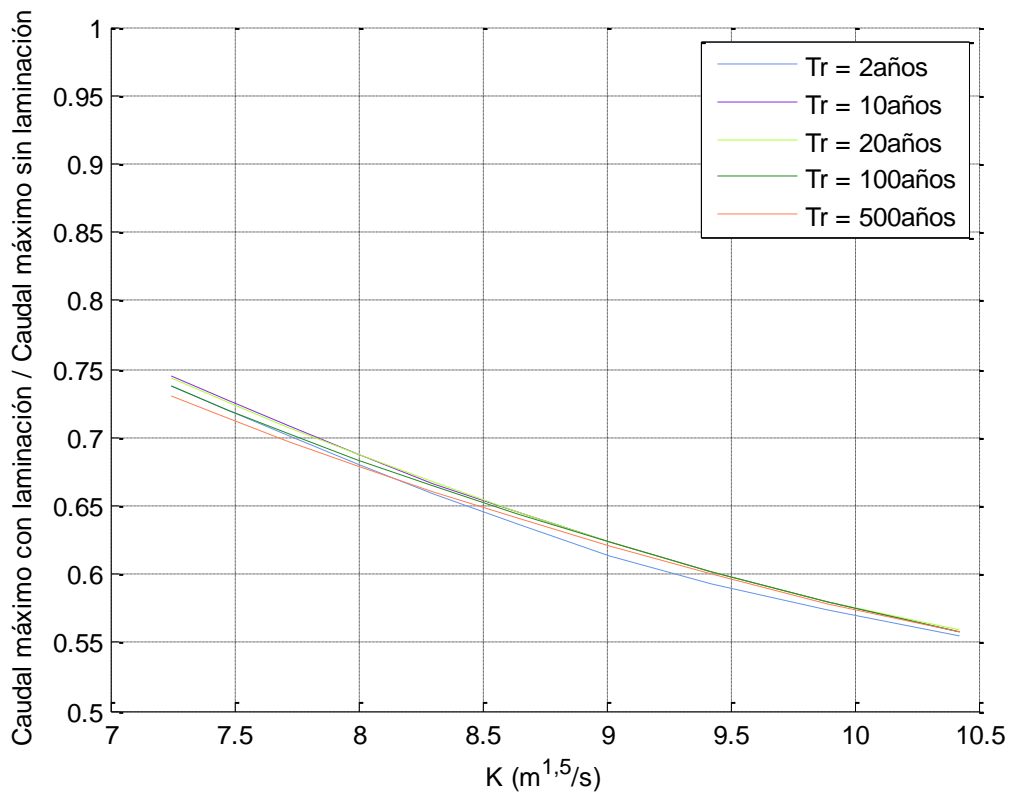
Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

Figura 4.26 Relación del caudal máximo de salida y el caudal máximo de entrada del embalse del Arroyo del General



La Figura 4.27 muestra la relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa, en donde se suma al hidrograma de salida del embalse el caudal de la cuenca no laminada.

Figura 4.27 Relación de caudales picos en la zona de interés, para cada período de retorno y altura de presa



Se observa que el embalse propuesto en el Arroyo del General es más útil que el del arroyo La Caballada. Se entiende que es preferible la construcción de un embalse de mayor tamaño en esa ubicación, que dos embalses de menor tamaño.

Se simuló el efecto de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General. A continuación se presentan los resultados de dicha simulación para ambos arroyos, y su comparación con la situación actual. Los resultados se presentan para los diferentes períodos de retorno en estudio, con excepción de 500 años por los motivos ya expuestos anteriormente.

Figura 4.28 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, $T_r=2$ años

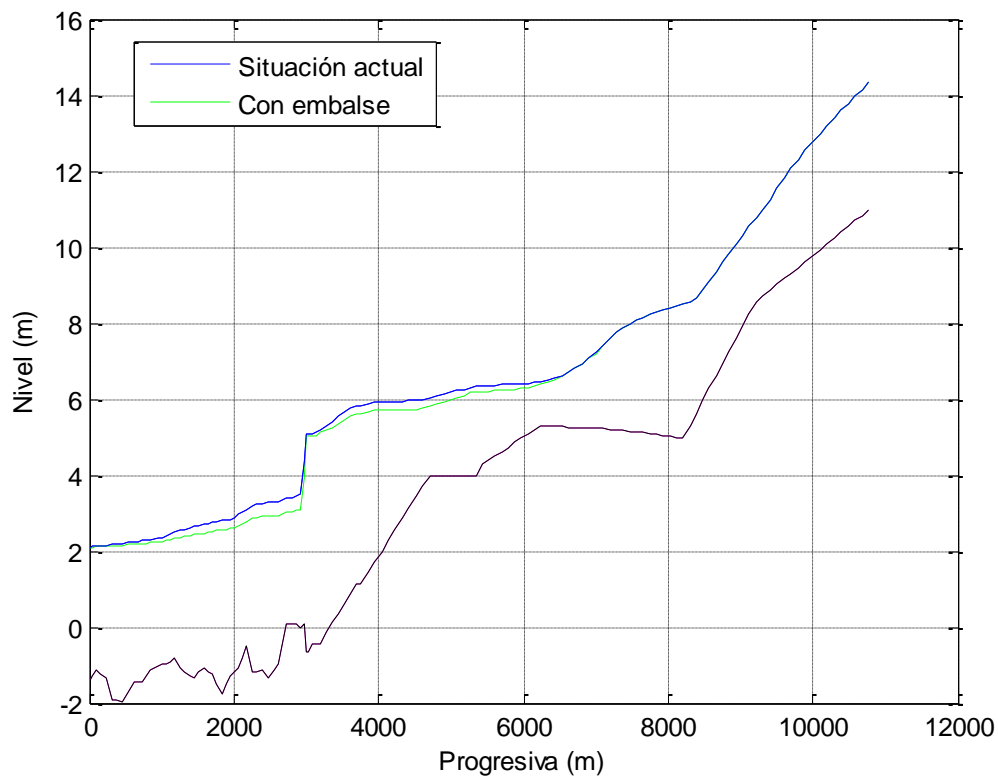
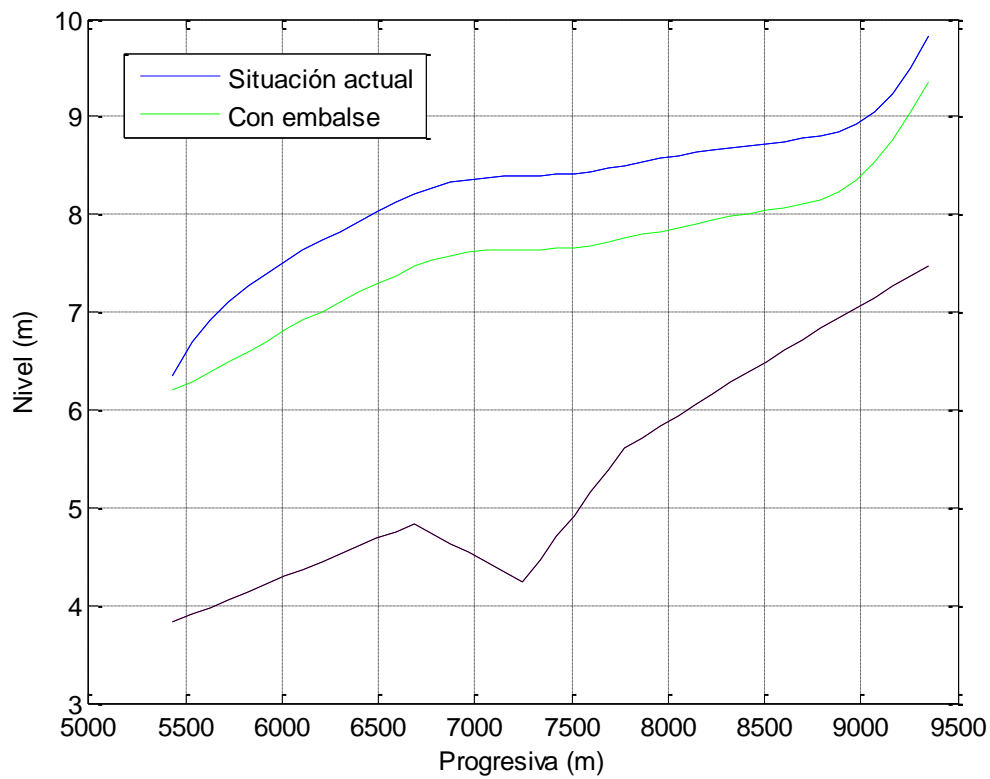


Figura 4.29 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, $T_r=2$ años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 4.30 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, $T_r=10$ años

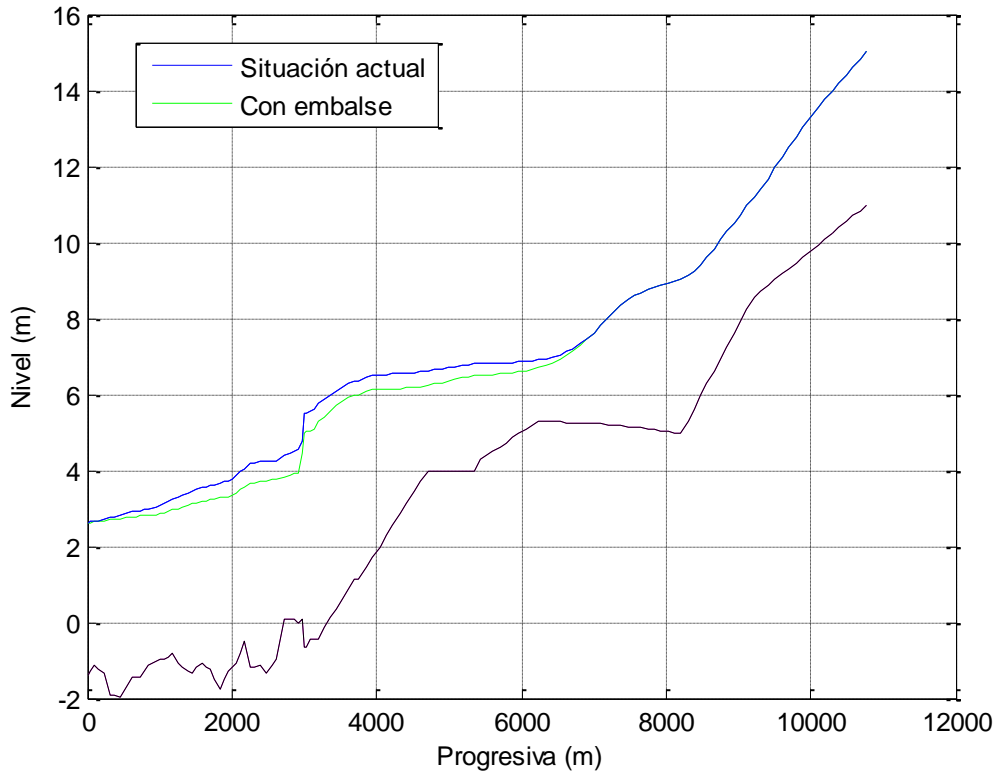
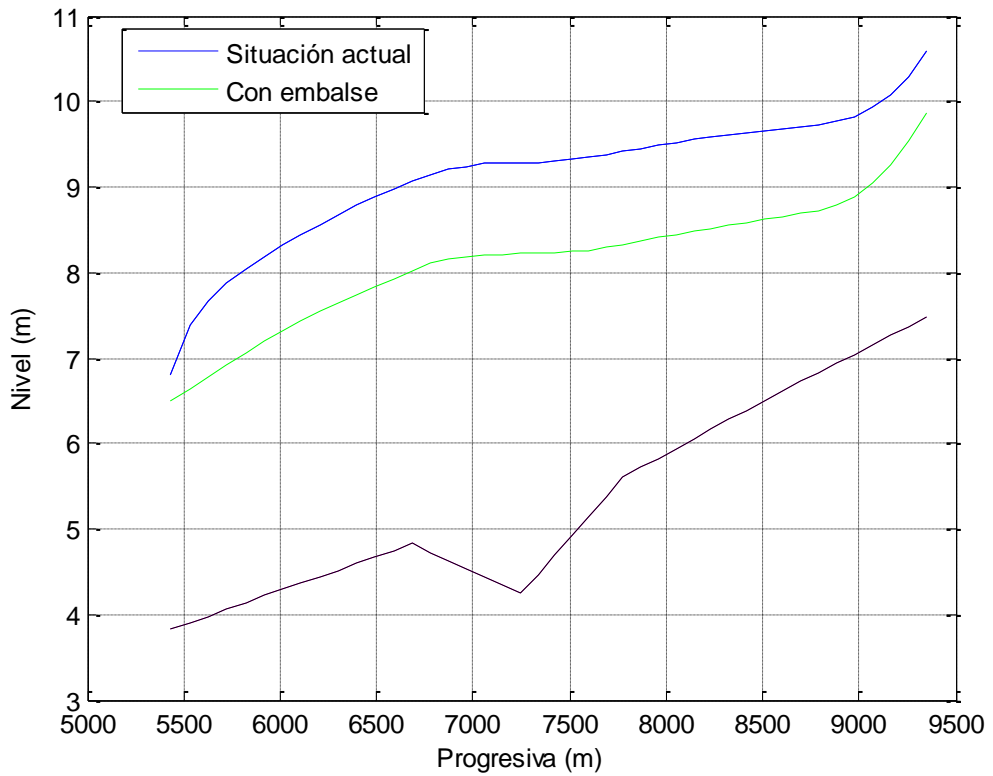


