
ESTUDIO HIDROLÓGICO

Asociación Mutual Carlos Mugica

Obra: Pro.Ha.S III

Ubicación: ALTA GRACIA

PROVINCIA DE CÓRDOBA

Octubre 2021

Mg. Ing. Matías Bupo



MATÍAS BUPU
INGENIERO EN RECURSOS HÍDRICOS
ING. CIVIL
M.P. 5099

CONTENIDO

1	MEMORIA DESCRIPTIVA	2
1.1	Ubicación y descripción del sector	2
1.2	Análisis de aportes externos	3
1.3	Relevamiento Topográfico Interno del predio del loteo.....	7
2	MEMORIA DE CÁLCULO	8
2.1	Introducción	8
2.2	Información topográfica.....	8
2.3	Delimitación de cuencas y parámetros.....	8
2.3.1	Condición actual.....	8
2.3.2	Cuencas Internas.....	10
2.4	Determinación de lluvia de diseño.....	13
2.5	Presentación del esquema hidrológico del sistema	15
2.6	Modelo hidrológico para la estimación de caudales	16
2.6.1	Hietogramas para los diferentes escenarios planteados	17
2.6.2	Resultados Escenario 1	19
2.6.3	Resultados Escenario 2	22
2.6.4	Resultados Escenario 3	25
2.7	Cuenca de retardo	31
2.7.1	Descargadores de fondo.....	33
2.7.2	Vertedero	34
2.8	Verificación hidráulica del diseño vial.....	35
2.9	Conclusiones	39

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Ubicación y descripción del sector

El emprendimiento inmobiliario se desarrollará en una parcela rural ubicada en la localidad de Alta Gracia, departamento Santa María de esta provincia de Córdoba, y tiene una superficie de 40,52 Has.

El terreno en cuestión se encuentra al Norte de la ciudad de Alta Gracia a 800 m de la Ruta Provincial - C45. Linda al Sur con los proyectos inmobiliarios Pro.Ha.S. I y II. Su destino será el de un plan de viviendas unifamiliares a realizarse por etapas (Ilustración 1).

Las coordenadas geográficas del predio son las siguientes:

- Latitud: 31°37'31.76"S
- Longitud: 64°24'44.01"O

El terreno ha tenido uso agrícola. La pendiente general es del orden del 0.01 m/m en dirección Noroeste – Sudeste. Las aguas descargan en un camino vecinal al Este del mismo con dirección Norte-Sur, desaguando sobre la cuneta de la Ruta Provincial C-45 y de allí a un alcantarillado de importantes dimensiones hacia la Ruta Provincial N° 5

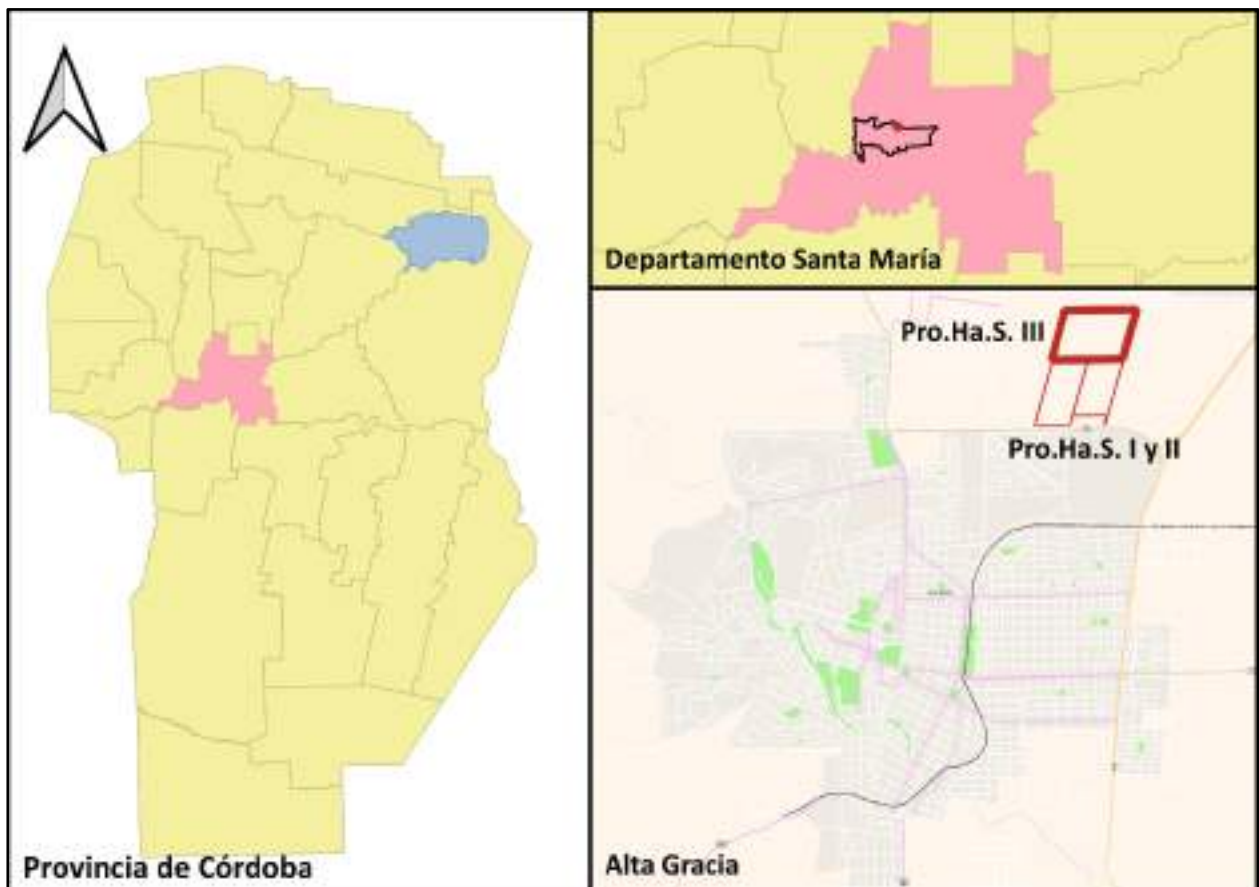


Ilustración 1 - Ubicación

1.2 Análisis de aportes externos

La topografía del sector donde se emplaza el lote es de pendiente suave, 0.10 m/m en dirección Noroeste – Sudeste, existiendo la posibilidad de recibir escurrimientos de lotes aledaños.

Mediante el uso de un modelo digital de elevaciones y las cartas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), junto a la utilización de herramientas GIS, en este caso QGis y Grass, fue posible determinar la red de drenaje y las cuencas en el sector de estudio.

El terreno forma parte de una cuenca de mayores dimensiones que se desarrolla en dirección Noroeste – Sudeste, denominada **Cuenca A**, con desagüe en alcantarillas bajo Ruta Provincial N° 5. En la Ilustración 2 observamos dicha cuenca, su red de drenaje y la ubicación del lote en estudio dentro de ella.

Analizando la red de drenaje de la Cuenca A, se observa que la red principal de escurrimiento pasa por el centro del lote en estudio generando un aporte desde el Norte. Además, se aprecian aportes desde los terrenos al Este del mismo.

En la Ilustración 3, observamos las cuencas externas de aportes al Lote, que denominamos **Cuenca Externa I, II, III, IV y V**, la parcela en estudio, denominada **Cuenca B**.

A partir de un análisis en pormenor de las cuencas generadas, observamos que existe un camino rural con sentido Norte – Sur, que atraviesa las cuencas I y II. El mismo es una barrera artificial de las aguas, por lo que los escurrimientos generados al oeste del camino descargan en él y no ingresan a la Cuenca B.

Además, existe una barrera natural, compuesta por un arbolado y terraplén con sentido Este – Oeste en la parte alta, que atraviesa las cuencas II y III. Los escurrimientos sobre esta línea de agua divisoria no ingresan al lote en estudio.

También se observó que la cuenca V, no ingresa al loteo, sino que es pasante del mismo.

En la Ilustración 4, observamos el resultado de las modificaciones de las cuencas externas que aportan en nuestro lote en estudio.