Figura 4.31 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, $T_r=10$ años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Figura 4.32 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, $T_r=20$ años

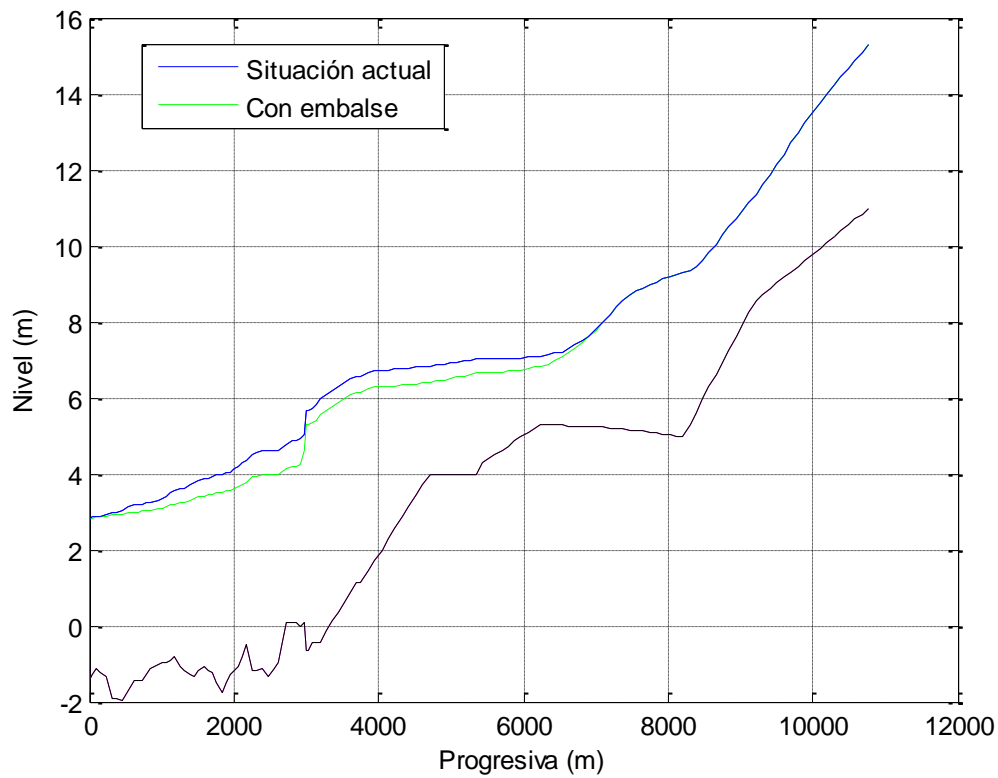
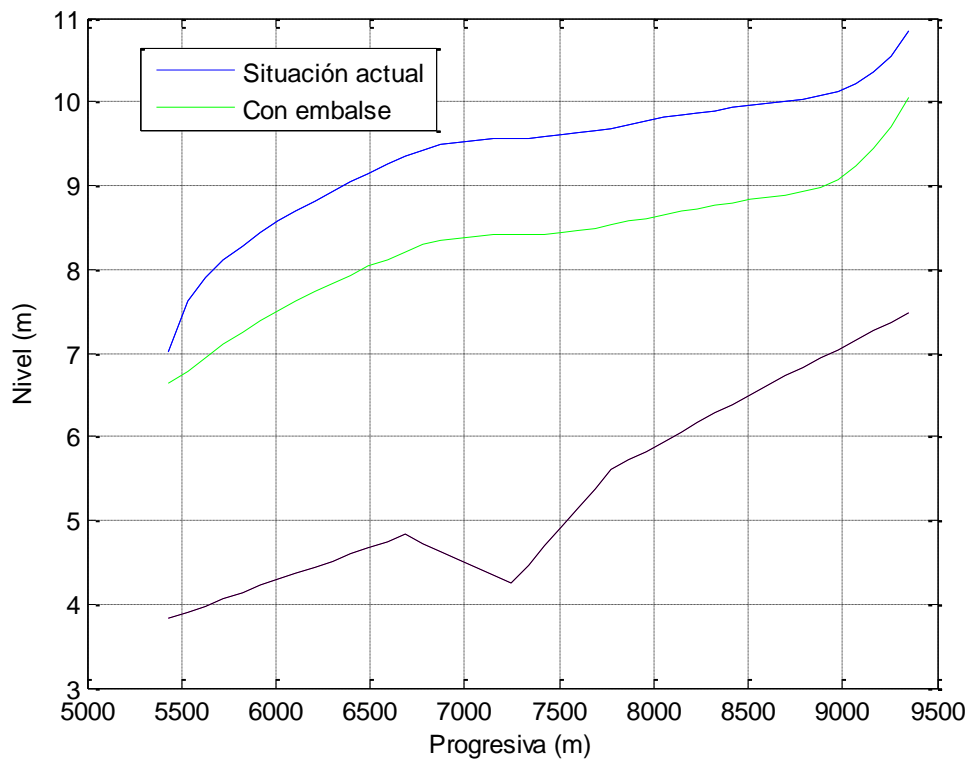


Figura 4.33 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, $T_r=20$ años



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 4.34 Efecto en el arroyo La Caballada de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el Arroyo del General, $T_r=100$ años

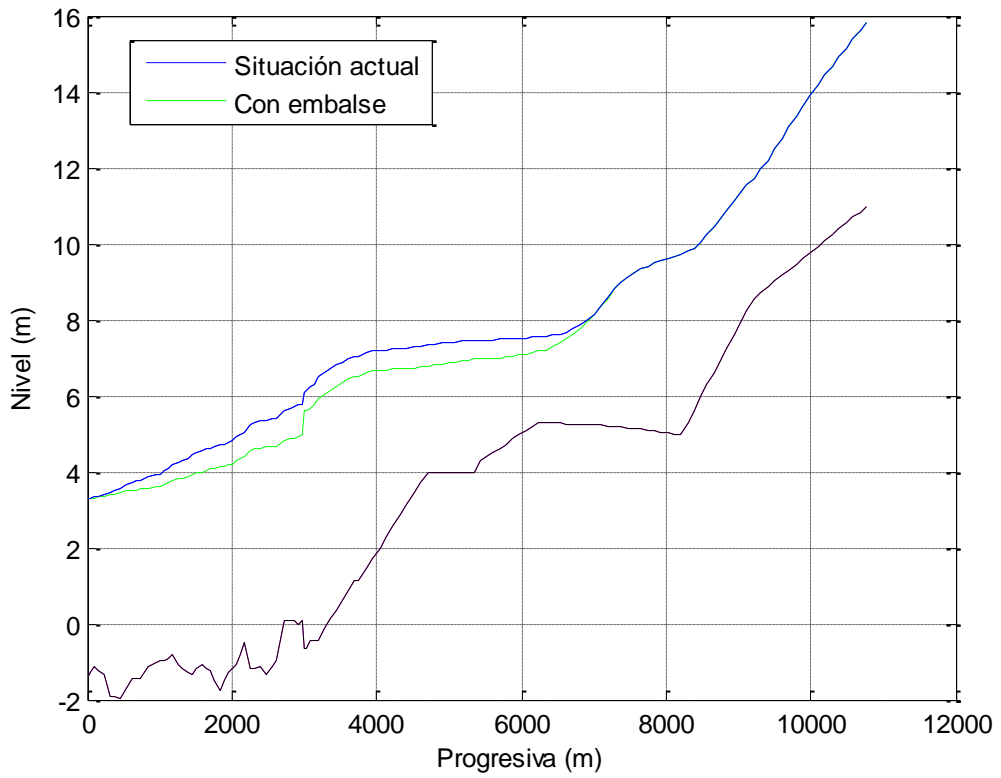
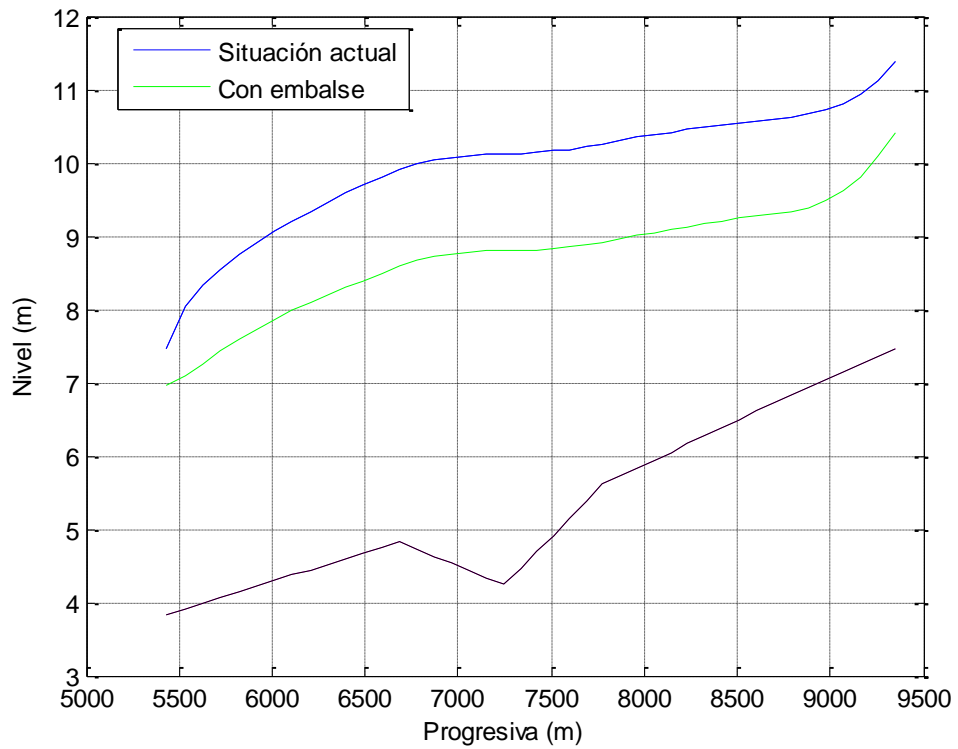


Figura 4.35 Efecto en el Arroyo del General de construir una presa de aproximadamente 10 m de altura en el mismo arroyo, $T_r=100$ años

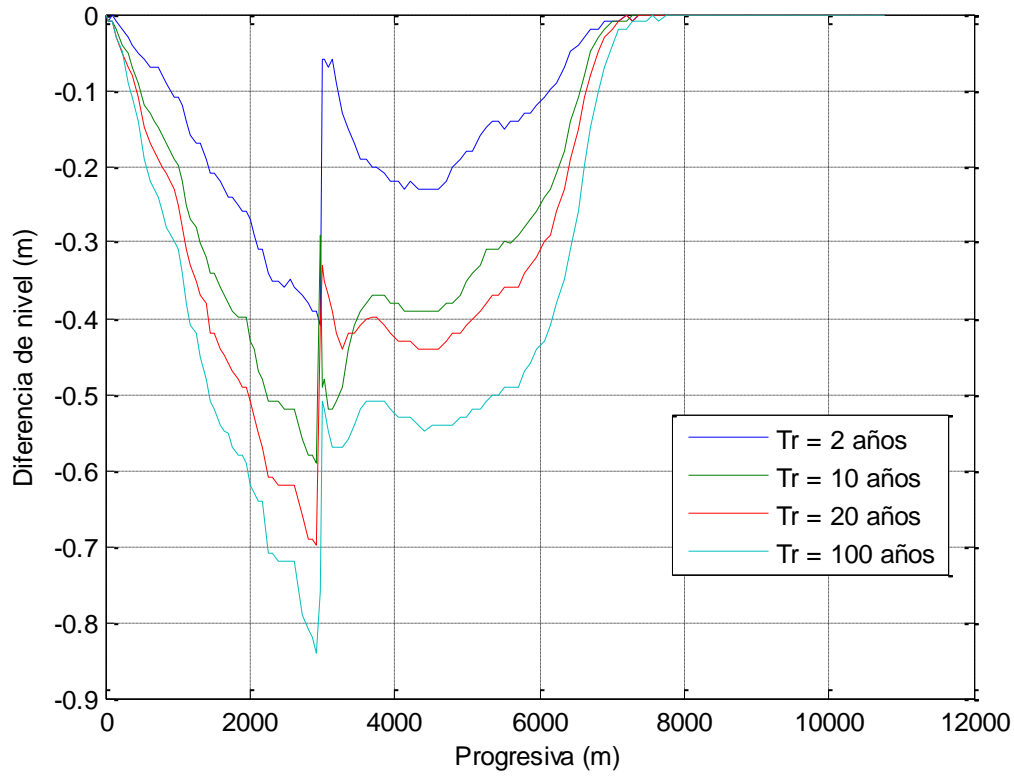


Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Las Figuras a continuación y la Tabla 4.3 y Tabla 4.4 muestran las diferencias de niveles para ambos arroyos luego de la construcción del embalse de 10 m de altura en el Arroyo del General. La lámina IF03 presenta la planimetría con las curvas de inundación asociadas al Arroyo La Caballada.