Ilustración 2: Cuenca A

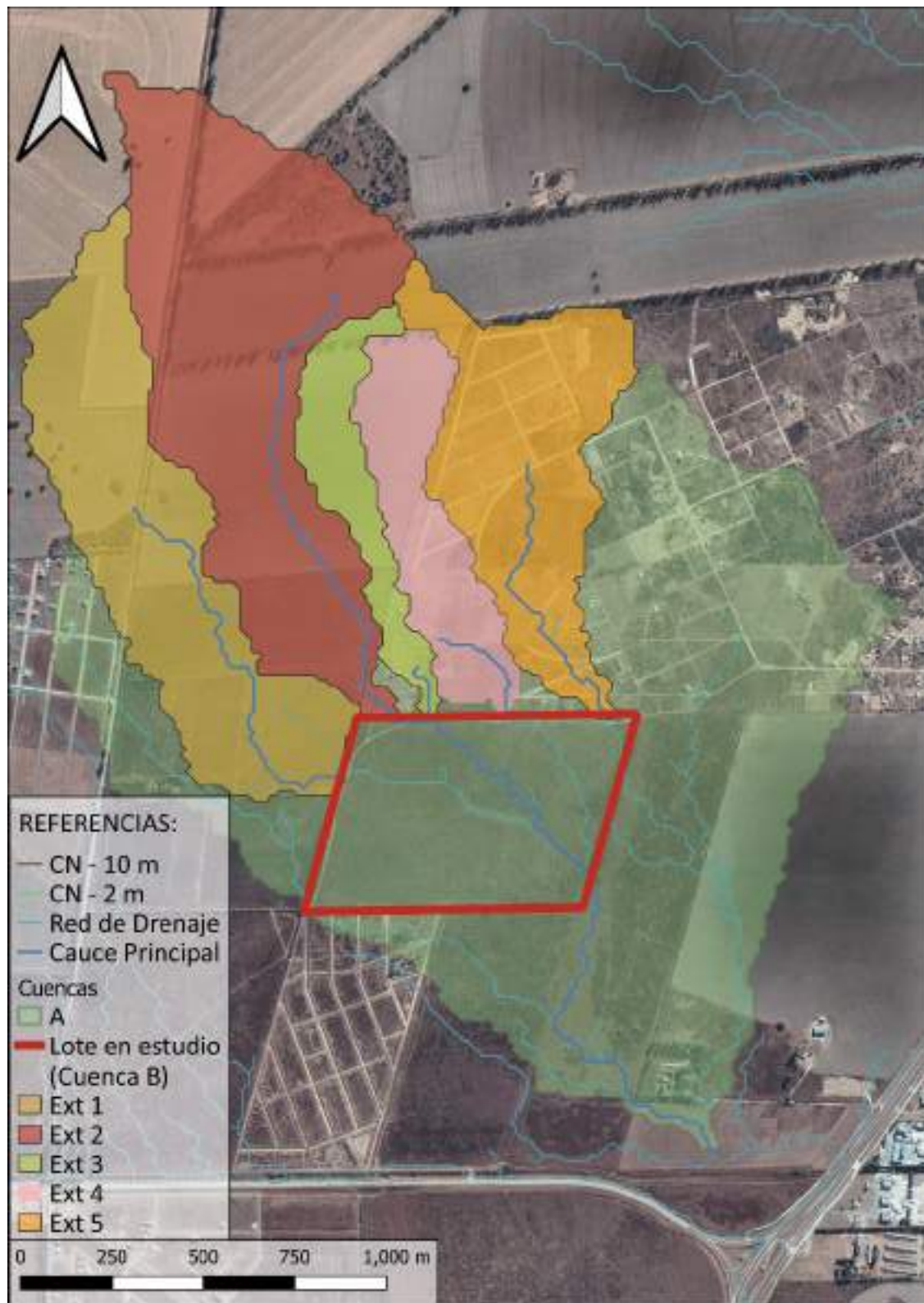


Ilustración 3: Cuencas externas

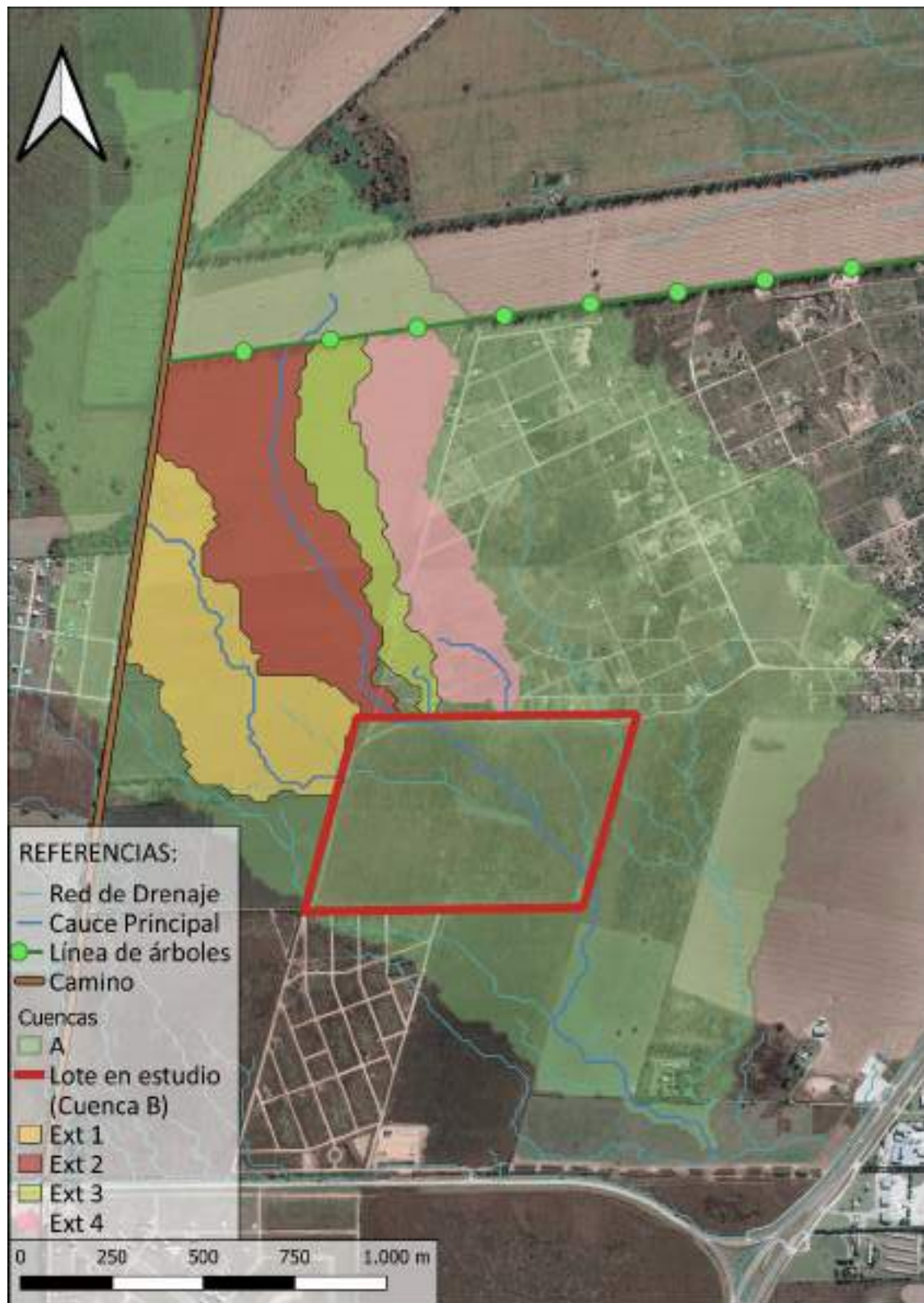


Ilustración 4: Cuencas externas de aporte

1.3 Relevamiento Topográfico Interno del predio del loteo

Se realizó dentro del predio un levantamiento con GPS a los efectos de realizar un análisis del microdrenaje.

A partir de las curvas de nivel y la disposición de las calles y manzanas, fue posible determinar el escurrimiento interno del predio.

Para conducir las aguas que aportan las cuencas externas a nuestro lote, se generó una avenida principal que cruza la urbanización de Norte a Sur, en cuyo cantero central se ubicará un espacio verde junto a un canal de desagüe. De esta forma podemos conducir las aguas de las cuencas externas 1 y 2, rectificando su curso, pero sin cambiar su punto de descarga

Se generaron 7 cuencas internas, de las cuencas la 1 y 2, desaguan en el canal central junto a los aportes externos. Por su parte, la cuenca 3 y 4, descargan sus aportes a una laguna de retardo, situado al este del canal. Finalmente, las cuencas 5, 6 y 7, son regulados en otra laguna de retardo, creada al oeste del canal. (Ilustración 5).



Ilustración 5: Cuencas Internas

2 **MEMORIA DE CÁLCULO**

2.1 **Introducción**

La memoria de cálculo se ha elaborado para lograr los siguientes objetivos.

Objetivo general:

- Diseñar las estructuras necesarias para que el impacto hidrológico de la urbanización en los puntos de vuelco de la situación sin urbanizar sea nulo.
- Diseñar las estructuras de encauce y control necesarias para evitar anegamiento de calzadas y desborde sobre terceros

Objetivos particulares:

- Determinación de caudales en escenario sin modificación del uso del suelo y con modificación del uso el suelo.
- Conforme a los caudales obtenidos, establecer el tipo de obra necesaria para reducir el impacto.
- Diagramar la forma de escurrimiento dentro del parcelamiento, respetando la topografía y la forma de escurrimiento natural.

2.2 **Información topográfica**

La topografía externa al predio fue determinada mediante un modelo digital de elevaciones (DEM), proveniente del proyecto MDE-Ar del Instituto Geográfico Nacional. Las herramientas GIS permitieron trabajar el DEM, elaborar curvas de nivel y trazar el esquema de drenaje natural en el predio. La topografía dentro del predio fue establecida mediante el levantamiento de puntos planialtimétricos, para lo cual se utilizó equipos GPS de doble frecuencia RTK.

2.3 **Delimitación de cuencas y parámetros**

2.3.1 **Condición actual**

Tal como se ha mencionado anteriormente existen aportes externos al terreno, por lo que el análisis del macro drenaje es necesario para determinar el caudal que aportan las cuencas al punto de cierre.

Las características principales de las cuencas en el estado actual del terreno, mostradas en la Ilustración 3, las observamos en la Tabla 1.

TABLA 1 - Características de las cuencas condición actual				
Característica	Área	Long. Cauce Principal	Desnivel	Número de Curva
Cuenca	(Ha)	(m)	(m)	(CN)
Externa 1	28,90	1205,97	9,43	65
Externa 2	33,62	1213,07	13,59	65
Externa 3	13,08	306,95	1,20	65

Estudio Hidrológico

Externa 4	21,86	341,85	2,66	65
Cuenca B	41,97	770,24	7,80	65

El valor de Curva Número (CN), se obtuvo teniendo en cuenta que la zona presenta una superficie ocupada por pastizales y suelo agrícola en periodo de secado con una condición pobre.

El tiempo de respuesta de la cuenca frente a un evento hidrológico se ha estimado mediante dos formulaciones empíricas, correspondientes a la formulación de Kirpich, del SCS y finalmente de Bransby -William. Se describen a continuación.

Método de Kirpich.

El tiempo de concentración ha sido determinado mediante la ecuación:

$$T_c = \frac{0.000323 \times L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Los cálculos obtenidos se resumen en la Tabla 2.

TABLA 2 - Método de Kirpich			
Característica	Pendiente (S)	Tc	Tc
Cuenca	(m/m)	(h)	(min)
Externa 1	0,008	0,49	29,58
Externa 2	0,011	0,43	25,88
Externa 3	0,004	0,22	13,46
Externa 4	0,008	0,19	11,24
Cuenca B	0,010	0,32	18,96

Método SCS.

El tiempo de concentración ha sido determinado mediante la ecuación:

$$T_c = \frac{L^{0.8} \times (S + 25)^{0.7}}{7069 \times Y^{0.5}}$$

Los cálculos obtenidos se resumen en la Tabla 3.

TABLA 3 - Método del SCS				
Característica	S	Y	Tc	Tc
Cuenca		(%)	(h)	(min)
Externa 1	136,769	0,782	1,64	98,49
Externa 2	136,769	1,121	1,38	82,68
Externa 3	136,769	0,392	0,78	46,59
Externa 4	136,769	0,777	0,60	36,06
Cuenca B	136,769	1,013	1,01	60,48

Ecuación de Bransby - Williams.

El tiempo de concentración ha sido determinado mediante la ecuación:

$$T_c = \frac{58 L}{A^{0.1} \times S^{0.2}}$$

Los cálculos obtenidos se resumen en la Tabla 4.

TABLA 4 - Método de Bransby - Williams				
Característica	Pendiente (S)	A	Tc	Tc
Cuenca	(m/km)	(km)	(h)	(min)
Externa 1	7,823	0,289	0,87	52,48
Externa 2	11,205	0,336	0,81	48,39
Externa 3	3,916	0,131	0,28	16,61
Externa 4	7,767	0,219	0,26	15,32
Cuenca B	10,127	0,420	0,51	30,67

El tiempo de concentración, estimado por los métodos mencionados, ha sido promediado para su determinación final. El tiempo adoptado para cada subcuenca se resume en la última columna de la Tabla 5.

TABLA 5 - Resumen					
Método	Kirpich	SCS	Bransby - Williams	Tc medio	
Cuenca	Tiempo (min)			Tiempo (h)	
Externa 1	29,58	98,49	52,48	60,19	1,00
Externa 2	25,88	82,68	48,39	52,32	0,87
Externa 3	13,46	46,59	16,61	25,55	0,43
Externa 4	11,24	36,06	15,32	20,87	0,35
Cuenca B	18,96	60,48	30,67	36,70	0,61

2.3.2 Cuencas Internas

La impermeabilización del suelo, producto de la urbanización de las cuencas internas, genera un cambio en la condición de infiltración. Esta alteración que reduce la absorción por parte del suelo, incrementa los picos de caudales superficiales y el volumen de agua escurrido. Este impacto lleva a diseñar una redistribución y retardo de los flujos originados.

Para regular los efectos de la impermeabilización de suelo debido a la urbanización, se genera dos cuencas de retardo. La primera, recibirá las descargas provenientes de la cuenca 3 y 4. La segunda, captará lo proveniente de las cuencas 5, 6 y 7. Las cuencas 1 y 2, descargarán en el canal central, sin retardo alguno. Cabe destacar que los puntos de vuelco respecto de la condición natural no se han visto modificados.

La ejecución del emprendimiento provocará cambios en el uso de suelo, donde el 20 % estará ocupado por espacio verde con cubierta de pasto en un alto porcentaje, el 20% por calles

Estudio Hidrológico

asfaltadas con cunetas y el 60% restante por residencias con un factor de ocupación de suelo (FOS) de 0,60 y un factor de ocupación total (FOT) de 1.2. Los valores de CN adoptados para estos usos son 65, 98 y 75 respectivamente. Realizando una ponderación areal el valor de CN que corresponde a esta condición es de 78.

En la Tabla 6, encontramos las características de las cuencas con el cambio de uso de suelo. En las Tablas 7 a *, observamos los tiempos de concentración para esta condición.

TABLA 6 - Cuencas internas sin cambio de uso de suelo				
Característica	Área	Long. Cauce Principal	Desnivel	Número de Curva
Cuenca	(Ha)	(m)	(m)	(CN)
Interna 1	5,42	502,81	3,20	78
Interna 2	6,02	470,27	5,18	78
Interna 3	4,87	430,91	3,94	78
Interna 4	4,48	398,80	3,43	78
Interna 5	6,12	995,53	7,70	78
Interna 6	8,61	761,20	6,14	78
Interna 7	4,91	864,38	6,20	78

TABLA 7 - Método de Kirpich			
Característica	Pendiente (S)	Tc	Tc
Cuenca	(m/m)	(h)	(min)
Interna 1	0,006	0,27	16,33
Interna 2	0,011	0,21	12,56
Interna 3	0,009	0,21	12,61
Interna 4	0,009	0,20	12,17
Interna 5	0,008	0,43	25,63
Interna 6	0,008	0,34	20,51
Interna 7	0,007	0,39	23,67

Estudio Hidrológico

TABLA 8 - Método del SCS				
Característica	S	Y	Tc	Tc
Cuenca		(%)	(h)	(min)
Interna 1	71,641	0,636	0,63	37,81
Interna 2	71,641	1,101	0,45	27,25
Interna 3	71,641	0,914	0,46	27,88
Interna 4	71,641	0,860	0,45	27,02
Interna 5	71,641	0,773	0,99	59,24
Interna 6	71,641	0,807	0,78	46,80
Interna 7	71,641	0,717	0,92	54,94

TABLA 9 - Método de Bransby - Williams				
Característica	Pendiente (S)	A	Tc	Tc
Cuenca	(m/km)	(km)	(h)	(min)
Interna 1	6,364	0,054	0,45	26,96
Interna 2	11,015	0,060	0,37	22,36
Interna 3	9,144	0,049	0,36	21,72
Interna 4	8,601	0,045	0,34	20,52
Interna 5	7,735	0,061	0,85	50,71
Interna 6	8,066	0,086	0,62	37,16
Interna 7	7,173	0,049	0,76	45,70

La Tabla 10, muestra un resumen de los tiempos de concentración y el valor medio para cada cuenca.

TABLA 10 - Resumen					
Método	Kirpich	SCS	Bransby - Williams	Tc medio	
Cuenca	Tiempo (min)			Tiempo (h)	
Interna 1	16,33	37,81	26,96	27,03	0,45
Interna 2	12,56	27,25	22,36	20,72	0,35
Interna 3	12,61	27,88	21,72	20,74	0,35
Interna 4	12,17	27,02	20,52	19,90	0,33
Interna 5	25,63	59,24	50,71	45,19	0,75
Interna 6	20,51	46,80	37,16	34,83	0,58
Interna 7	23,67	54,94	45,70	41,44	0,69

2.4 Determinación de Lluvia de diseño

Para la determinación de la lluvia de diseño, se utilizó el “MAPA EN LÍNEA DE LLUEVIAS DIARIAS EXTREMAS PARA ARGENTINA”, desarrollada en conjunto por el INA - CIRSA, la UNC – FCERyN y otros colaboradores (<https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/mapas/pmpd.xhtml>). Ingresando las coordenadas del punto de estudio en su portal web (), nos brinda la lluvia máxima diaria (PMD) con recurrencia de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, y el valor límite estimado (VLEP).



Ilustración 6: Lluvia máxima diaria

En la Tabla 11, se observan los valores obtenidos:

TABLA 11 - Lluvia Máxima Diaria					
PMD	Recurrencia T (años)				
	5	10	25	50	100
		52	63	82	103

La distribución temporal de las láminas de diseño se hizo mediante hietogramas. Los hietogramas elaborados se hicieron mediante sextiles (Tabla 12), se seleccionaron los que ubican el pico en el tercer lugar. En la Tabla 13 se resume la distribución temporal de las láminas. La Ilustración 7 esquematiza los hietogramas construidos.

TABLA 12 - Sextiles						
Ubicación del Pico	Sextil					
	1	2	3	4	5	6
3	10,0	20,0	50,0	16,0	2,0	2,0

TABLA 13 - Hietogramas					
Sextil	Recurrencia T (años)				
	5	10	25	50	100
1	5,2	6,3	8,2	10,3	11,4
2	10,4	12,6	16,4	20,6	22,8
3	26,0	31,5	41,0	51,5	57,0
4	8,3	10,1	13,1	16,5	18,2
5	1,0	1,3	1,6	2,1	2,3
6	1,0	1,3	1,6	2,1	2,3
Total	52,00	63,00	82,00	103,00	114,00

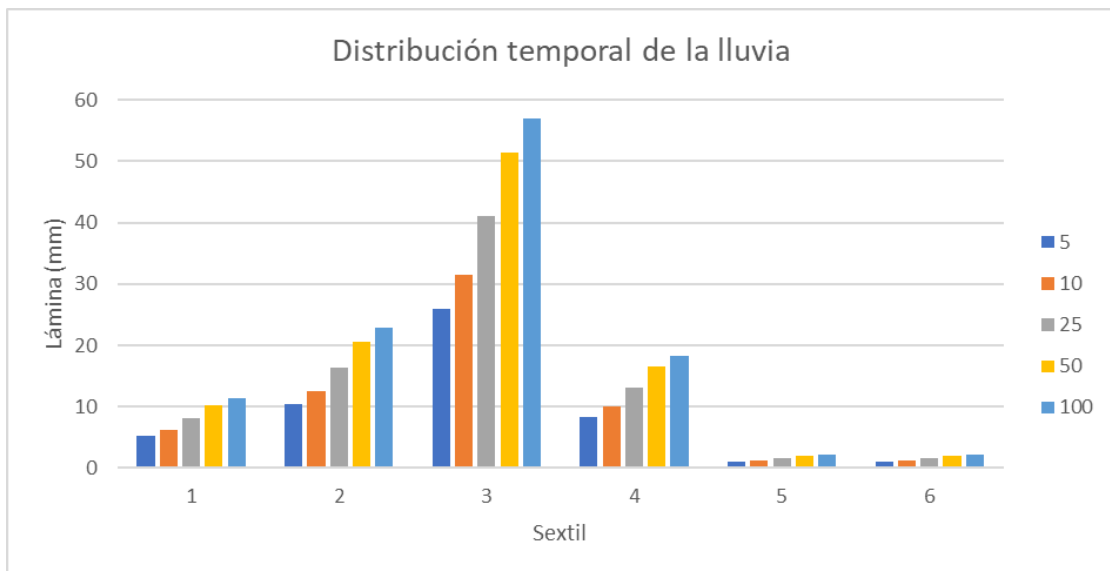


Ilustración 7: Distribución temporal de la lluvia

2.5 Presentación del esquema hidrológico del sistema

Los escenarios hidrológicos planteados son tres. El primero corresponde a la situación original del predio, donde se consideran el lote en estudio como un todo y los aportes recibidos de las cuencas externas. El segundo escenario, se corresponde con la situación en donde se supone al predio urbanizado completamente, pero sin las obras necesarias de control y regulación. Finalmente, el tercer escenario planteado modela al predio 100% urbanizado con las obras de control y regulación planteadas.

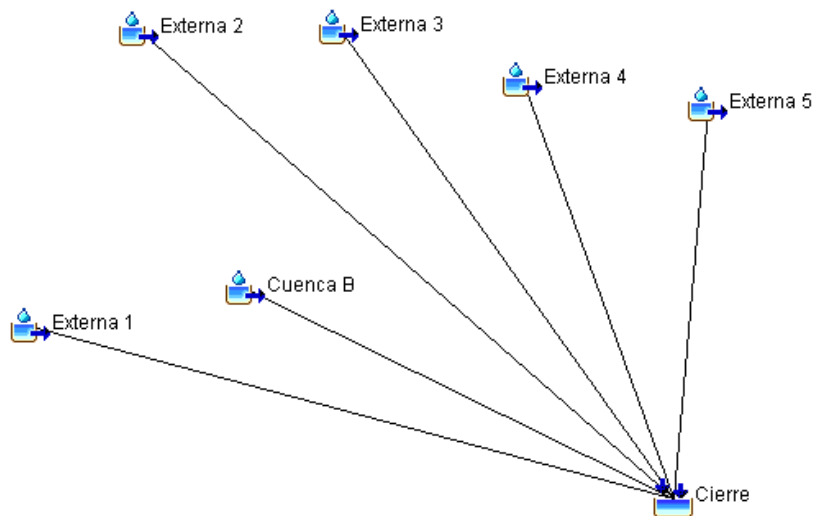


Ilustración 8 - Escenario 1

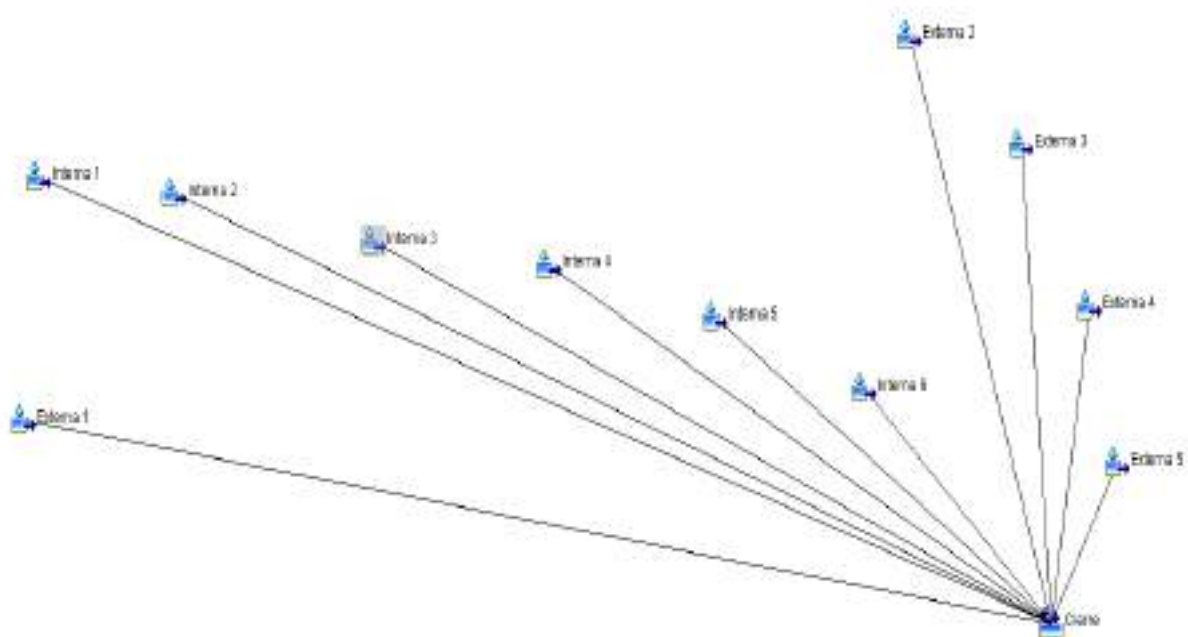


Ilustración 9 - Escenario 2

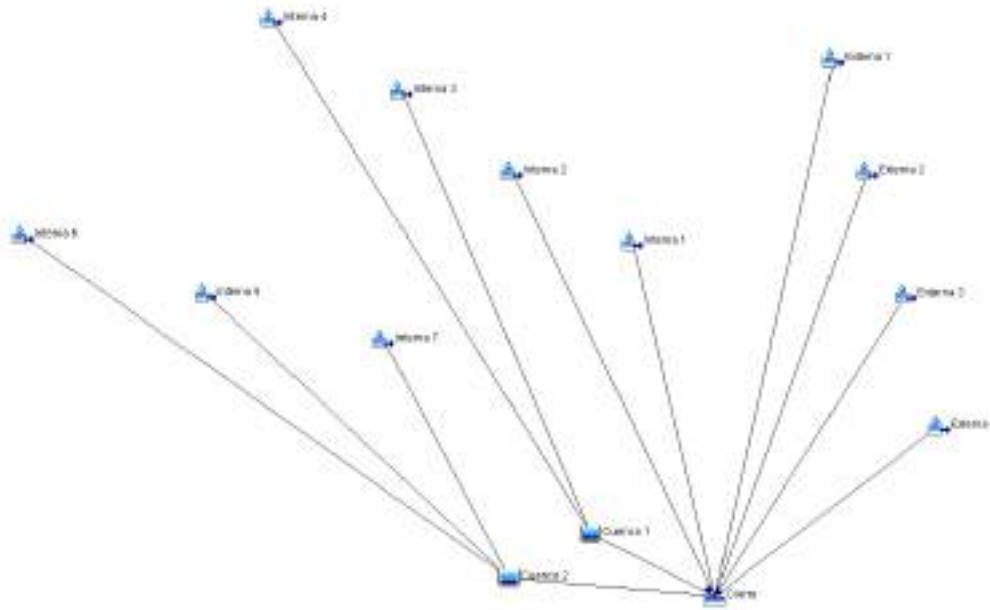


Ilustración 10: Escenario 3

2.6 Modelo hidrológico para la estimación de caudales

Para el cálculo de los caudales de diseño de los diferentes elementos del sistema se realizaron modelos numéricos con el programa de cálculo HEC-HMS. En el mismo se utilizó el método del SCS USDA (Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los EEUU) para estimar las pérdidas iniciales y por infiltración, para realizar la transformación lluvia-caudal se aplicó el método del hidrograma unitario, y se empleó el Hidrograma Unitario Sintético propuesto por en SCS.

HEC-HMS, Hydrologic Modeling System, es un programa del Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers. El programa simula los procesos de precipitación - escorrentía y los procesos de tránsitos controlados y naturales. Este software tiene unas interfaces gráficas que permiten una visualización de los resultados en tablas y gráficos.

Para la simulación de los procesos de precipitación – escorrentía - tránsito HEC-HMS provee los siguientes componentes:

- 1- Precipitación, permite describir un evento observado.
- 2- Modelos de pérdidas.
- 3- Modelos de escurrimiento directo
- 4- Modelos de tránsitos hidrológicos
- 5- Modelos de confluencias y bifurcaciones de corrientes

HEC-HMS incluye, además:

- Modelos de escorrentía semidistribuidos para poder utilizar datos de precipitación distribuida proveniente de radares.
- Modelos simplificados para modelar humedad del suelo semi-continua para simulación para largos períodos sobre cuencas.

2.6.1 Hietogramas para los diferentes escenarios planteados

El modelo se corrió para eventos de recurrencias de 10, 25 y 100 años para función complementaria, con una tormenta de diseño de 30 minutos de duración con el pico en el tercer sextil. En las siguientes Ilustraciones se observan los hietogramas correspondientes.