Figura 4.36 Diferencia de niveles del arroyo La Caballada en la situación actual y con el embalse en el Arroyo del General



Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Figura 4.37 Diferencia de niveles del Arroyo del General en la situación actual y con el embalse en el mismo arroyo

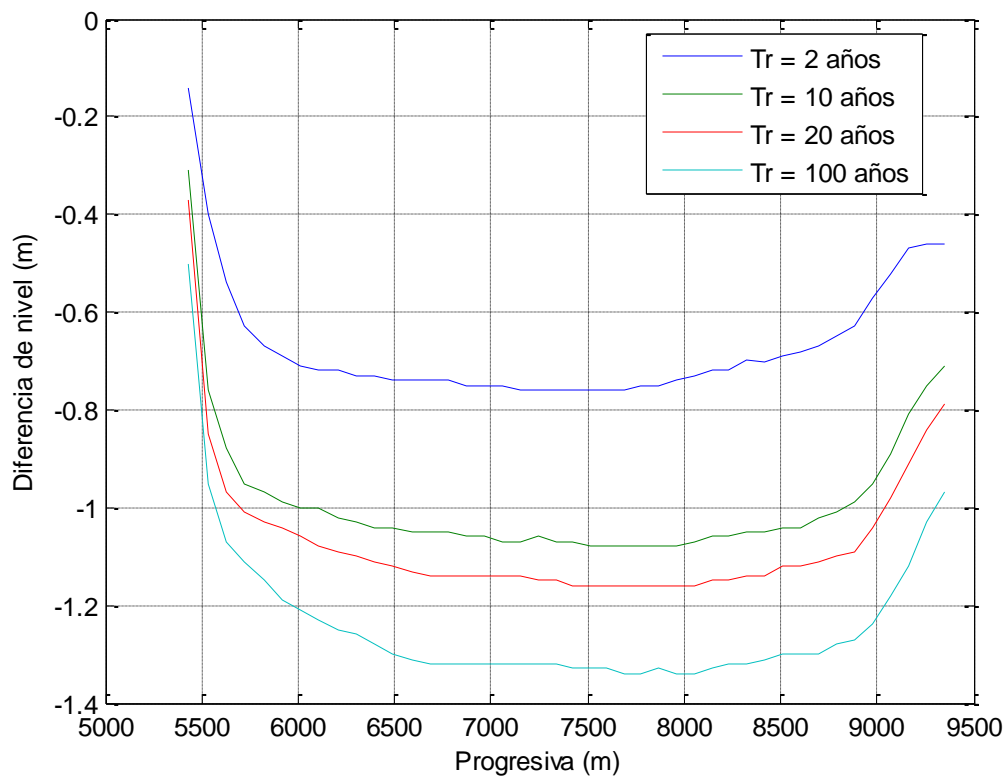


Tabla 4.3 Diferencia de niveles del arroyo La Caballada en la situación actual y con el embalse en el Arroyo del General

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
0	0	0	0	0
53,11	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
106,22	0	-0,01	-0,01	-0,01
165,14	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
224,05	-0,02	-0,04	-0,05	-0,05
308,47	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09
382,37	-0,04	-0,07	-0,08	-0,11
456,26	-0,05	-0,09	-0,11	-0,14
539,68	-0,06	-0,12	-0,15	-0,19
623,09	-0,07	-0,13	-0,17	-0,22
681,5	-0,07	-0,14	-0,18	-0,23
739,91	-0,07	-0,15	-0,19	-0,24
796,74	-0,08	-0,16	-0,2	-0,26

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
853,56	-0,09	-0,17	-0,21	-0,28
947,93	-0,11	-0,19	-0,23	-0,3
999,55	-0,11	-0,2	-0,25	-0,31
1.051,16	-0,12	-0,22	-0,28	-0,34
1.116,41	-0,14	-0,25	-0,31	-0,38
1.181,65	-0,16	-0,27	-0,33	-0,41
1.250,43	-0,17	-0,28	-0,35	-0,42
1.320,15	-0,17	-0,3	-0,37	-0,45
1.389,86	-0,19	-0,32	-0,38	-0,48
1.440,65	-0,21	-0,34	-0,42	-0,51
1.510,84	-0,21	-0,34	-0,42	-0,52
1.581,03	-0,22	-0,36	-0,44	-0,54
1.634,83	-0,23	-0,37	-0,45	-0,55
1.688,62	-0,24	-0,38	-0,46	-0,55
1.758,32	-0,24	-0,39	-0,47	-0,57
1.828,02	-0,25	-0,4	-0,48	-0,58
1.887,19	-0,26	-0,4	-0,49	-0,58
1.946,35	-0,26	-0,4	-0,49	-0,59
1.998,9	-0,27	-0,43	-0,51	-0,62
2.051,45	-0,29	-0,44	-0,53	-0,63
2.109,67	-0,31	-0,47	-0,55	-0,64
2.167,88	-0,31	-0,48	-0,57	-0,64
2.262,22	-0,34	-0,51	-0,61	-0,71
2.320,16	-0,35	-0,51	-0,61	-0,71
2.378,09	-0,35	-0,51	-0,62	-0,72
2.474,69	-0,36	-0,52	-0,62	-0,72
2.547,33	-0,35	-0,52	-0,62	-0,72
2.619,97	-0,36	-0,52	-0,62	-0,72
2.727,97	-0,37	-0,56	-0,66	-0,79
2.795,72	-0,38	-0,58	-0,69	-0,81
2.863,46	-0,39	-0,58	-0,69	-0,82
2.922,46	-0,39	-0,59	-0,7	-0,84

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
2.981,46	-0,41	-0,29	-0,41	-0,76
3.011,46	-0,06	-0,49	-0,33	-0,51
3.041,46	-0,06	-0,48	-0,35	-0,52
3.089,96	-0,07	-0,52	-0,37	-0,55
3.129,96	-0,06	-0,52	-0,39	-0,57
3.199,96	-0,09	-0,51	-0,42	-0,57
3.271,96	-0,13	-0,49	-0,44	-0,57
3.358,63	-0,15	-0,44	-0,42	-0,56
3.445,29	-0,17	-0,41	-0,42	-0,54
3.531,96	-0,19	-0,39	-0,41	-0,52
3.616,96	-0,19	-0,38	-0,4	-0,51
3.701,96	-0,2	-0,37	-0,4	-0,51
3.749,96	-0,2	-0,37	-0,4	-0,51
3.845,96	-0,21	-0,37	-0,41	-0,51
3.941,96	-0,22	-0,38	-0,42	-0,52
4.037,96	-0,22	-0,38	-0,43	-0,53
4.133,96	-0,23	-0,39	-0,43	-0,53
4.229,96	-0,22	-0,39	-0,43	-0,53
4.325,96	-0,23	-0,39	-0,44	-0,54
4.421,96	-0,23	-0,39	-0,44	-0,55
4.517,96	-0,23	-0,39	-0,44	-0,54
4.613,96	-0,23	-0,39	-0,44	-0,54
4.709,96	-0,22	-0,38	-0,43	-0,54
4.802,82	-0,2	-0,38	-0,42	-0,54
4.895,67	-0,19	-0,37	-0,42	-0,53
4.988,53	-0,18	-0,35	-0,41	-0,53
5.081,39	-0,18	-0,34	-0,4	-0,52
5.174,25	-0,16	-0,33	-0,39	-0,52
5.267,10	-0,15	-0,31	-0,38	-0,51
5.359,96	-0,14	-0,31	-0,37	-0,5
5.424,96	-0,14	-0,31	-0,37	-0,5
5.516,07	-0,15	-0,3	-0,36	-0,49

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
5.607,18	-0,14	-0,3	-0,36	-0,49
5.698,29	-0,14	-0,29	-0,36	-0,49
5.789,40	-0,13	-0,28	-0,34	-0,47
5.880,52	-0,13	-0,27	-0,33	-0,46
5.971,63	-0,12	-0,26	-0,32	-0,44
6.062,74	-0,11	-0,24	-0,3	-0,43
6.153,85	-0,1	-0,23	-0,29	-0,41
6.244,96	-0,09	-0,21	-0,26	-0,38
6.339,46	-0,07	-0,18	-0,23	-0,35
6.433,96	-0,05	-0,14	-0,19	-0,31
6.528,46	-0,04	-0,11	-0,15	-0,26
6.622,96	-0,03	-0,08	-0,11	-0,2
6.717,46	-0,02	-0,05	-0,08	-0,15
6.811,96	-0,02	-0,03	-0,05	-0,1
6.906,46	-0,01	-0,02	-0,03	-0,07
7.000,96	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04
7.095,46	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
7.189,96	0	-0,01	0	-0,02
7.282,23	-0,01	0	-0,01	-0,01
7.374,51	0	0	0	-0,01
7.466,78	0	0	0	-0,01
7.559,05	0	0	0	0
7.651,32	0	0	0	-0,01
7.743,60	0	0	0	0
7.835,87	0	0	0	0
7.928,14	0	0	0	0
8.020,42	0	0	0	0
8.112,69	0	0	0	0
8.204,96	0	0	0	0
8.296,32	0	0	0	0
8.387,69	0	0	0	0
8.479,05	0	0	0	0

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
8.570,41	0	0	0	0
8.661,78	0	0	0	0
8.753,14	0	0	0	0
8.844,51	0	0	0	0
8.935,87	0	0	0	0
9.027,23	0	0	0	0
9.118,60	0	0	0	0
9.209,96	0	0	0	0
9.308,09	0	0	0	0
9.406,21	0	0	0	0
9.504,34	0	0	0	0
9.602,46	0	0	0	0
9.700,59	0	0	0	0
9.798,71	0	0	0	0
9.896,84	0	0	0	0
9.994,96	0	0	0	0
10.093	0	0	0	0
10.191,2	0	0	0	0
10.289,3	0	0	0	0
10.387,4	0	0	0	0
10.485,5	0	0	0	0
10.583,7	0	0	0	0
10.681,80	0	0	0	0
10.779,96	0	0	0	0

Tabla 4.4 Diferencia de niveles del Arroyo del General en la situación actual y con el embalse en el mismo arroyo

Progresiva	Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
5.434,96	-0,14	-0,31	-0,37	-0,5
5.531,11	-0,4	-0,76	-0,85	-0,95
5.627,27	-0,54	-0,88	-0,97	-1,07
5.723,42	-0,63	-0,95	-1,01	-1,11
5.819,58	-0,67	-0,97	-1,03	-1,15

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Tr =2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
5.915,73	-0,69	-0,99	-1,04	-1,19
6.011,88	-0,71	-1	-1,06	-1,21
6.108,04	-0,72	-1	-1,08	-1,23
6.204,19	-0,72	-1,02	-1,09	-1,25
6.300,35	-0,73	-1,03	-1,1	-1,26
6.396,5	-0,73	-1,04	-1,11	-1,28
6.492,65	-0,74	-1,04	-1,12	-1,3
6.588,81	-0,74	-1,05	-1,13	-1,31
6.684,96	-0,74	-1,05	-1,14	-1,32
6.778,29	-0,74	-1,05	-1,14	-1,32
6.871,63	-0,75	-1,06	-1,14	-1,32
6.964,96	-0,75	-1,06	-1,14	-1,32
7.058,29	-0,75	-1,07	-1,14	-1,32
7.151,63	-0,76	-1,07	-1,14	-1,32
7.244,96	-0,76	-1,06	-1,15	-1,32
7.333,29	-0,76	-1,07	-1,15	-1,32
7.421,63	-0,76	-1,07	-1,16	-1,33
7.509,96	-0,76	-1,08	-1,16	-1,33
7.598,29	-0,76	-1,08	-1,16	-1,33
7.686,63	-0,76	-1,08	-1,16	-1,34
7.774,96	-0,75	-1,08	-1,16	-1,34
7.866,96	-0,75	-1,08	-1,16	-1,33
7.958,96	-0,74	-1,08	-1,16	-1,34
8.050,96	-0,73	-1,07	-1,16	-1,34
8.142,96	-0,72	-1,06	-1,15	-1,33
8.234,96	-0,72	-1,06	-1,15	-1,32
8.326,96	-0,7	-1,05	-1,14	-1,32
8.418,96	-0,7	-1,05	-1,14	-1,31
8.510,96	-0,69	-1,04	-1,12	-1,3
8.602,96	-0,68	-1,04	-1,12	-1,3
8.694,96	-0,67	-1,02	-1,11	-1,3
8.787,82	-0,65	-1,01	-1,1	-1,28

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Tr =2 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 100 años
8.880,67	-0,63	-0,99	-1,09	-1,27
8.973,53	-0,57	-0,95	-1,04	-1,24
9.066,39	-0,52	-0,89	-0,98	-1,18
9.159,25	-0,47	-0,81	-0,91	-1,12
9.252,10	-0,46	-0,75	-0,84	-1,03
9.344,96	-0,46	-0,71	-0,79	-0,97

4.1.4. Estimación de costos

En este apartado se realiza una estimación de costos de las obras analizadas, a nivel de estudios básicos. Este cálculo es únicamente a los efectos de contar con una referencia de costos de inversión asociadas a las medidas analizadas, no sirviendo de insumo a la comparación entre ellas.

Las medidas planteadas fueron analizadas a solicitud del contratante, buscan disminuir afectaciones negativas generadas por las crecidas, pero no son comparables en términos de magnitud y localización del efecto que producen.

4.1.4.1. Ensanche y profundización del canal principal en la zona de bañado

Esta intervención implica el ensanche y profundización del cauce del arroyo en la zona del bañado. Este movimiento de suelos se prevé a lo largo de una longitud aproximada de 1,7 km con las características antes mencionadas.

El costo de la obra fue estimado en USD 1.100.000 + impuestos (20% imprevistos), considerando un valor unitario para el dragado de 30 USD/m³.

4.1.4.2. Eliminación del puente de la Ruta N° 1 vieja

Esta medida implica la demolición del puente de la Ruta N° 1 vieja.

La estimación del costo se realizó considerando un precio unitario de demolición de estructuras de hormigón de 315 USD/m³, y un valor unitario de 20 USD/m³ para el desmonte del terraplenado existente. Dichos valores surgen de presupuestos de obras en el mercado local.

Se obtuvo un costo total aproximado de USD 1.100.000 + impuestos (20% imprevistos).

4.1.4.3. Construcción de embalse de laminación

La obra propuesta supone la construcción de un embalse de laminación en el Arroyo del General. Se prevé una presa conformada en tierra, cuyo espejo de agua inundará terreno rural productivo.

El costo asociado a esta propuesta involucra las obras de movimiento de suelos, así como también considera el costo asociado a servidumbres y expropiación de terrenos. El valor que aquí se estima es global y aproximado.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

De considerarse el pre-dimensionado de represa planteado en el apartado 4.1.3 se tendría un dique de 10 m de altura y 550 m de longitud, con vertedero a los 2 m de altura, generando de este modo un espejo permanente de agua de aproximadamente 16 há. Para la máxima crecida de Tr=100 años la superficie inundada es de aproximadamente 158 há.

De acuerdo a la última publicación del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca del 19/09/2016 que contiene datos estadísticos de precios de compraventa de tierras para uso agropecuario realizadas en el período comprendido entre el 1° de enero y el 30 de junio de 2016, se tiene un costo unitario de tierras rurales en el departamento de Colonia de aproximadamente 6.533 USD/há.

Como hipótesis de cálculo se considera la expropiación de la tierra que quedará inundada por el espejo permanente de agua y una servidumbre de aquellas tierras que serán inundadas para la crecida de diseño (Tr=100 años) ya que en este último caso, las tierras pueden ser usadas para pastoreo e incluso continuar siendo útiles para producción agrícola.

El costo de expropiación se estimó como el valor de compra, y el de servidumbre como un 30% de éste. Estos valores quedarán sujetos a negociaciones con los propietarios.

El costo de movimiento de suelos de la presa considera un valor unitario de 28 USD/m³.

Según esto, se alcanza un costo total de USD 7.800.000 + impuestos (20% imprevistos).

4.2. Efecto de construir rellenos en las márgenes del bañado

De modo de dar respuesta a una solicitud de la Intendencia de Colonia, se presenta a continuación el análisis de los efectos de relleno de las márgenes del arroyo La Caballada a la altura del bañado, sin afectar al comportamiento del sistema.

En tal sentido, para este estudio se consideró un relleno que cumpla las siguientes dos condiciones:

- se ejecutará por encima de la cota +5,0 m;
- los bordes quedan definidos a partir de las dos líneas de Alta Tensión de UTE (30 KV) existentes.

La Figura 4.38 indica el límite de relleno considerado en este análisis, el cual supone que la trama urbana de la ciudad puede extenderse, relleno el terreno hasta alcanzar los bordes señalados con línea de color amarillo (desde progresiva 3.271,96 a 5.081,39).

Estos bordes de relleno representan un máximo, por lo que el análisis aquí desarrollado suministra información de la condición hidráulica más crítica en el arroyo. A futuro, en función de criterios de ordenamiento territorial y ambientales, será necesario definir los límites de relleno admisibles para la conservación del bañado.

Figura 4.38 Límites del relleno de tierras en la zona de bañado



Los resultados de la simulación realizada arrojan que para este relleno, el remanso máximo generado es de apenas 7 cm para la condición hidrológica más desfavorable (Tr=500 años).

En la tabla que sigue se presenta para cada progresiva la diferencia de niveles de crecida (con y sin relleno) para distintas recurrencias de la tormenta de diseño. La Figura 4.39 representa estos valores en forma gráfica.

Tabla 4.5 Diferencia de niveles para cada período de retorno en función de la progresiva, para la propuesta de relleno de las márgenes del arroyo

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
106,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
165,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
224,05	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00
308,47	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
308,47	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
382,37	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
456,26	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00
456,26	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00
539,68	0,00	-0,01	-0,02	0,00	0,00

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
623,09	-0,01	-0,01	-0,02	0,00	0,00
623,09	-0,01	-0,01	-0,02	0,00	0,00
681,5	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0,00
739,91	0,00	-0,01	-0,02	0,00	-0,01
796,74	0,00	0,00	-0,02	-0,01	0,00
853,56	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01
853,56	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01
947,93	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
947,93	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
999,55	-0,01	-0,01	-0,03	0,00	-0,01
1.051,16	0,00	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
1.116,41	0,00	-0,01	-0,03	-0,01	0,00
1.181,65	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	0,00
1.250,43	-0,01	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01
1.320,15	0,00	-0,02	-0,04	-0,01	-0,01
1.389,86	-0,01	-0,02	-0,04	-0,01	-0,01
1.440,65	-0,01	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01
1.510,84	-0,01	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01
1.581,03	-0,01	-0,02	-0,04	-0,01	-0,01
1.634,83	-0,01	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01
1.688,62	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
1.758,32	-0,01	-0,01	-0,05	-0,01	-0,01
1.828,02	-0,01	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01
1.887,19	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
1.946,35	-0,01	-0,01	-0,04	-0,01	-0,02
1.998,9	-0,01	-0,02	-0,04	-0,02	-0,01
2.051,45	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
2.109,67	-0,02	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
2.167,88	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
2.262,22	-0,02	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01
2.320,16	-0,02	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
2.378,09	-0,01	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01
2.474,69	-0,02	-0,02	-0,06	-0,01	-0,02
2.547,33	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,01
2.619,97	-0,02	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
2.630,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.727,97	-0,01	-0,02	-0,06	-0,01	-0,02
2.795,72	-0,02	-0,02	-0,06	-0,01	-0,01
2.863,46	-0,02	-0,02	-0,06	-0,01	-0,01
2.922,46	-0,02	-0,02	-0,06	-0,02	-0,02
2.981,46	0,00	-0,01	-0,05	-0,01	-0,02
2.996,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.011,46	0,00	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01
3.041,46	0,00	0,00	-0,04	-0,01	-0,01
3.053,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.089,96	0,00	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01
3.129,96	0,00	-0,01	-0,05	-0,01	-0,01
3.199,96	-0,01	-0,02	-0,04	-0,01	-0,01
3.271,96	-0,01	0,00	-0,02	0,01	0,01
3.358,63	0,00	0,02	-0,01	0,03	0,03
3.445,29	0,00	0,01	-0,01	0,03	0,04
3.531,96	-0,01	0,01	-0,02	0,03	0,04
3.616,96	-0,01	0,00	-0,01	0,03	0,04
3.701,96	-0,01	0,01	-0,02	0,03	0,04
3.720,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.749,96	-0,01	0,00	-0,01	0,02	0,03
3.845,96	0,00	0,00	-0,01	0,02	0,04
3.941,96	0,00	0,00	-0,01	0,03	0,03
4.037,96	0,00	0,01	-0,01	0,03	0,03
4.133,96	0,00	0,01	0,00	0,03	0,04
4.229,96	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04
4.325,96	0,01	0,02	0,00	0,04	0,05
4.421,96	0,01	0,02	0,01	0,04	0,05
4.517,96	0,01	0,03	0,01	0,05	0,05
4.613,96	0,02	0,03	0,01	0,05	0,05
4.709,96	0,02	0,04	0,01	0,05	0,06
4.802,82	0,03	0,03	0,02	0,05	0,07
4.895,67	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07
4.988,53	0,02	0,04	0,02	0,05	0,07
5.081,39	0,02	0,04	0,02	0,05	0,06

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017.

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
5.174,25	0,02	0,03	0,01	0,05	0,06
5.267,1	0,01	0,03	0,01	0,05	0,06
5.359,96	0,01	0,02	0,01	0,05	0,06
5.424,96	0,01	0,02	0,01	0,05	0,06
5.516,07	0,00	0,03	0,02	0,05	0,06
5.607,18	0,01	0,02	0,01	0,04	0,06
5.698,29	0,00	0,03	0,02	0,04	0,06
5.789,4	0,01	0,02	0,01	0,05	0,06
5.880,52	0,01	0,02	0,01	0,05	0,06
5.971,63	0,01	0,02	0,01	0,04	0,05
6.062,74	0,00	0,02	0,01	0,04	0,05
6.153,85	0,00	0,02	0,01	0,04	0,05
6.244,96	0,00	0,02	0,00	0,04	0,06
6.339,46	0,00	0,01	0,01	0,04	0,05
6.433,96	0,00	0,01	0,00	0,03	0,05
6.528,46	0,00	0,01	0,00	0,03	0,05
6.622,96	0,00	0,00	-0,01	0,03	0,04
6.717,46	0,00	0,01	-0,01	0,02	0,03
6.811,96	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03
6.906,46	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,02
7.000,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
7.095,46	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
7.189,96	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
7.282,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.374,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.466,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.559,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
7.651,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.743,6	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
7.835,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.928,14	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
8.020,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.112,69	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
8.204,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.296,32	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

Progresiva	Diferencia de nivel (m)				
	Tr= 2 años	Tr= 10 años	Tr= 20 años	Tr= 100 años	Tr= 500 años
8.387,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.479,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.570,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.661,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.753,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.844,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.935,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.027,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.118,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.209,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.308,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.406,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.504,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.602,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.700,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.798,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.896,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.994,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.093,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.191,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.289,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.387,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.485,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.583,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.681,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.779,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