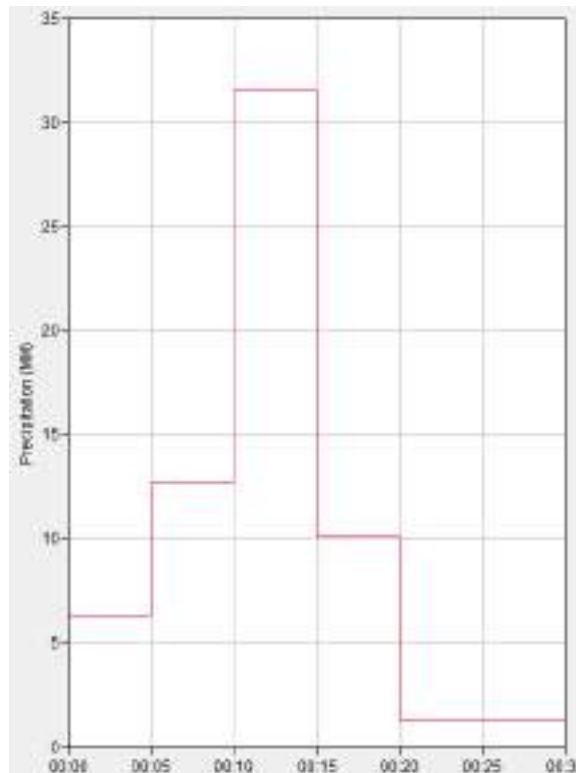


Ilustración 11: Hietograma TR 10 años

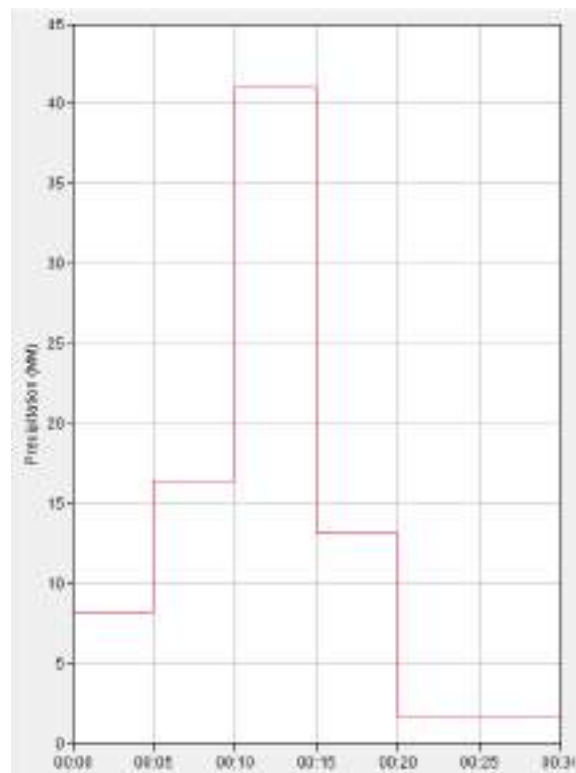


Ilustración 12: Hietograma TR 25 años

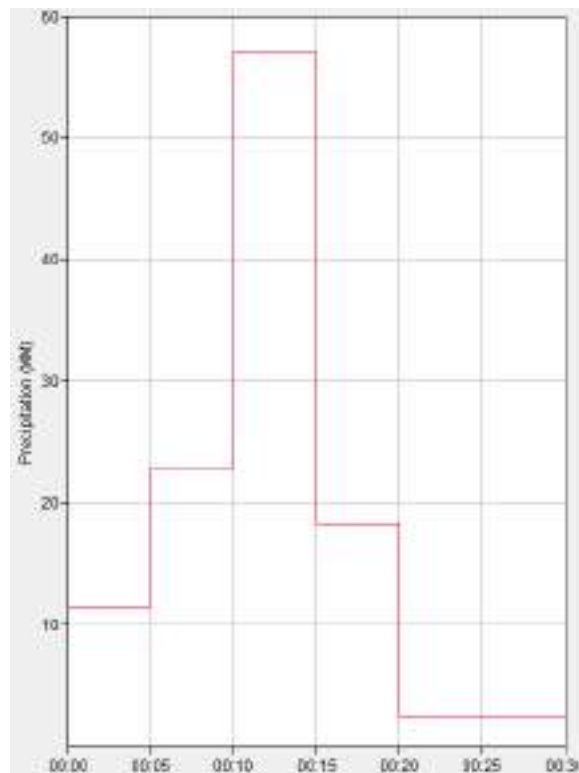


Ilustración 13: Hietograma TR 100 años

2.6.2 Resultados Escenario 1

- TR – 10 años

TIEMPO DE RETORNO = 10 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,4	7,41	2,1
Externa 2	0,336	0,6	7,41	2,5
Externa 3	0,131	0,4	7,41	1
Externa 4	0,219	0,8	7,41	1,6
Cuenca B	0,42	1,0	7,41	3,1
Cierre	1,395	2,5	7,41	10,3

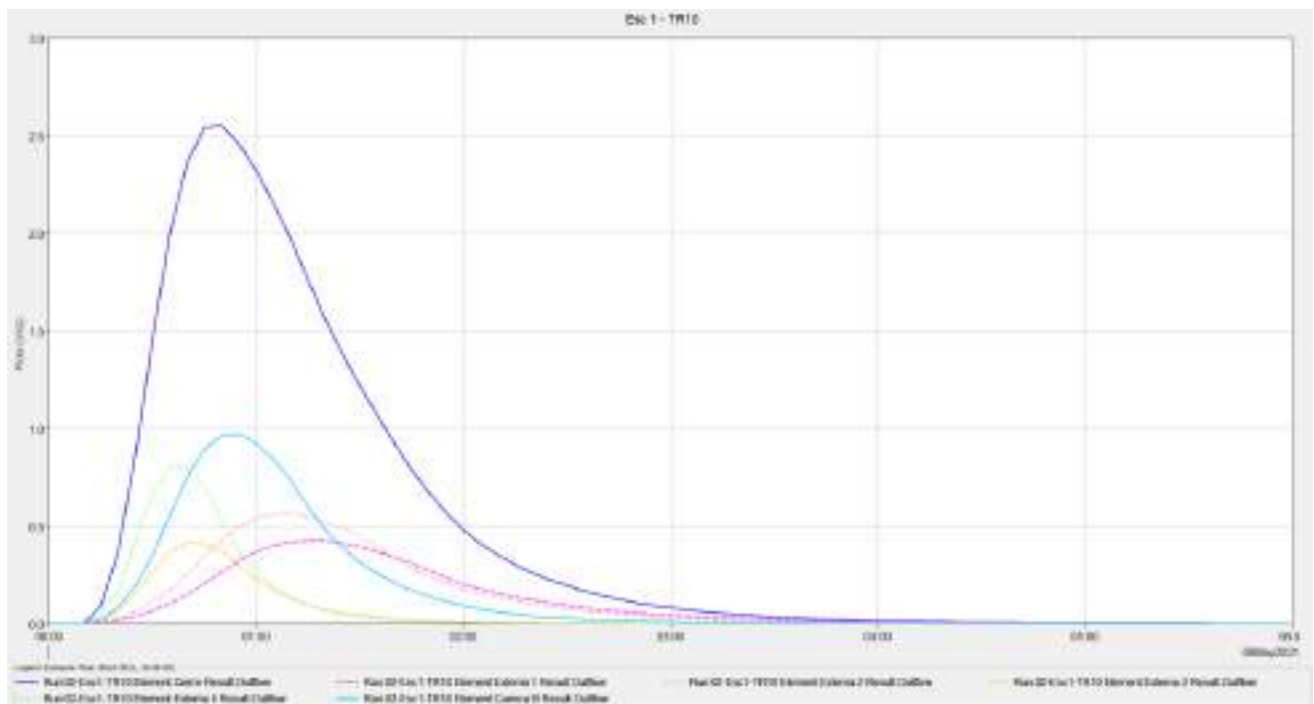


Ilustración 14: Escenario 1 - TR10

- TR – 25 años

TIEMPO DE RETORNO = 25 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,89	15,55	4,5
Externa 2	0,336	1,18	15,55	5,2
Externa 3	0,131	0,87	15,55	2,0
Externa 4	0,219	1,71	15,55	3,4
Cuenca B	0,420	2,03	15,55	6,5
Cierre	1,395	5,37	15,55	21,7

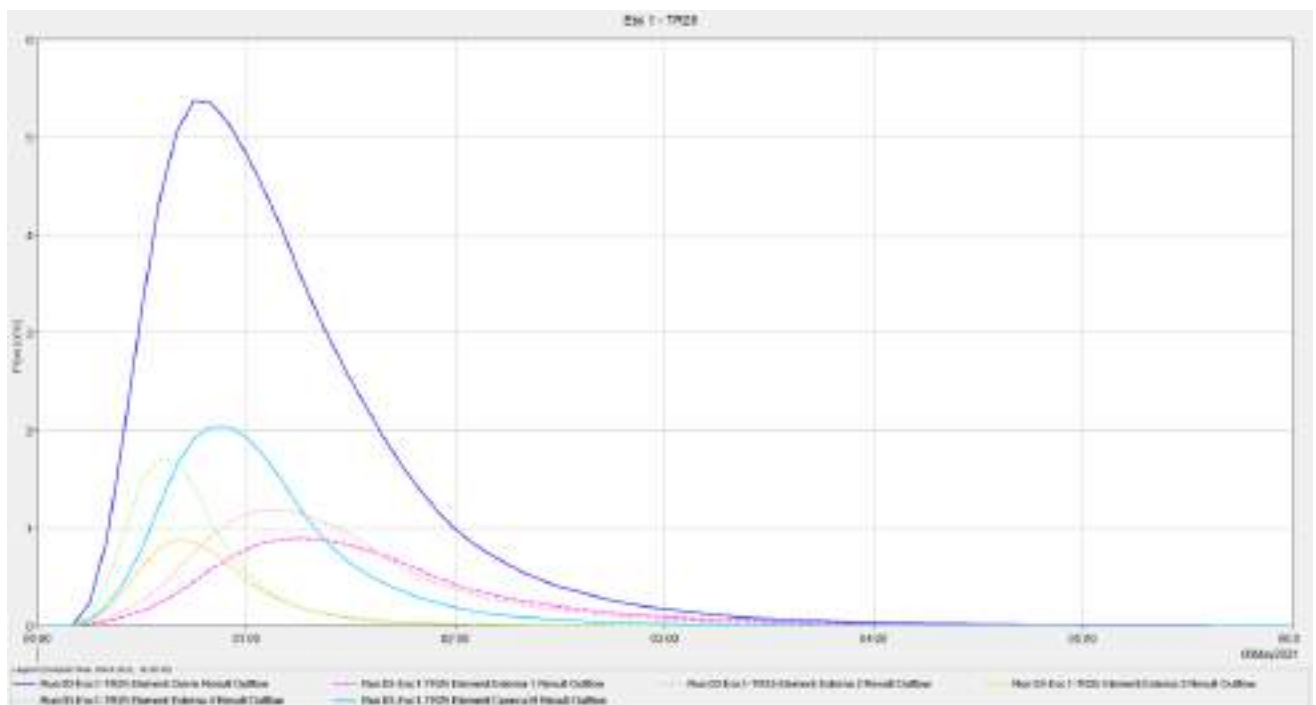


Ilustración 15: Escenario 1 - TR25

- TR – 100 años

TIEMPO DE RETORNO = 100 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	1,93	33,60	9,7
Externa 2	0,336	2,55	33,60	11,3
Externa 3	0,131	1,89	33,60	4,4
Externa 4	0,219	3,73	33,60	7,4
Cuenca B	0,420	4,41	33,60	14,1
Cierre	1,395	11,63	33,60	46,9

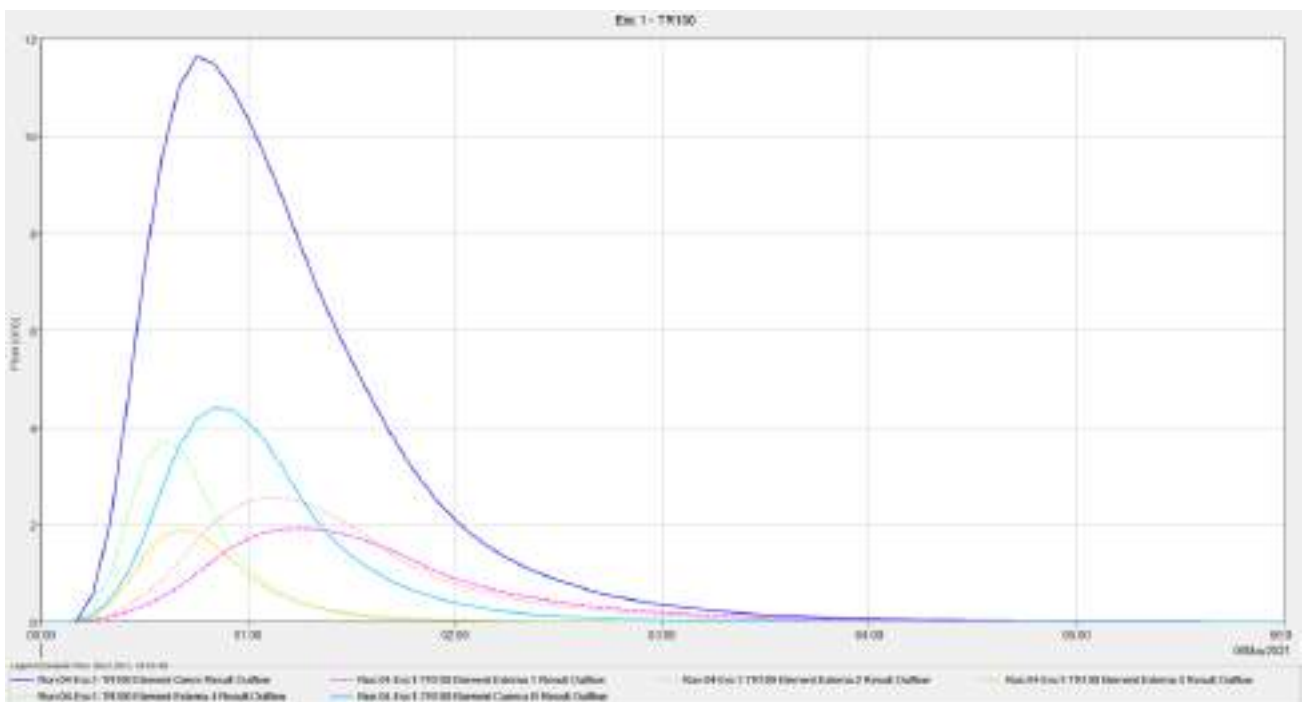


Ilustración 16: Escenario 1 - TR100

2.6.3 Resultados Escenario 2

- TR – 10 años

TIEMPO DE RETORNO = 10 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,42	7,41	2,1
Externa 2	0,336	0,56	7,41	2,5
Externa 3	0,219	0,80	7,41	1,6
Externa 4	0,131	0,41	7,41	1,0
Interna 1	0,054	0,43	19,75	1,1
Interna 2	0,06	0,60	19,75	1,2
Interna 3	0,049	0,49	19,75	1,0
Interna 4	0,045	0,47	19,75	0,9
Interna 5	0,061	0,31	19,75	1,2
Interna 6	0,086	0,56	19,75	1,7
Interna 7	0,049	0,27	19,75	1,0
Cierre	1,379	4,39	11,02	15,2