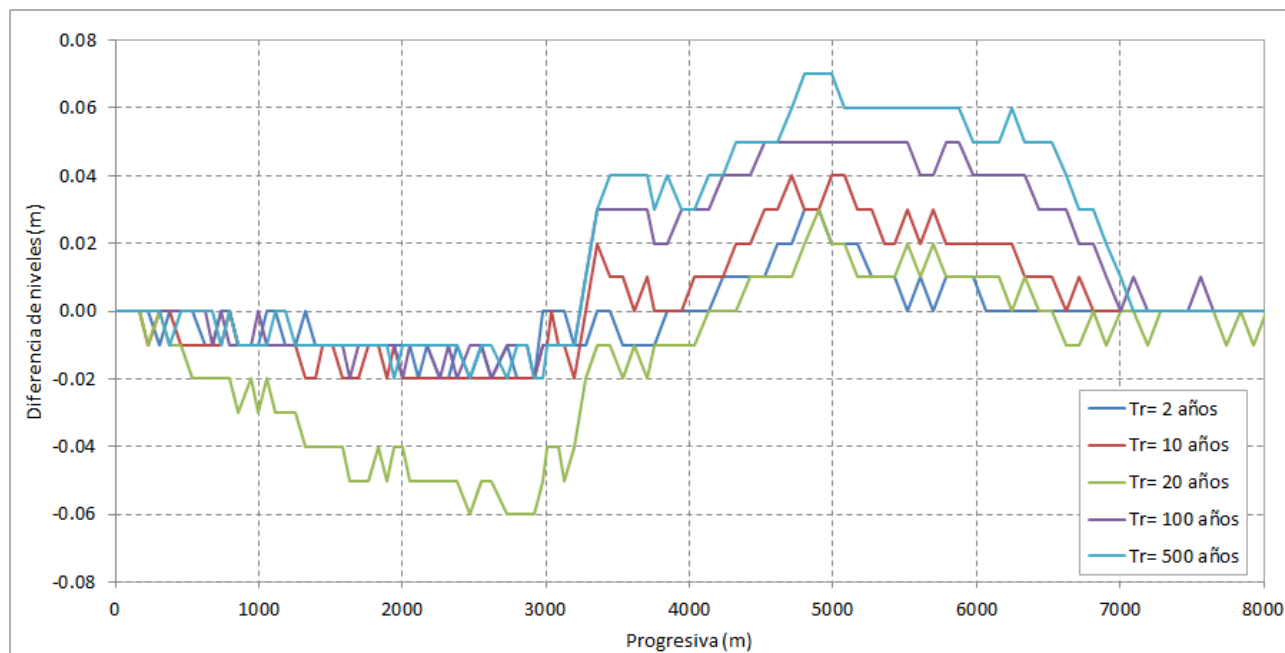
Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Figura 4.39 Remanso producido por el relleno en las márgenes del arroyo



La Tabla 4.6 sintetiza el remanso máximo producido como consecuencia del relleno propuesto para los diferentes períodos de retorno. La lámina IF04 muestra las curvas de inundación obtenidas para los distintos períodos de recurrencia.

Tabla 4.6 Remanso máximo producido por el relleno para los diferentes Tr

Período de retorno (años)	Remanso máximo (m)
2	0,03
10	0,04
20	0,03
100	0,05
500	0,07

De los resultados se desprende que el relleno considerado no genera afectaciones significativas en términos de aumento de niveles de crecida. Asimismo, por razones ambientales de conservación del ecosistema de bañado se recomienda controlar la expansión de la urbanización hacia el arroyo.

4.2.1. Estimación de costos

Se prevé la realización de rellenos de suelos hacia ambas márgenes del arroyo en la zona de posible expansión ya descrita. La altura de relleno fue definida en cada transecta según el nivel de crecida para Tr=500 años.

A los efectos de contar con un número grueso de costos asociados a esta propuesta, se consideró un precio unitario de movimiento de suelos de 28 USD/m³, teniéndose un valor total de USD 49.800.000 + impuestos (20% imprevistos).

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

El resultado del diagnóstico de funcionamiento hidrológico e hidráulico del arroyo La Caballada permite alcanzar las siguientes conclusiones:

- El evento de inundación sufrido por la ciudad de Colonia del Sacramento en octubre de 2014 tuvo un período de retorno de entre 100 y 500 años, probablemente mayor a 200 años.
- La cota de máxima crecida conocida indicada en el plano del nuevo puente de la Ruta N° 1 es compatible con lo observado en otras partes del país en la inundación de abril de 1959. La simple comparación de ese valor con las mediciones de los niveles alcanzados en la inundación de 2014 permite asegurar que se trató de un evento de mayor período de retorno.
- Se debe tomar en cuenta que los únicos datos medidos con que se contó fueron los niveles máximos alcanzados durante esas dos inundaciones. En ningún caso se contó con datos de caudal, y los datos de precipitación medidos corresponden a precipitación diaria, siendo que el tiempo de concentración es de unas pocas horas.
- Se recomienda a DINAGUA y a la Intendencia de Colonia (esta recomendación es extensible a todas las intendencias departamentales) la instalación de pluviógrafos y limnógrafos en las cuencas de aporte a los centros poblados más importantes.
- El criterio para definir la ubicación de nuevas viviendas es 100 años de período de retorno, por lo que en una primera aproximación se puede indicar que todas las zonas que no fueron afectadas por ese evento son aptas desde el punto de vista hidráulico.
- Con el presente informe se presentan elementos gráficos para determinar los límites de las curvas de inundación, y en particular para 100 años de período de retorno, se presenta la cota alcanzada en función de la ubicación.
- Se está construyendo un hospital en una zona potencialmente inundable, de acuerdo a lo que se observó en el evento ya mencionado. Considerando que para hospitales corresponde verificar su inundabilidad para 500 años de período de retorno, se deja constancia del valor correspondiente, igual a 7,27 m referido al cero oficial. Se recomienda aconsejar a las autoridades sanitarias competentes no colocar áreas sensibles del hospital por debajo de esa cota.
- El efecto del nivel del Río de la Plata es apreciable hasta el puente de la Ruta 1 vieja. Se considera que los niveles de condición de borde utilizados para definir las curvas de inundación son conservadores, estando del lado de la seguridad. En particular para 100 años de período de retorno la condición de borde utilizada es sólo 19 cm más baja que el máximo nivel histórico observado en el Río de la Plata.

A su vez, del análisis efectuado en busca de medidas de intervención en el arroyo que permitan una atenuación a los problemas de inundación existentes se tienen las siguientes conclusiones:

- El análisis elaborado pretende la identificación y costeo de distintas obras de intervención en el arroyo que permitan generar una mejora en cuanto a sus condiciones de inundabilidad. Las obras propuestas no representan alternativas de mejora a un mismo problema, sino que generan distintos efectos a lo largo de la extensión del arroyo. En función de esto, puede decirse que el análisis desarrollado en este informe es de carácter exploratorio y no de comparación de alternativas.

- El ensanche y profundización del canal en la zona de bañado genera resultados favorables en cuanto a la inundabilidad de la zona, teniéndose reducciones significativas de nivel respecto a la situación actual (40-60 cm) hacia aguas arriba de la alcantarilla por calle Municipio.

- La eliminación del puente de la Ruta N° 1 vieja genera una mejora local muy importante, incluyendo la ubicación del nuevo hospital.

Se recomienda analizar el impacto ambiental del cambio del régimen hidrológico del bañado sobre su flora y su fauna, así como el impacto que desde el punto de vista social y de seguridad vial de quitar una solución de baja velocidad para el cruce del arroyo.

- La construcción de un embalse en el Arroyo del General mejoraría la situación en forma más homogénea a lo largo del arroyo, aunque tiene menor impacto en la zona del hospital. También requiere un análisis ambiental y económico. La construcción del embalse se torna más viable si se hace con un criterio multipropósito, como por ejemplo para riego.

- Respecto a la posibilidad de rellenar ambas márgenes del arroyo de acuerdo a los límites definidos, ya sea para aumentar la zona edificable como para integrar más el bañado a la ciudad, se tiene que los rellenos no impactan significativamente en el funcionamiento hidráulico del arroyo. Asimismo, se recomienda ser cuidadoso de no interferir con el hábitat del bañado.

- Si bien los costos de obra estimados son orientativos, permiten analizar la viabilidad de llevar adelante las obras en función de los beneficios esperados en cuanto a reducción de áreas inundables. Se tiene:

- El costo de inversión asociado a la recanalización del cauce en la zona de bañado es de orden similar al costo de demolición del puente de Ruta N° 1 vieja. Ambas obras resultan factibles de implementar en términos económicos, esperándose mayores beneficios en cuanto al área inundable para la obra de ensanche y profundización del curso.
- La construcción de un embalse en el Arroyo del General produce la laminación de caudales y descenso de niveles de crecida a lo largo de la extensión del Arroyo La Caballada. La reducción de la superficie de curvas de inundación para distintas recurrencias es significativa en relación a los demás casos analizados, asimismo el costo de obra resulta muy superior. El nivel de inversión requerido es importante, por lo que de implementarse la obra debieran buscarse otros usos al embalse que genere otro tipo de beneficios (como ser económico-productivos).
- Del análisis hidráulico del arroyo se tiene que la conformación de rellenos en las márgenes del arroyo no genera efectos negativos significativos en términos de niveles de crecida. El relleno podrá permitir a futuro el avance de la trama urbana de la ciudad, a costa de una elevada inversión asociada a movimientos de suelos. Esta obra podrá ejecutarse en etapas según requerimientos de tierras y ordenamiento territorial.

Informe final.

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017

ANEXO I
GRÁFICOS ALTURA-CAUDAL EN LAS
PRINCIPALES TRANSECTAS DEL
ARROYO LA CABALLADA

ANEXO I: GRÁFICOS ALTURA – CAUDAL EN LAS PRINCIPALES TRANSECTAS DEL A° LA CABALLADA

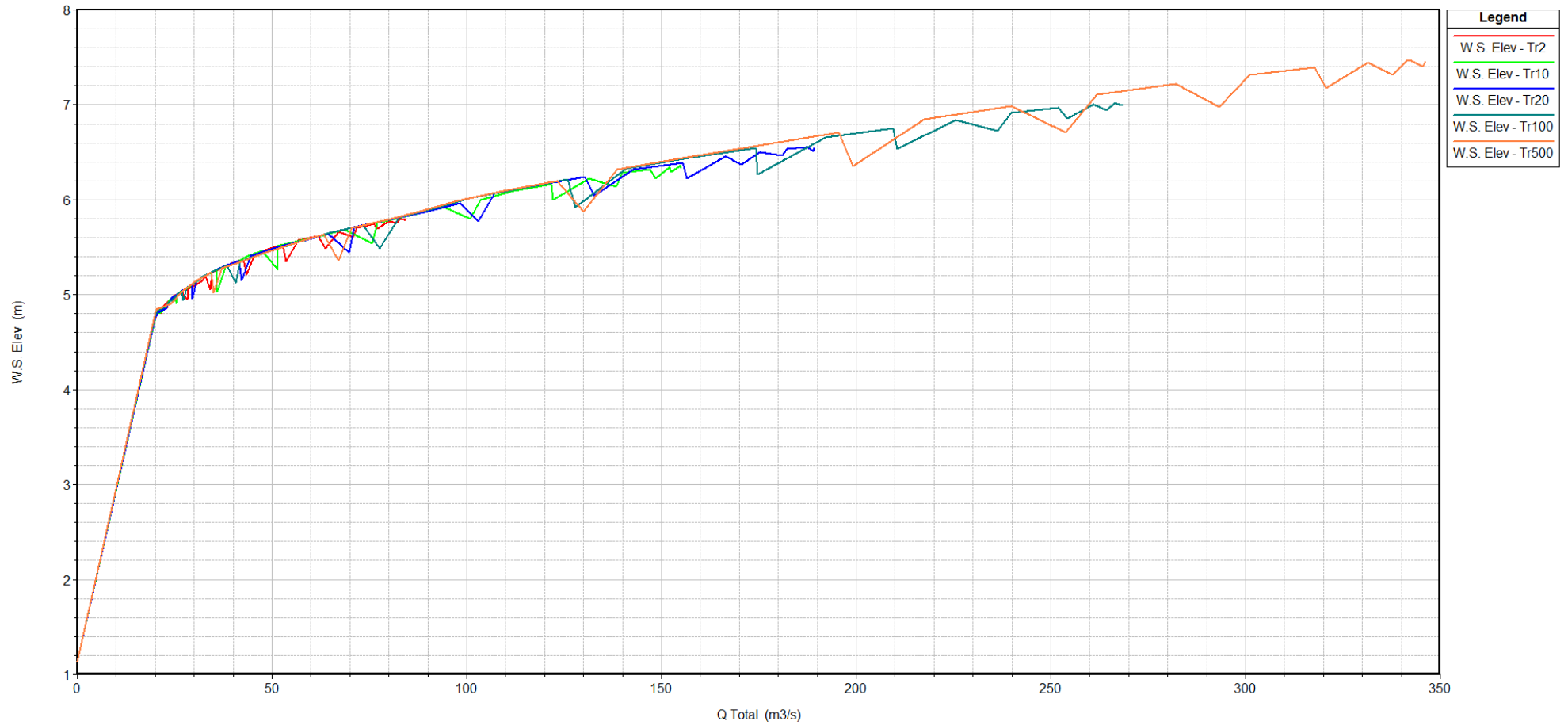
A continuación se presentan gráficos de niveles simulados en función del caudal, para las principales transectas identificadas en el Arroyo La Caballada. Los resultados responden a la condición geométrica actual y a las distintas recurrencias de la tormenta de diseño.

Se presenta en este anexo el detalle de resultados para las siguientes secciones:

Tabla 1 Principales transectas, Arroyo La Caballada

Progresiva	Ubicación
3.749,96	Inmediatamente aguas arriba de alcantarilla Municipio
3.701,96	Inmediatamente aguas abajo de alcantarilla Municipio
3.271,96	Transecta que se le asocia al Nuevo Hospital de Colonia
3.129,96	Aguas arriba de puente en Ruta N° 1 (aprox. 80 m)
3.089,96	Inmediatamente aguas arriba de puente en Ruta N° 1
3.041,46	Inmediatamente aguas abajo de puente en Ruta N° 1
3.011,46	Inmediatamente aguas arriba de puente en Ruta N° 1 vieja
2.981,46	Inmediatamente aguas abajo de puente en Ruta N° 1 vieja
2.863,46	Localización intermedia entre puente en Ruta N° 1 vieja y puente ferroviario
2.727,97	Inmediatamente aguas arriba de puente ferroviario
2.619,97	Inmediatamente aguas abajo de puente ferroviario

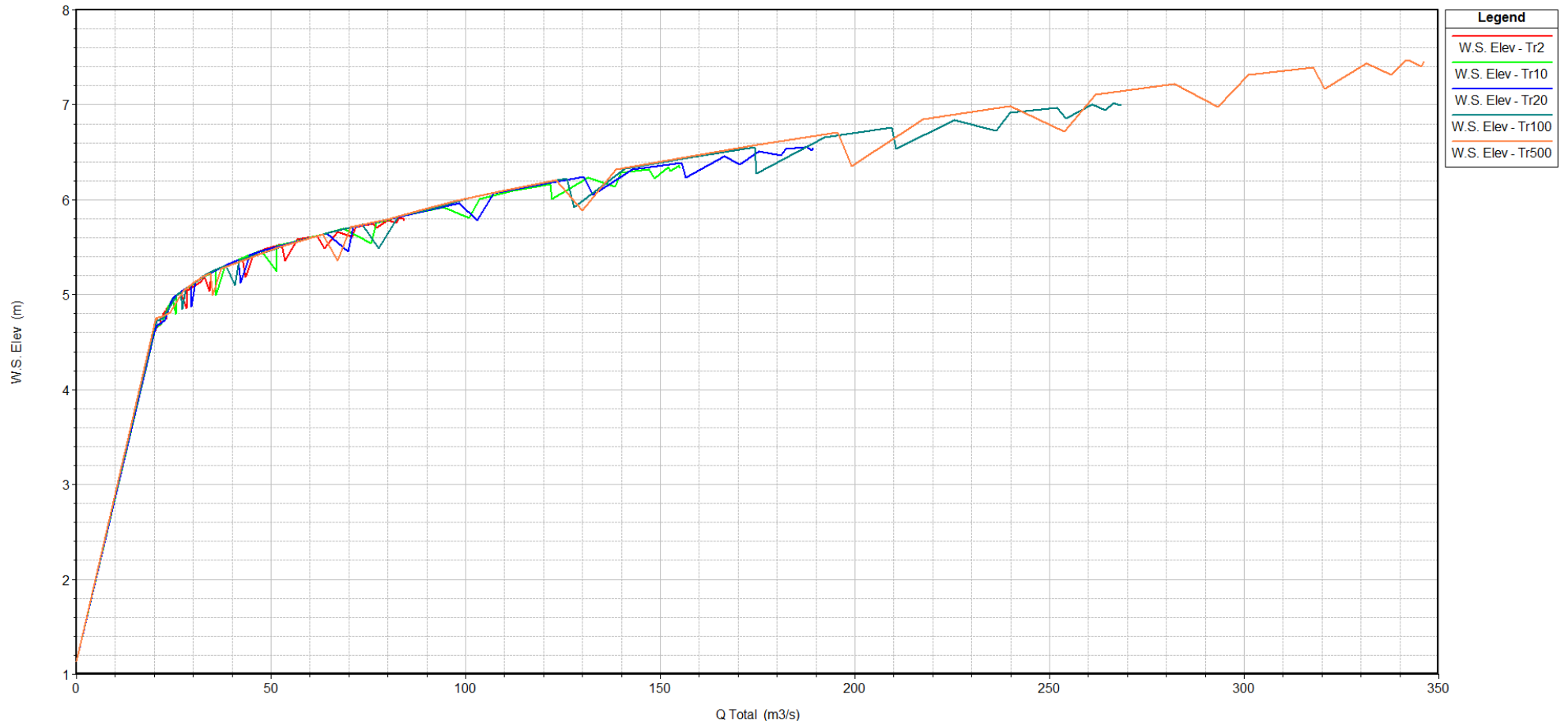
Figura 1 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.749,96



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017

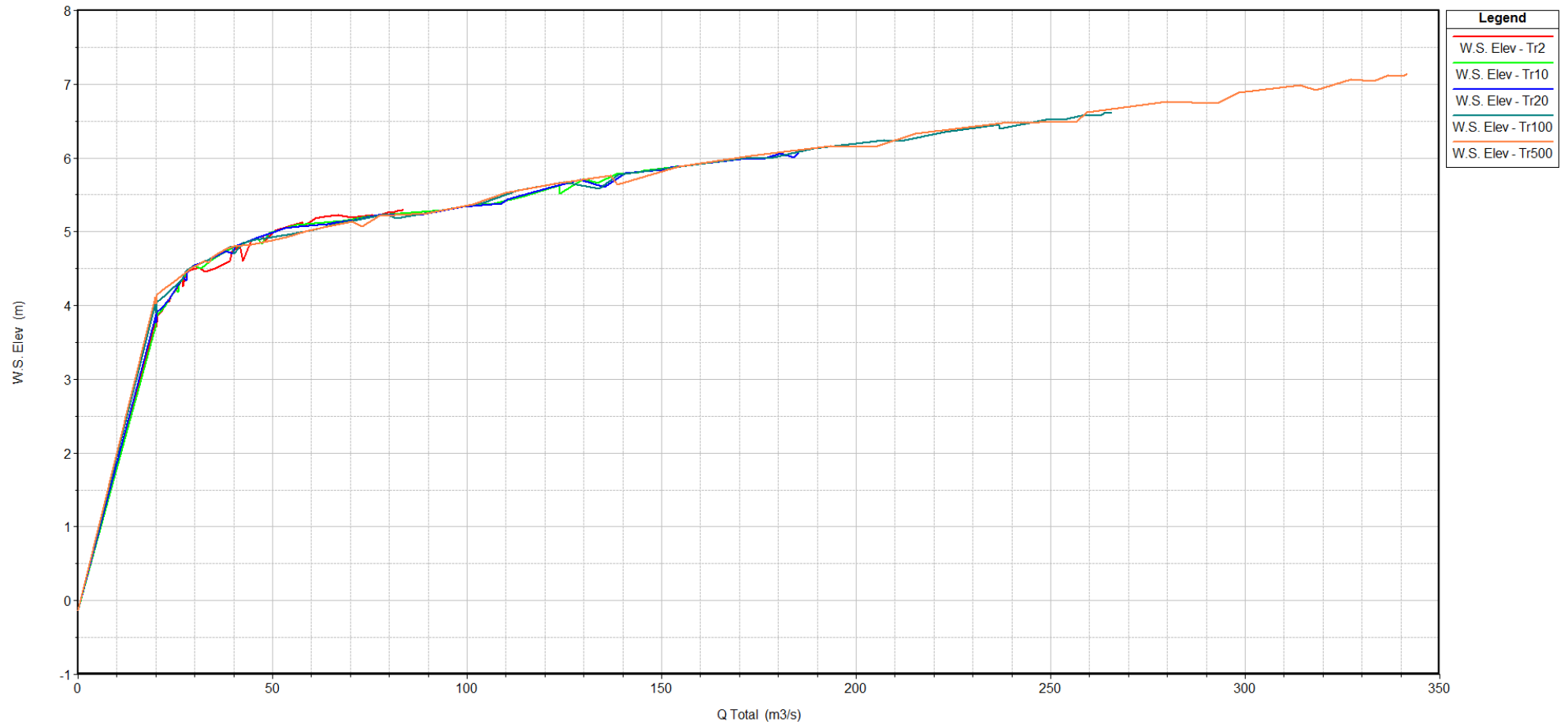
Figura 2 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.701,96



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

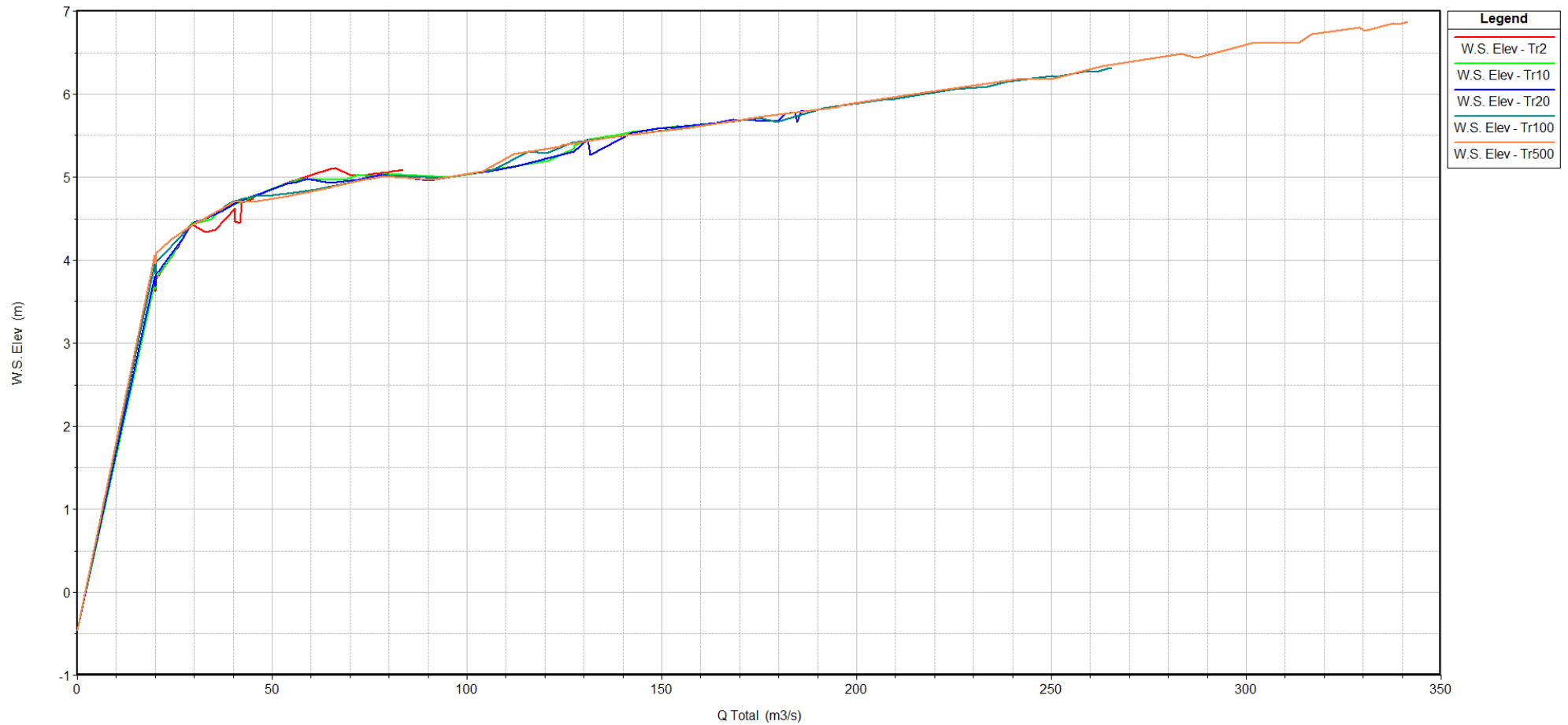
Figura 3 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.271,96