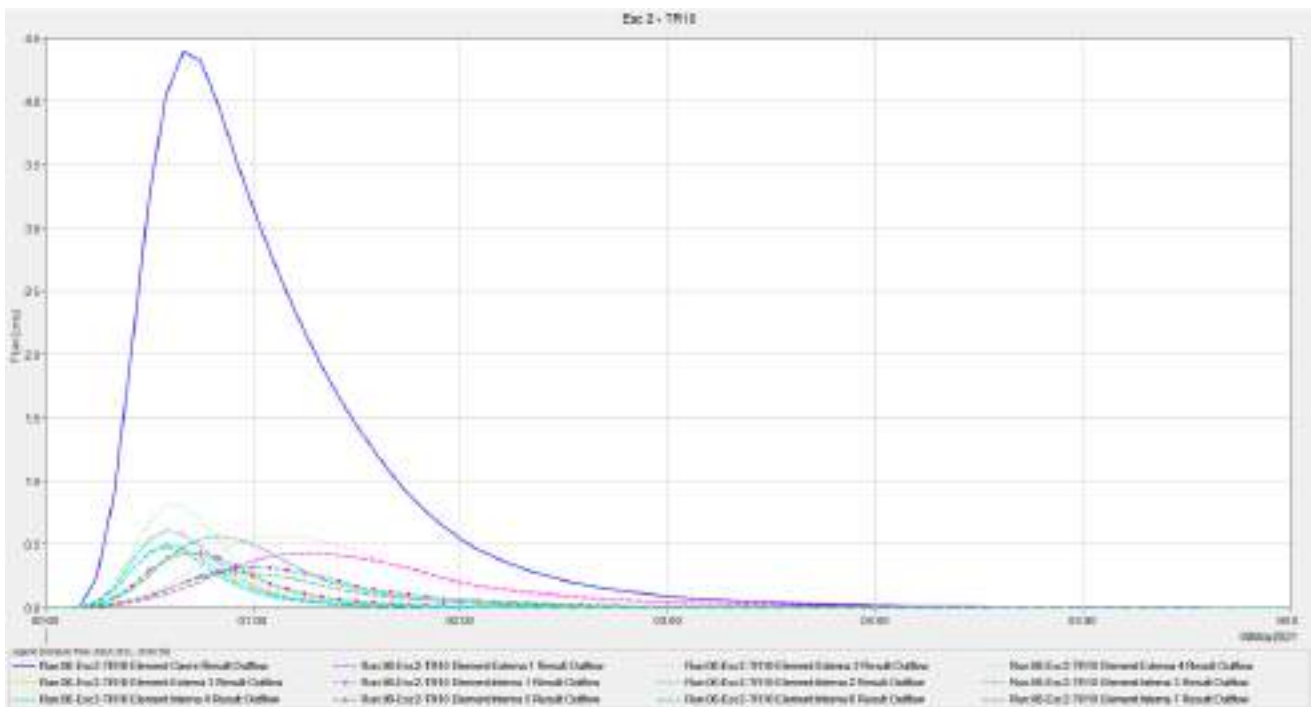


Ilustración 17: Escenario 2 - TR10

- TR – 25 años

TIEMPO DE RETORNO = 25 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,89	15,55	4,5
Externa 2	0,336	1,18	15,55	5,2
Externa 3	0,219	1,71	15,55	3,4
Externa 4	0,131	0,87	15,55	2,0
Interna 1	0,054	0,72	32,8	1,8
Interna 2	0,06	1,01	32,8	2,0
Interna 3	0,049	0,82	32,8	1,6
Interna 4	0,045	0,78	32,8	1,5
Interna 5	0,061	0,52	32,8	2,0
Interna 6	0,086	0,93	32,8	2,8
Interna 7	0,049	0,45	32,8	1,6
Cierre	1,379	8,03	20,6	28,4

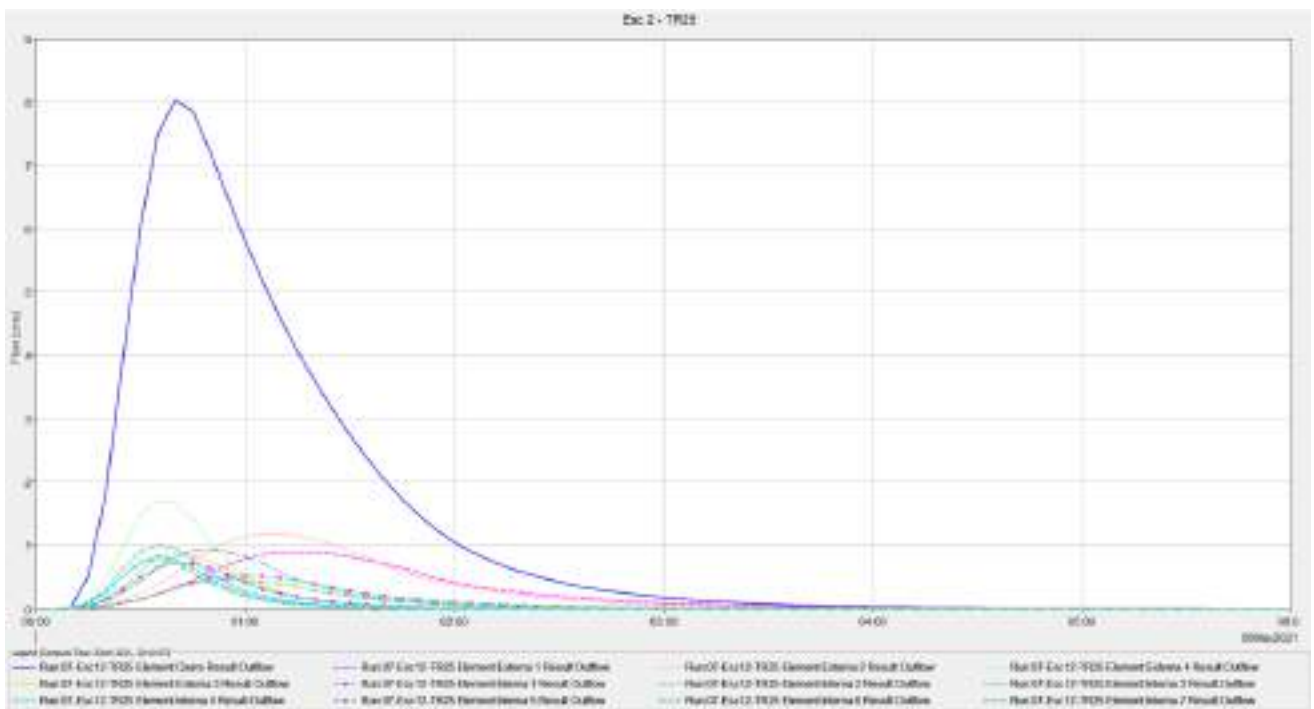


Ilustración 18: Escenario 2 - TR 25

- TR – 100 años

TIEMPO DE RETORNO = 100 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	1,93	33,6	9,7
Externa 2	0,336	2,55	33,6	11,3
Externa 3	0,131	1,89	33,6	7,4
Externa 4	0,219	3,73	33,6	4,4
Interna 1	0,054	1,28	57,99	3,1
Interna 2	0,06	1,78	57,99	3,5
Interna 3	0,049	1,45	57,99	2,8
Interna 4	0,045	1,38	57,99	2,6
Interna 5	0,061	0,92	57,99	3,5
Interna 6	0,086	1,64	57,99	5,0
Interna 7	0,049	0,80	57,99	2,8
Cierre	1,379	15,56	40,75	56,2

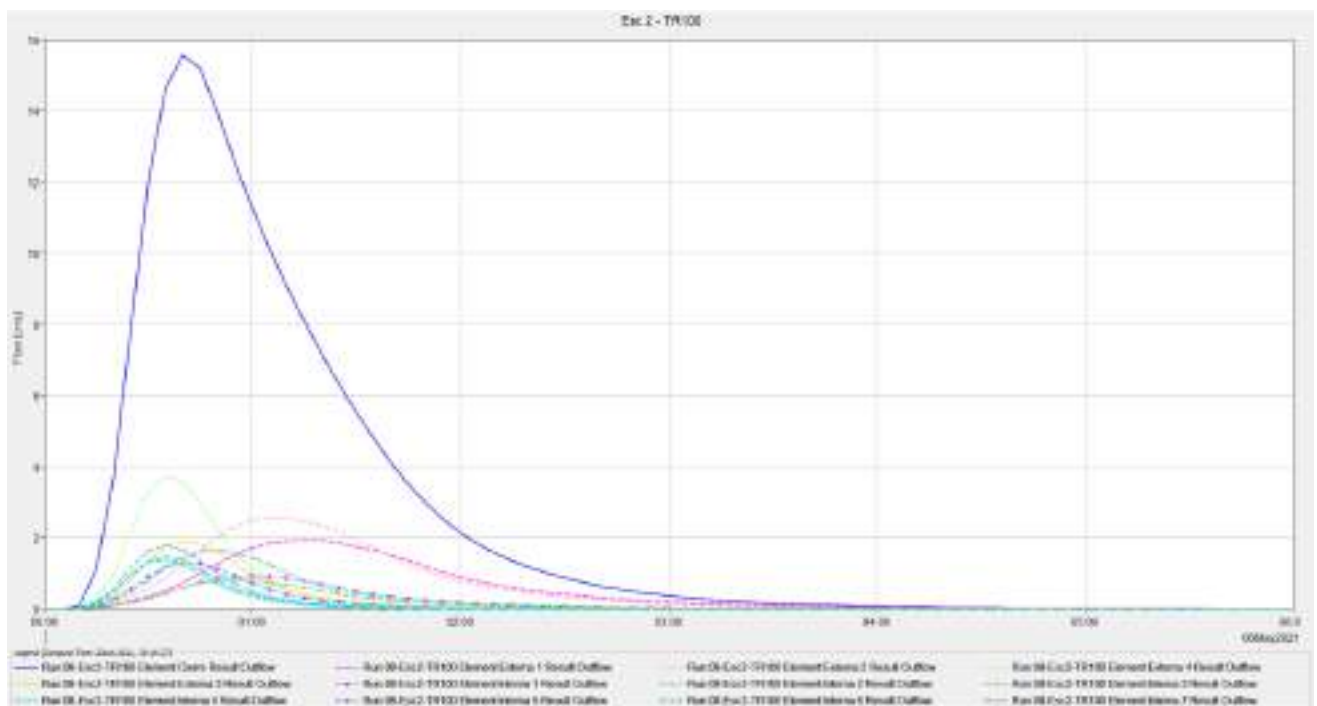


Ilustración 19: Escenario 2 - TR 100

Producto del cambio de uso de suelo que genera la urbanización, se produce un aumento en el volumen de agua que drena en la cuenca, y con ello un aumento en el caudal máximo que se eroga en el punto de cierre.

Para reducir el pico de los caudales se generan dos cuencas de retardo. Dicho análisis se plantea en el Escenario 3.

2.6.4 Resultados Escenario 3

- TR – 10 años

TIEMPO DE RETORNO = 10 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,42	7,41	2,1
Externa 2	0,336	0,56	7,41	2,5
Externa 3	0,131	0,41	7,41	1,0
Externa 4	0,219	0,80	7,41	1,6
Interna 1	0,054	0,43	19,75	1,1
Interna 2	0,060	0,60	19,75	1,2
Interna 3	0,049	0,49	19,75	1,0
Interna 4	0,045	0,47	19,75	0,9
Interna 5	0,061	0,31	19,75	1,2
Interna 6	0,086	0,56	19,75	1,7
Interna 7	0,049	0,27	19,75	1,0
Cuenca 1	0,094	0,17	15,83	1,5
Cuenca 2	0,196	0,67	17,79	3,5
Cierre	1,379	2,81	10,48	14,4

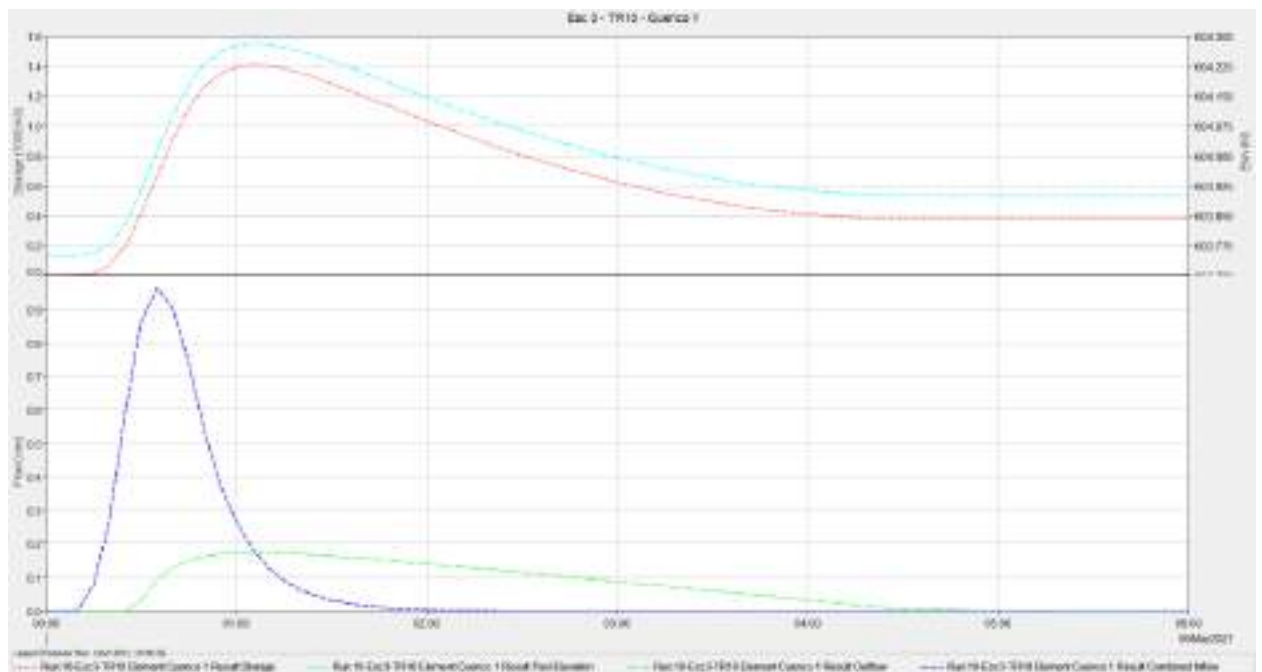


Ilustración 20: Escenario 3 - TR 10 - Cuenca 1

Estudio Hidrológico

- TR – 25 años

TIEMPO DE RETORNO = 25 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	0,89	15,55	4,5
Externa 2	0,336	1,18	15,55	5,2
Externa 3	0,131	0,87	15,55	2,0
Externa 4	0,219	1,71	15,55	3,4
Interna 1	0,054	0,72	32,80	1,8
Interna 2	0,060	1,01	32,80	2,0
Interna 3	0,049	0,82	32,80	1,6
Interna 4	0,045	0,78	32,80	1,5
Interna 5	0,061	0,52	32,80	2,0
Interna 6	0,086	0,93	32,80	2,8
Interna 7	0,049	0,45	32,80	1,6
Cuenca 1	0,094	0,51	28,88	2,7
Cuenca 2	0,196	1,75	30,98	6,1
Cierre	1,379	5,69	20,08	27,7

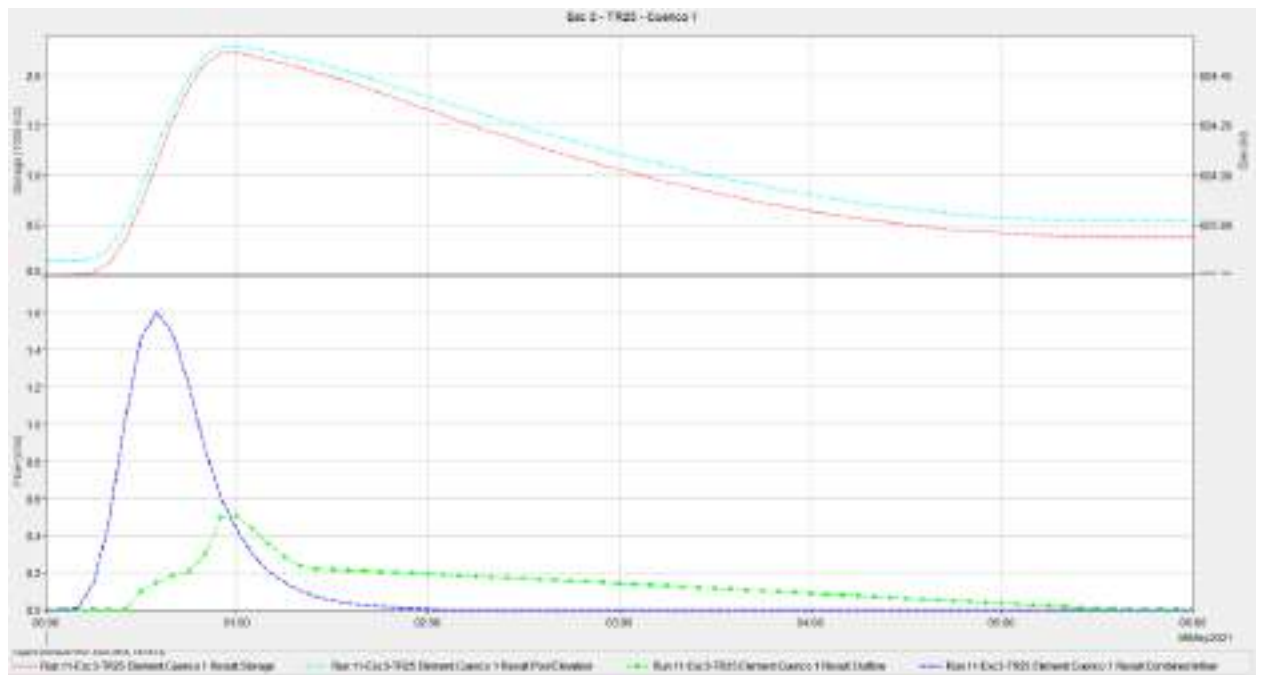


Ilustración 23: Escenario 3 - TR 25 - Cuenca 1

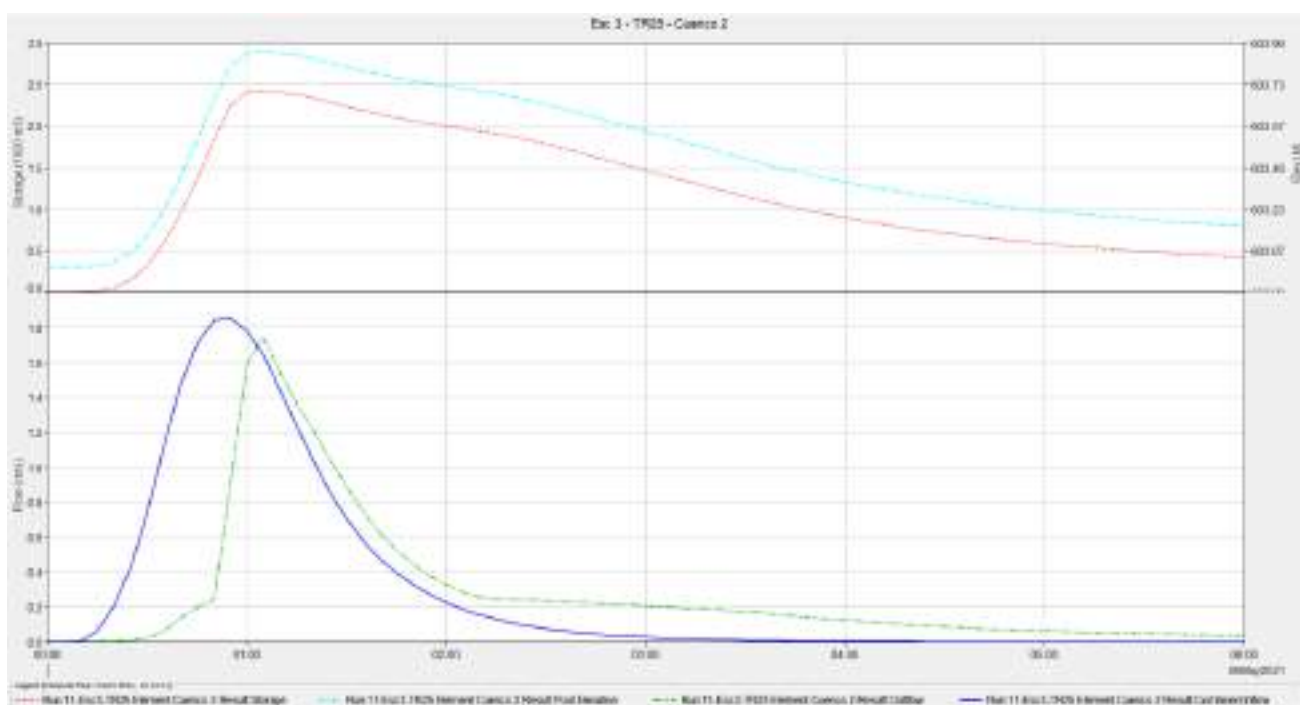


Ilustración 24: Escenario 3 - TR 25 - Cuenco 2

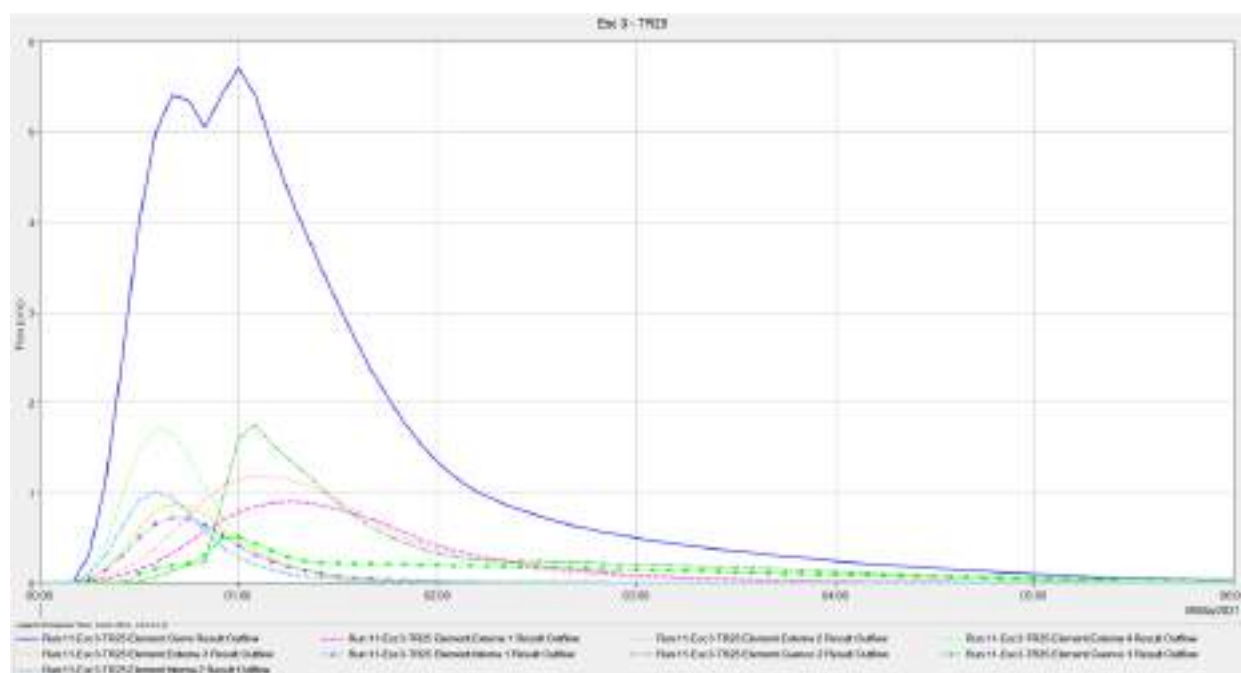


Ilustración 25: Escenario 3 - TR 25

- TR – 100 años

TIEMPO DE RETORNO = 100 años				
Cuenca	Área	Caudal Pico	Volumen	
	km ²	m ³ /s	mm	1000 m ³
Externa 1	0,289	1,93	33,60	9,7
Externa 2	0,336	2,55	33,60	11,3
Externa 3	0,131	1,89	33,60	4,4
Externa 4	0,219	3,73	33,60	7,4
Interna 1	0,054	1,28	57,99	3,1
Interna 2	0,060	1,78	57,99	3,5
Interna 3	0,049	1,45	57,99	2,8
Interna 4	0,045	1,38	57,99	2,6
Interna 5	0,061	0,92	57,99	3,5
Interna 6	0,086	1,64	57,99	5,0
Interna 7	0,049	0,80	57,99	2,8
Cuenca 1	0,094	2,27	54,81	5,2
Cuenca 2	0,196	3,32	56,04	11,0
Cierre	1,379	14,20	40,25	55,5