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017

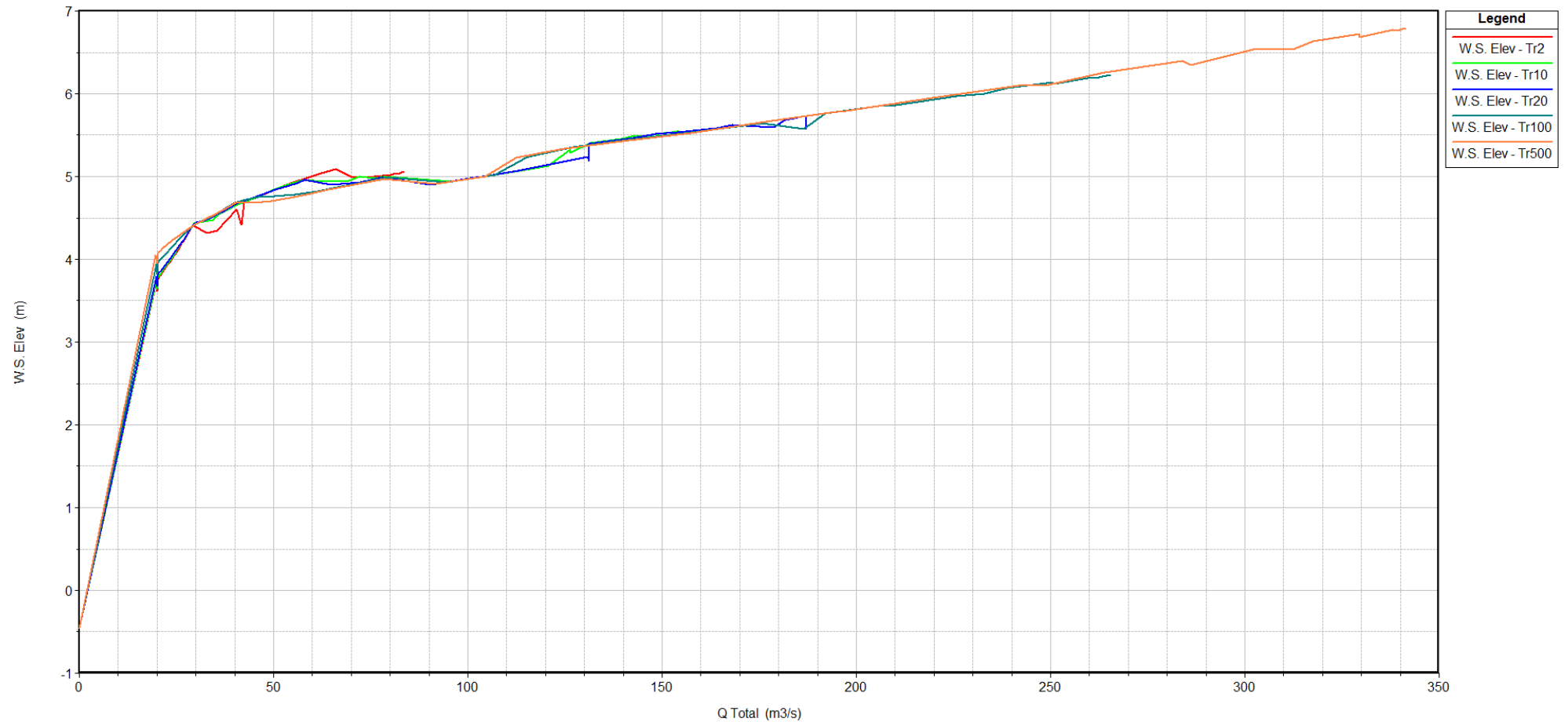
Figura 4 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.129,96



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

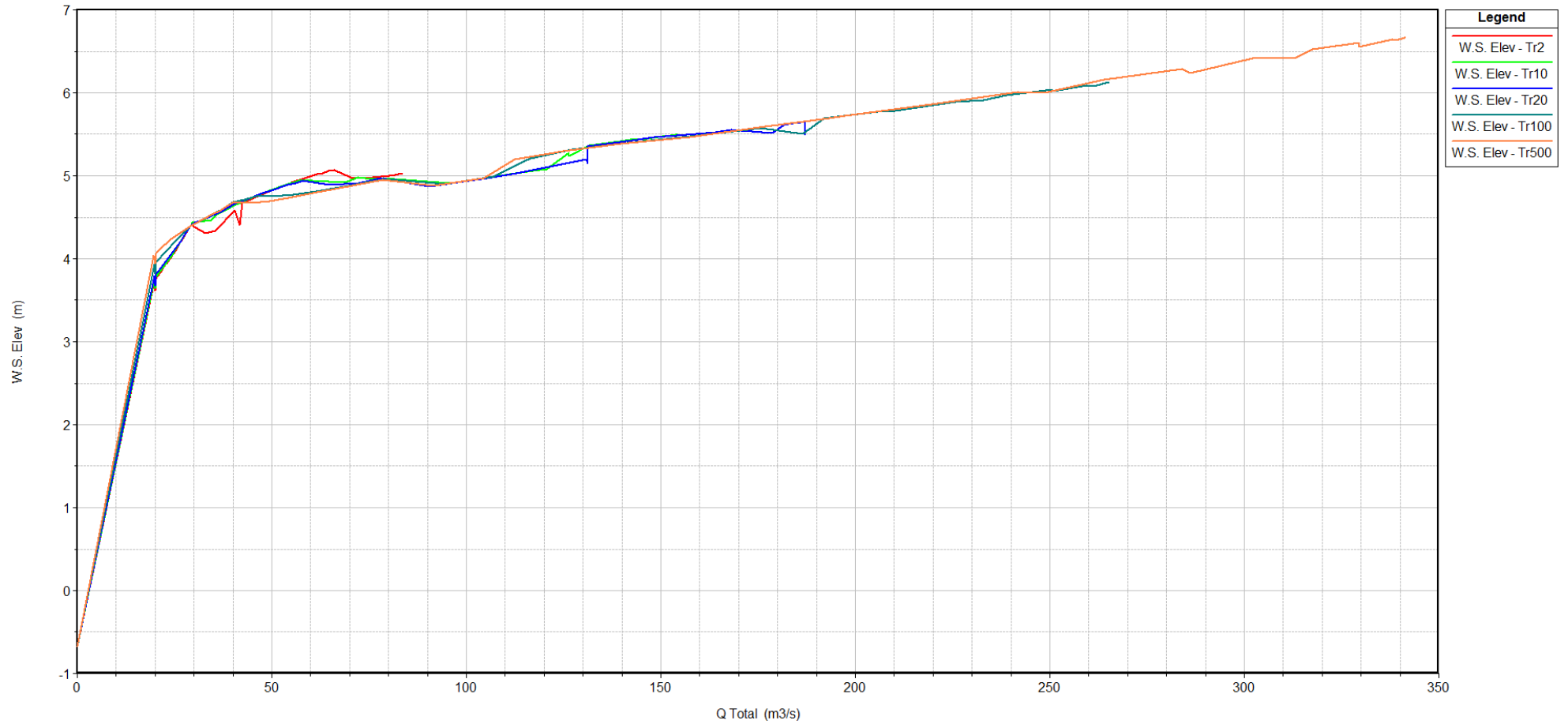
Figura 5 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.089,96



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017

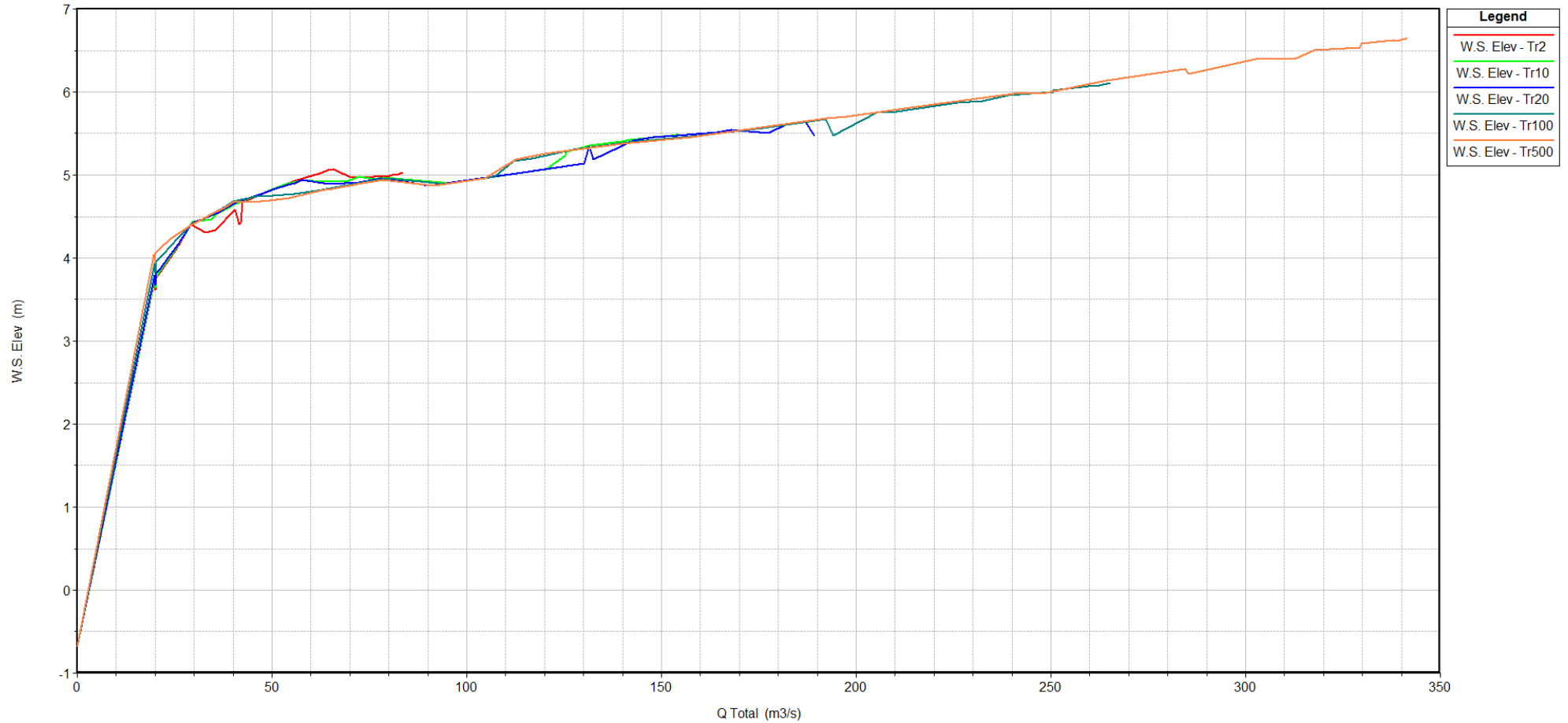
Figura 6 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.041,46



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

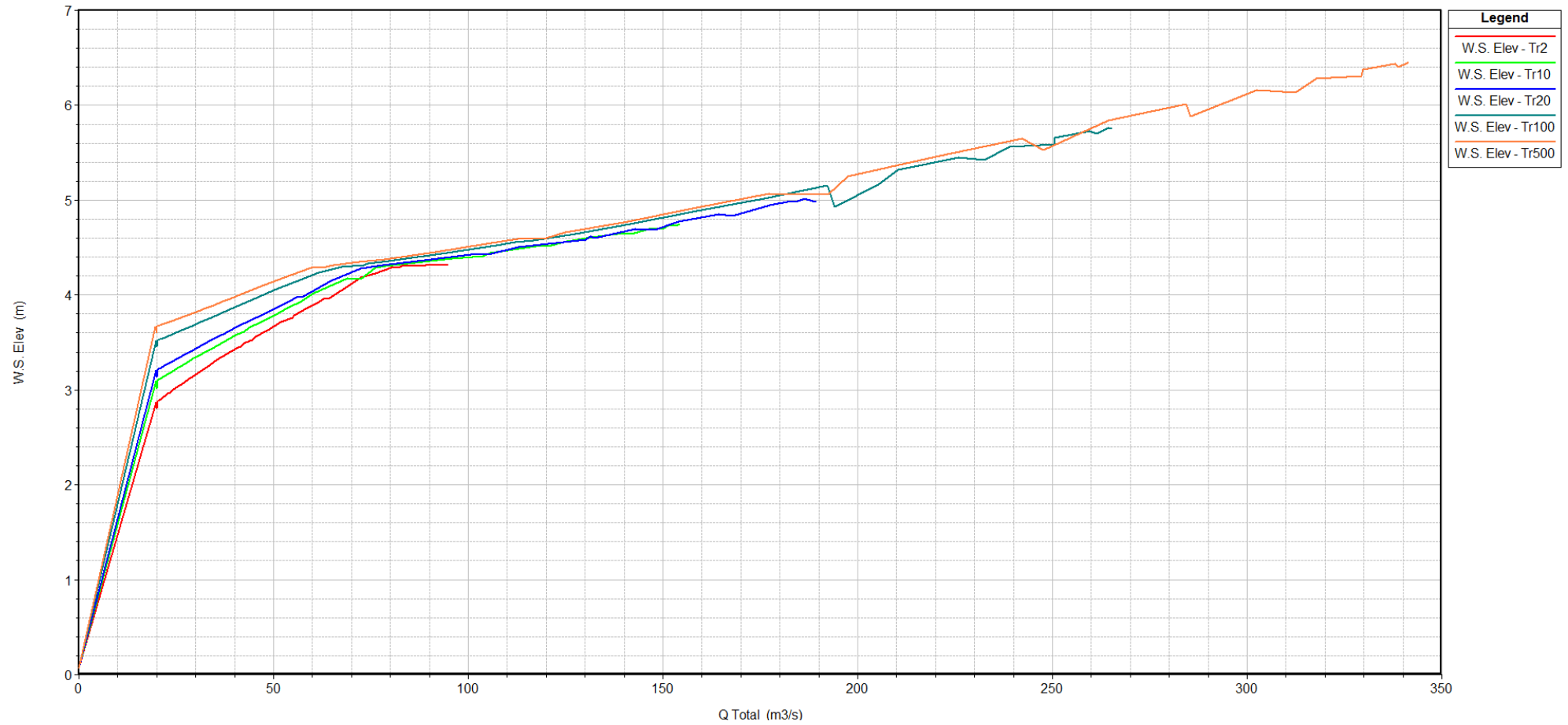
Figura 7 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 3.011,46