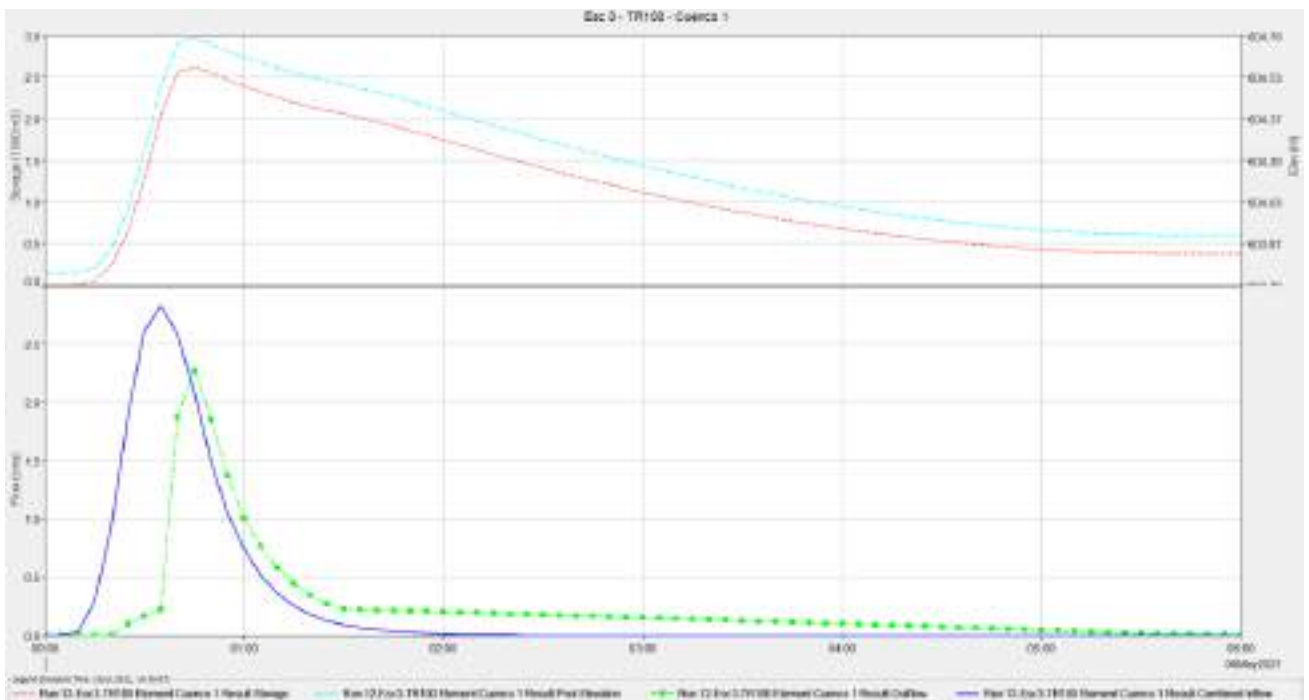


Ilustración 26: Escenario 3 - TR 100 - Cuenca 1

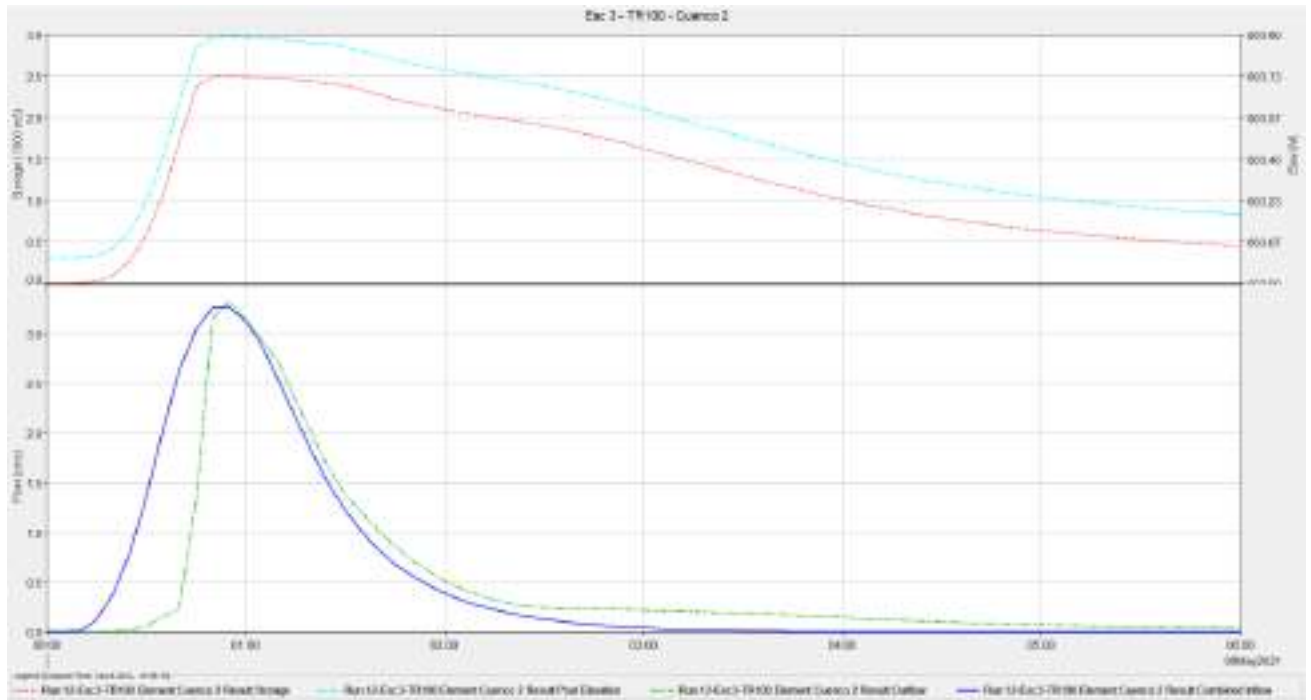


Ilustración 27: Escenario 3 - TR 100 - Cuenco 2

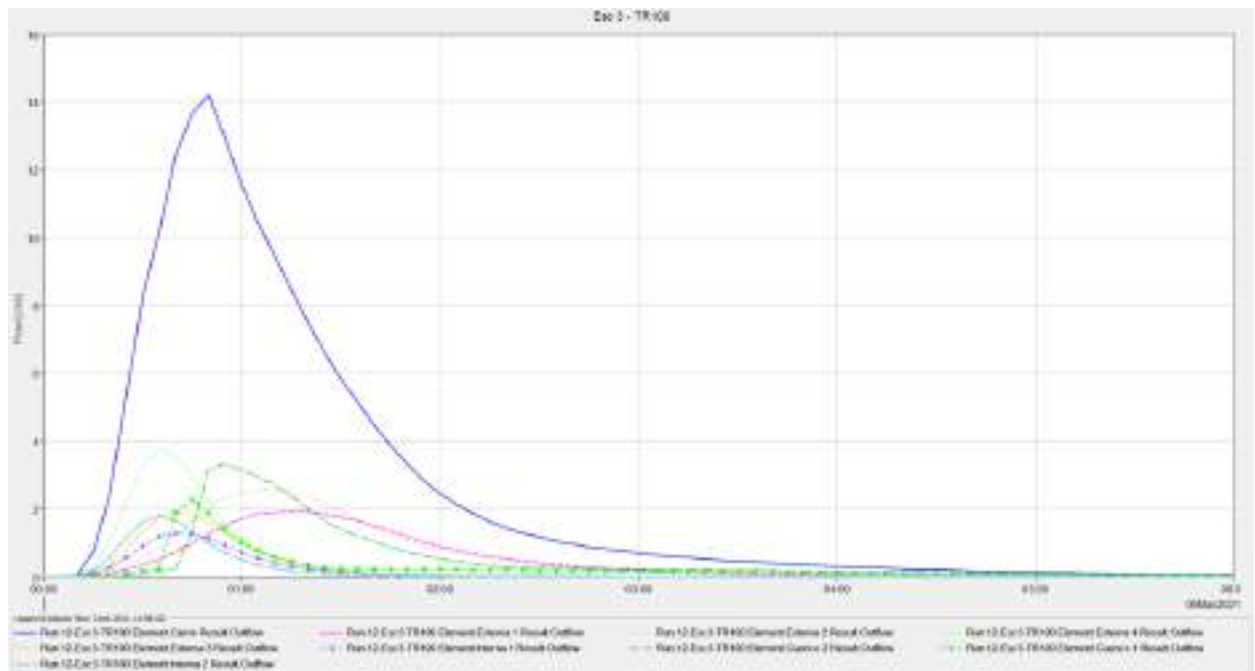


Ilustración 28: Escenario 3 - TR 100

2.7 Cuenco de retardo

Las lagunas de retardo se encuentran ubicadas al sur del loteo, en dos espacios verdes. El Cuenco 1 tiene una superficie de 3190 m² y el Cuenco 2 3230 m², con una profundidad máxima de 1,0 m en ambos casos.

La estructura de salida de la Laguna 1 es un caño de hormigón armado de 300 mm de diámetro, como descarga de fondo, y dos vertederos con cota de coronamiento diferente de 10,0 m de longitud cada uno, que desaguan sobre la calzada. El primer vertedero tiene una altura sobre el fondo de la laguna de 0,75 m y entra en funcionamiento para TR 25 años. Mientras que el segundo, tiene una altura sobre el fondo de la laguna de 0,80 m y entra en funcionamiento para TR 100 años.

La estructura de salida de la Laguna 2 son dos caños de hormigón armado de 300 mm de diámetro, como descarga de fondo, y dos vertederos con cota de coronamiento diferente de 10,0 m de longitud cada uno, que desaguan sobre la calzada. El primer vertedero tiene una altura sobre el fondo de la laguna de 0.70 m y el segundo, tiene una altura sobre el fondo de la laguna de 0,85 m y entran en funcionamiento para TR 25 años.

En ninguno de los casos se ha modificado el sentido natural de escurrimiento de las aguas.

Se prevé el revestimiento con hormigón simple de los taludes del cuenco para ambas lagunas, en coincidencia con el vertedero y en los sitios donde se produce el ingreso de agua.

En la Ilustración 29 se observa un esquema de los cuencos de retardo.

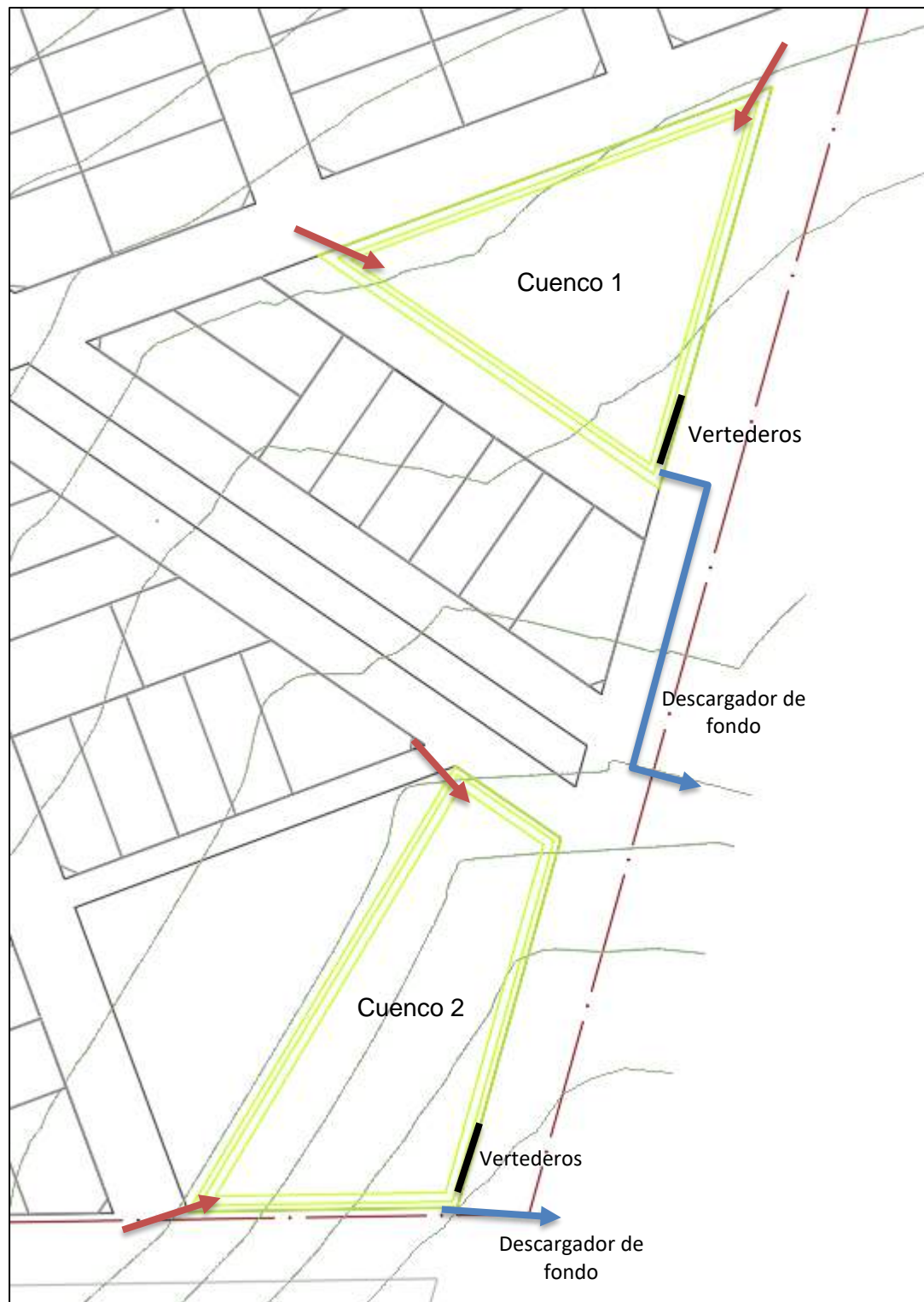


Ilustración 29: Cuencos de Retardo

2.7.1 Descargadores de fondo

Los descargadores de fondo se modelaron en el software HEC-HMS, en el Escenario 3, a través de “Salidas tipo ORIFICIO” para el Cuenco 1 y “Salida tipo ALCANTARILLA” para el cuenco dos.

Las especificaciones para el orificio son:

- Número de alcantarillas idénticas (máximo 10)
- Elevación del centro de la alcantarilla
- Área de la tubería
- Coeficiente de descarga

En la siguiente tabla se observan las especificaciones para el Cuenco 1:

CUENCO 1	
<i>Especificaciones</i>	<i>Tipo</i>
	<i>Orificio</i>
Nº de alcantarillas	1
Elevación centro [msnm]	603,9
Área [m ²]	0,07
Coeficiente de descarga	0,90

Las “Salidas tipo ALCANTARILLA” permiten estudiar el comportamiento de las mismas con flujo parcialmente lleno o sumergido. Se debe seleccionar un método de solución: control de entrada, control de salida o automático, esto dependerá si el flujo de salida de la alcantarilla estará controlado por una gran elevación en la laguna de retardo o condición de nivel de aguas abajo. Se optó por la opción automático.