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017

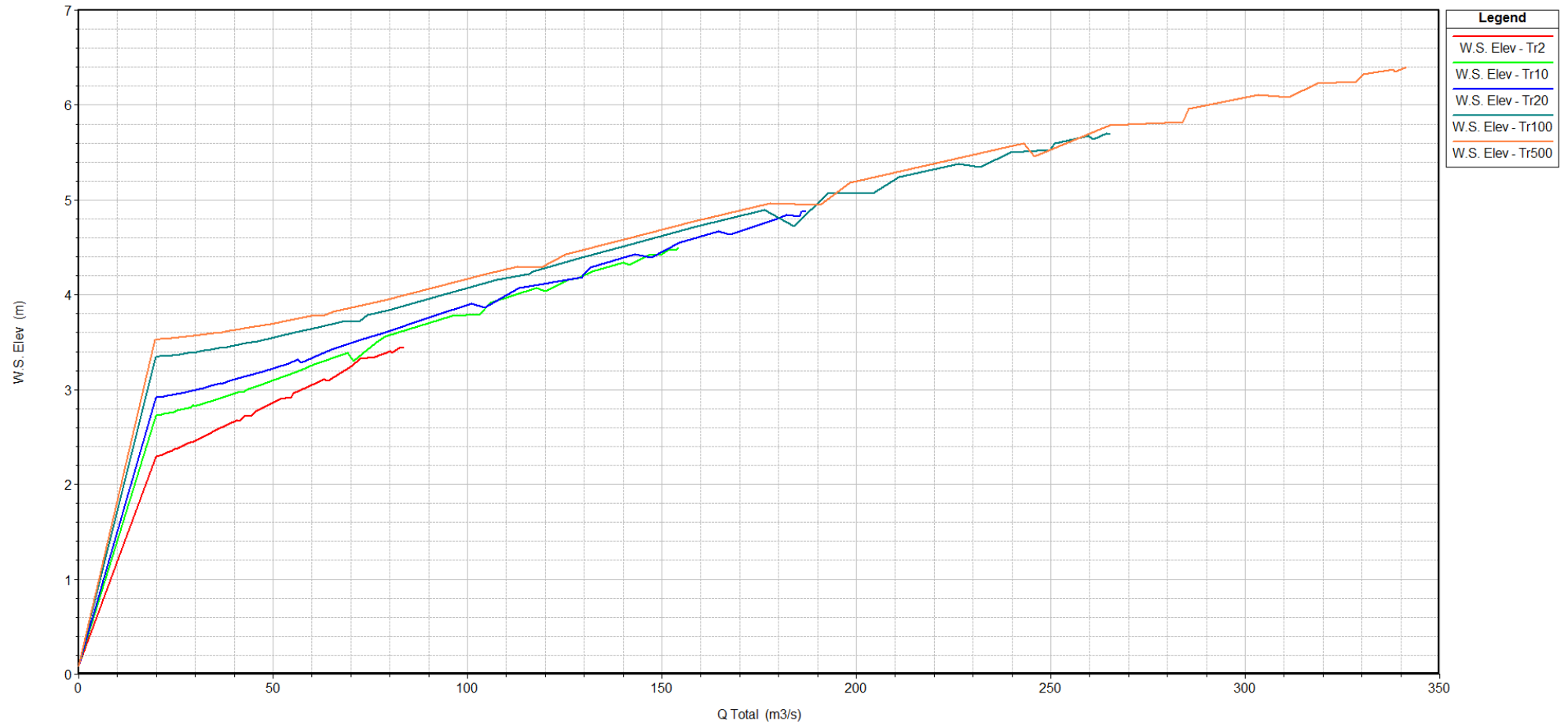
Figura 8 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 2.981,46



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017.

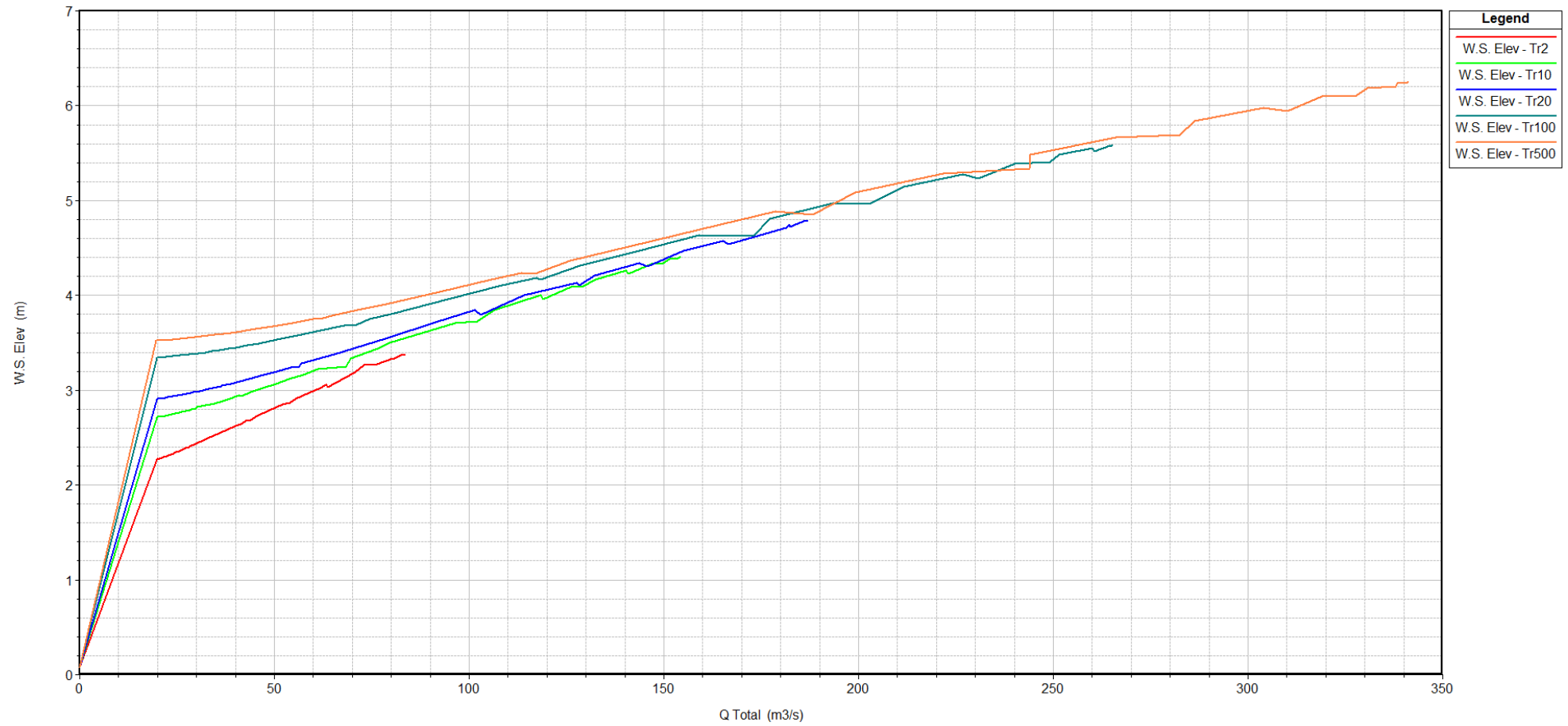
Figura 9 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 2.863,46



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 Marzo de 2017

Figura 10 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 2.727,97



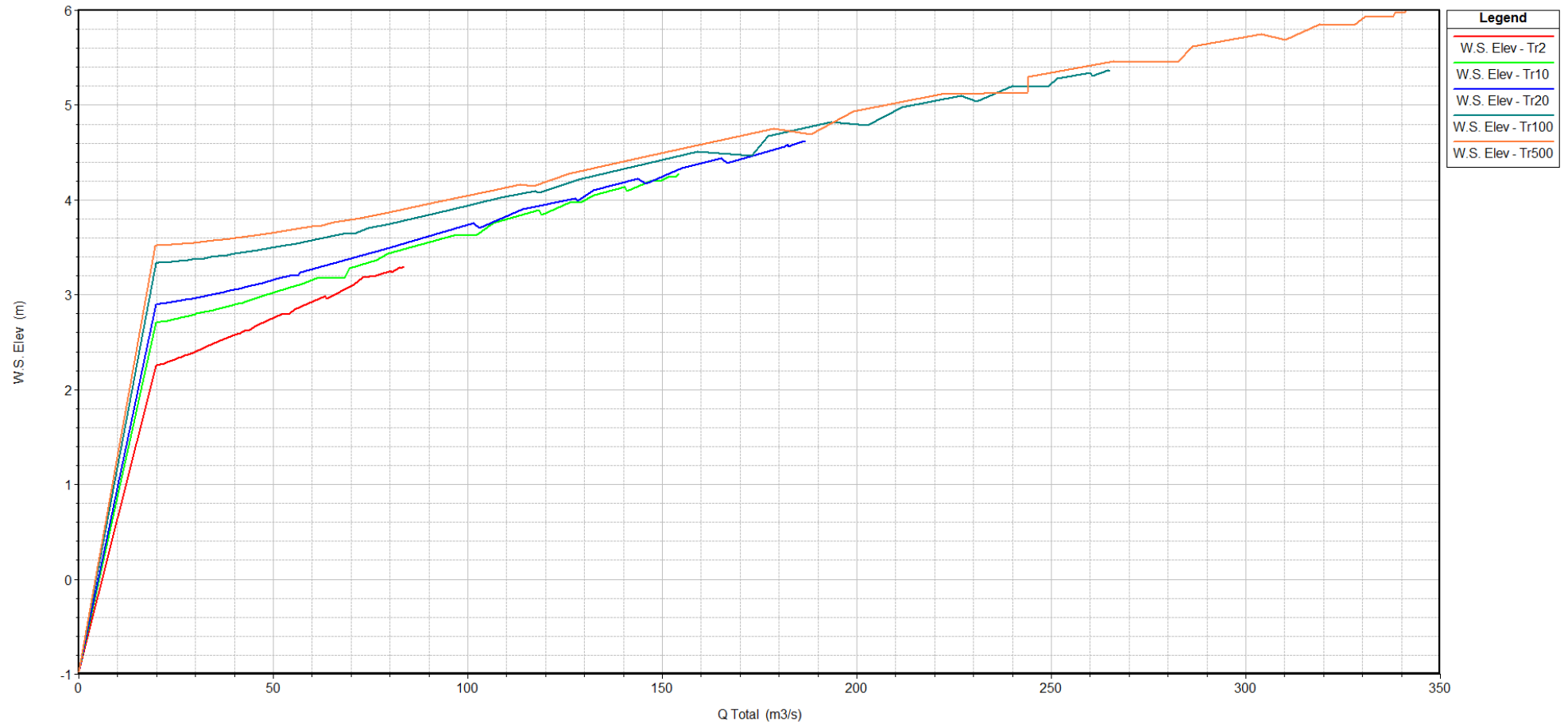
Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Marzo de 2017.

Figura 11 Nivel vs Caudal, sección en progresiva 2.619,97



Informe final – Anexo I

Estudio Hidrológico e hidráulico del Arroyo La Caballada, departamento de Colonia.
Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Marzo de 2017