Las especificaciones en las alcantarillas son:

- Número de alcantarillas idénticas (máximo 10)
- Forma de la sección transversal: circular, semicircular, elíptica, arco, entre otras
- Longitud total, incluida cualquier proyección en la entrada o salida
- Diámetro
- Elevación de entrada (cota parte inferior de la alcantarilla en la entrada)
- Coeficiente de entrada (oscila entre 0,2 – 1,0)
- Coeficiente de salida (Normalmente su valor es 1)
- Elevación de salida (cota parte inferior de la alcantarilla en la salida)
- Coeficiente de rugosidad de Manning (n)

En la siguiente tabla se observan las especificaciones para el Cuenco 2:

CUENCO 2	
Especificaciones	Tipo
	Alcantarilla
Nº de alcantarillas	2
Forma	Circular
Longitud [m]	10
Diámetro [m]	0,30
Elevación en entrada [msnm]	603,0
Coeficiente de entrada	0,95
Coeficiente de salida	0,95
Elevación de salida	602,95
Coef de rugosidad de manning (n)	0,013

2.7.2 Vertedero

Los vertederos fueron modelados en el software HEC-HMS en el Escenario 3, estos entran en funcionamiento antes de que el agua en las lagunas de retardo llegue a su nivel de cresta, permitiendo un desagüe controlado de las mismas.

El programa permite analizar tres métodos diferentes para el cálculo de salida en vertederos como: de cresta ancha, conopial o especificado por el usuario. Se optó por vertederos de tipo cresta ancha.

Las especificaciones en los vertederos son:

- Cantidad de vertederos (máximo 10)
- Elevación de la cresta del vertedero
- Longitud del vertedero, como el ancho total a través del cual pasa el agua
- Coeficiente de descarga, que tiene en cuenta las pérdidas de energía cuando el agua ingresa, fluye y sale del vertedero. Valores típicos entre 1,10 – 1,66 en unidades del S.I.

En la siguiente tabla, se muestra un resumen de las especificaciones de los vertederos para cada laguna de retardo:

CUENCO 1		
Especificaciones	Vertedero	
	1	2
Nº de vertederos	1	1
Tipo	Cresta ancha	Cresta ancha
Elevación en entrada [msn]	604.50	604.60
Longitud [m]	10	4.4
Coeficiente de descarga	1.66	1.66

CUENCO 2		
Especificaciones	Vertedero	
	1	2
Nº de vertederos	1	1
Tipo	Cresta ancha	Cresta ancha
Elevación en entrada [msn]	603.70	603.85
Longitud [m]	10	10
Coefficiente de descarga	1.66	1.66

2.8 Verificación hidráulica del diseño vial

La verificación hidráulica del diseño vial se realiza para la función básica (TR 100 años) y complementaria (TR 10 años).

Para el cálculo fue adoptada la ecuación de Manning para canales en régimen permanente, asumiendo el valor de coeficiente de rugosidad según las recomendaciones de la bibliografía (Ver ten Chow) y de antecedente de obras similares.

La expresión de Manning se detalla a continuación:

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s

A: Área en m²

R: Radio hidráulico (A/P) en m

P: Perímetro mojado en m

S: Pendiente longitudinal en m/m

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Se estudian las calles más solicitadas del loteo:

Calle Nº	Cuenca Externa	Cuenca Interna	Perfil Tipo	Q ₁₀	Q ₁₀₀
				[m ³ /s]	[m ³ /s]
5	1	1	I	0.85	3.21
7		5	I	0.31	0.92
9		6	I	0.56	1.64
22	1, 2, 3, 4	1, 2	II	3.22	13.16
24	4	2	I	1.40	5.51
28		3	I	0.49	1.45
32		4	I	0.47	3.73

La ubicación de las calles se puede visualizar en la Ilustración 30

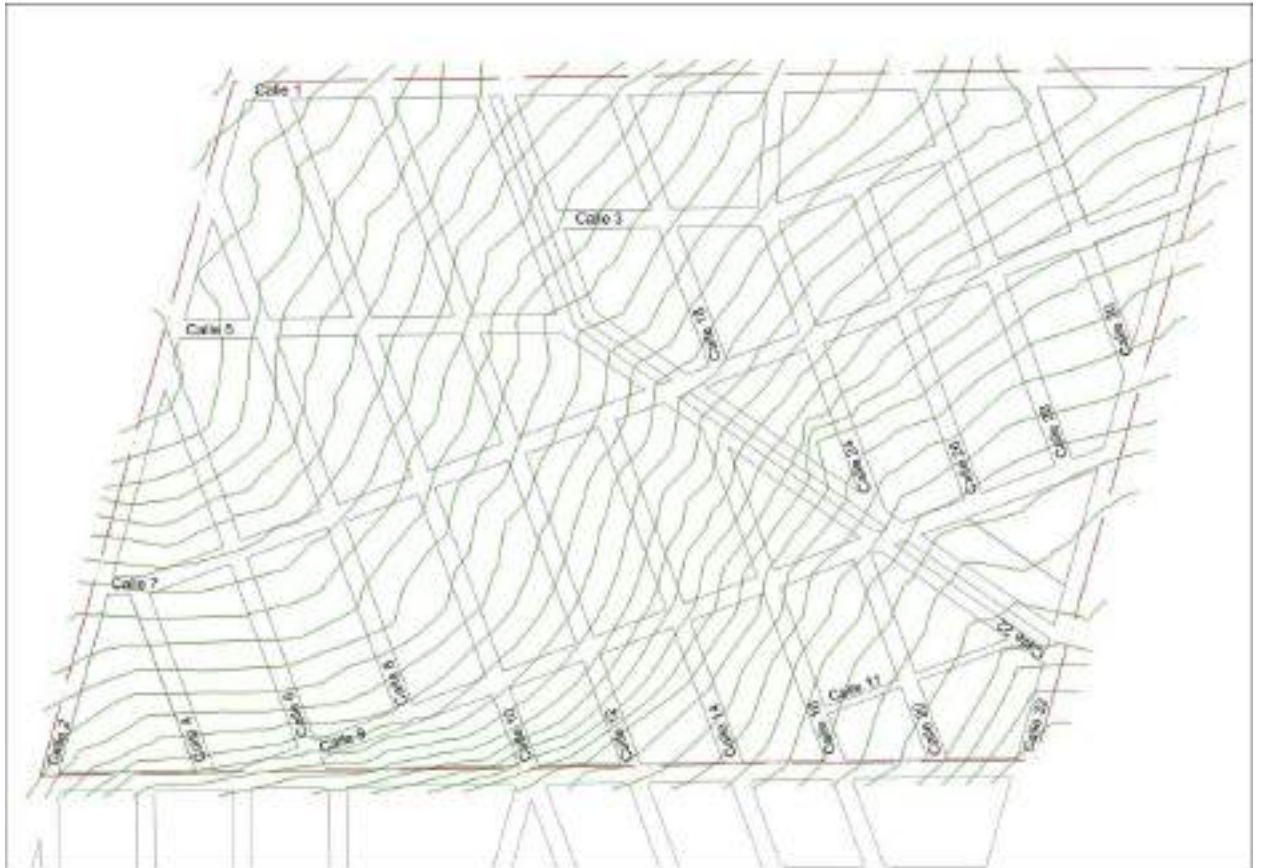


Ilustración 30: Denominación de Calles

En las Ilustraciones 31 y 32, se observan los perfiles tipo:

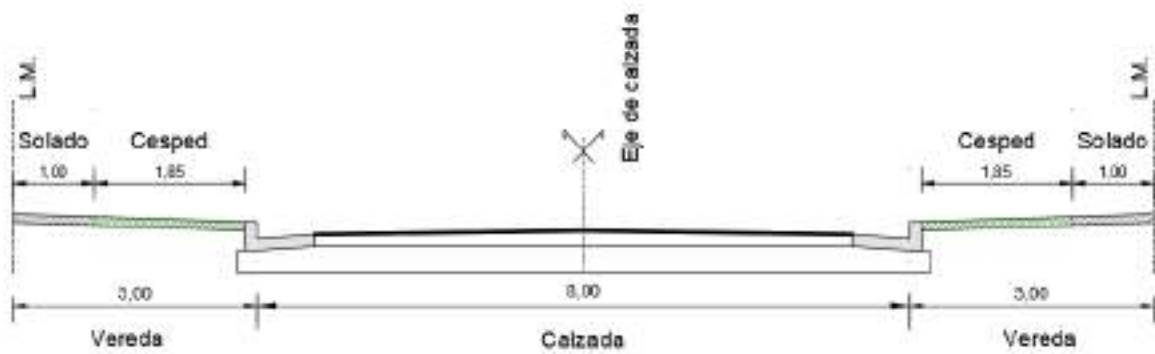


Ilustración 31: Perfil Tipo I

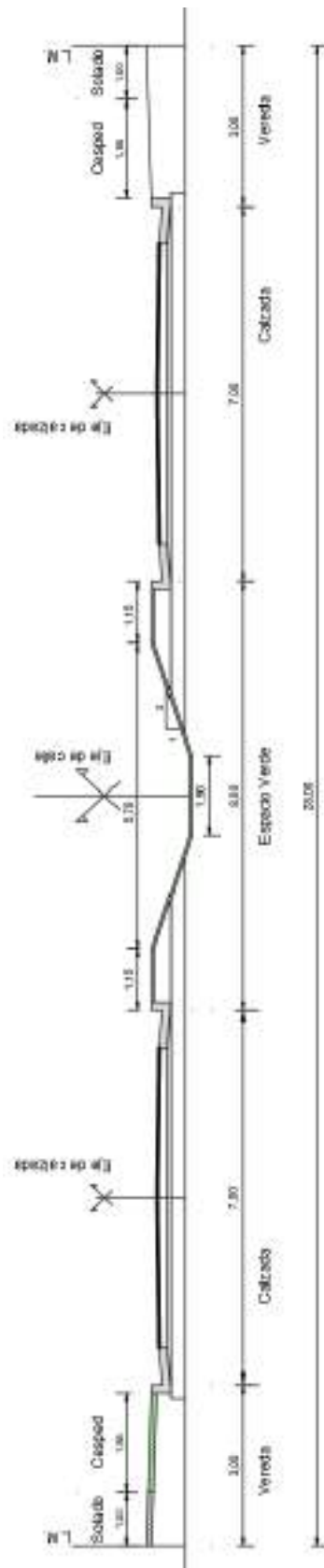


Ilustración 32: Perfil Tipo 2

Tabla resumen de escurrimientos en calles

Calle N°	Sub Cuenca		Perfil Tipo	Q(10)		Pendiente		Ancho [m]	h cordón [m]	Gálbo [%]	n Manning	y para Q ₁₀ [m]	Q cap [m ³ /s]	% de inundación	Verifica / Supera el cordón
	Interna	Externa		[m ³ /s]	[%]										
						[m]	[m]								
5	1	1	I	0,85	0,0108	1,08%	0,0108	8	0,15	2%	0,014	0,119	1,46	58,04%	Verifica
7	0	5	I	0,31	0,0089	0,89%	0,0089	8	0,15	2%	0,014	0,086	1,33	23,29%	Verifica
9	0	6	I	0,56	0,0081	0,81%	0,0081	8	0,15	2%	0,014	0,107	1,27	44,17%	Verifica
22*	1, 2, 3, 4	1, 2	II	3,22	0,0082	0,82%	0,0082	1,5	0,7	33%	0,03	0,671	4,31	74,69%	Verifica
24	4	2	I	1,4	0,0130	1,30%	0,0130	8	0,15	2%	0,014	0,141	1,61	87,07%	Verifica
28	0	3	I	0,49	0,0101	1,01%	0,0101	8	0,15	2%	0,014	0,098	1,42	34,59%	Verifica
32	0	4	I	0,47	0,0078	0,78%	0,0078	8	0,15	2%	0,014	0,101	1,25	37,69%	Verifica

* Solo se utiliza el canal central de la Calle 22

Calle N°	Sub Cuenca		Perfil Tipo	Q(100)		Pendiente		Ancho [m]	h cordón [m]	Gálbo [%]	n Manning	y para Q ₁₀₀ [m]	Q cap [m ³ /s]	% de inundación	Verifica / Supera el cordón
	Interna	Externa		[m ³ /s]	[%]										
						[m]	[m]								
5	1	1	I	3,21	0,01082	1,08%	0,01082	8	0,15	2%	0,014	0,217	14,37	22,34%	Verifica
7	0	5	I	0,92	0,00894	0,89%	0,00894	8	0,15	2%	0,014	0,128	13,06	7,04%	Verifica
9	0	6	I	1,64	0,00811	0,81%	0,00811	8	0,15	2%	0,014	0,169	12,44	13,18%	Verifica
22*	1, 2, 3, 4	1, 2	II	13,16	0,00824	0,82%	0,00824	1,5	0,7	33%	0,02	0,782	32,28	40,77%	Verifica
24	4	2	I	5,51	0,01304	1,30%	0,01304	8	0,15	2%	0,014	0,273	15,78	34,92%	Verifica
28	0	3	I	1,45	0,01012	1,01%	0,01012	8	0,15	2%	0,014	0,152	13,90	10,43%	Verifica
32	0	4	I	3,73	0,00784	0,78%	0,00784	8	0,15	2%	0,014	0,254	12,24	30,48%	Verifica

* Además del Canal Central de la Calle 22, descarga en calzada

2.9 Conclusiones

De acuerdo con los resultados de estudio, las medidas de regulación sobre los caudales producidos en el predio a urbanizar producen caudales máximos del orden de los producidos por el conjunto previo a la urbanización.

Los cuencos de retardo están diseñados para una lluvia que presenta una recurrencia de 25 años. Cuando se presentan eventos meteorológicos que están asociados a recurrencias de 100 años, comienzan a funcionar los vertederos superiores.

En cuanto a la red vial, no se superan los límites de inundación establecidos por la Secretaría de Recursos Hídricos, para función básica y para función complementaria.