

TRABAJO FINAL

Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional del Nordeste



PLAN DIRECTOR DE DRENAJE URBANO DE PASO DE LA PATRIA, CORRIENTES

DOCUMENTO PRINCIPAL

Autores:

Aquino Rolón, Pablo.

Goitia, Francisco.

Sottile, Fabrizio Lucas.

Tutor:

Dr. Ing. Pilar, Jorge V.

Año 2018

Índice

Resumen ejecutivo

Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	2
Resultados.....	4
Conclusiones.....	6

Capítulo 1:

1.1. Objetivos.....	9
1.2. Ubicación de la zona de estudio.....	9
1.3. Descripción del problema.....	11
1.4. Descripción de la zona de estudio.....	15
1.4.1. Clima.....	15
1.4.2. Geomorfología y topografía.....	17
1.4.3. Hidrografía	18
1.4.3.1. Ciudad de Paso de la Patria	20
1.4.4. Población	21
1.4.5. Actividades económicas	22
1.5. Situación actual	22
1.6. Necesidad del Plan director	25

Capítulo 2: Topografía

2.1. Introducción.....	27
2.2. Datos Topográficos.....	27
2.3. Procesamiento de la información y resultados.....	30

Capítulo 3: Delimitación y caracterización de las cuencas

3.1. Delimitación de cuencas.....	33
-----------------------------------	----

Capítulo 4: Determinación de los datos y parámetros hidrológicos

4.1. Determinación de los datos y parámetros hidrológicos.....	38
4.1.1. Método adoptado para las abstracciones de las precipitaciones.....	43
4.2. Estimación de la impermeabilidad futura.....	45
4.3. Determinación del Tiempo de concentración de las cuencas.....	50
4.4. Determinación de la lluvia de diseño.....	53

Capítulo 5: Simulación hidrológica

5.1. Generalidades.....	55
5.2. Características del modelo.....	55
5.3. Datos utilizados para la simulación.....	55
5.3.1. Módulo de precipitación.....	55
5.3.2. Módulo de cuenca.....	56
5.3.3. Módulo de control.....	56
5.4. Resultados.....	57
5.4.1. Resultados de un evento de diseño de 5 años de tiempo de recurrencia	57

5.4.2. Resultados de un evento de diseño de 10 años de tiempo de recurrencia62

Capítulo 6: Soluciones propuestas

6.1. Introducción.....	63
6.2. Defensa contra inundaciones.....	63
6.2.1. Estudio estadístico.....	63
6.2.2. Cota de diseño adoptada para la defensa.....	64
6.2.3. Traza de sugerida para la defensa.....	64
6.3. Áreas anegables para una tormenta de diseño de 5 años de TR.....	66
6.4. Intervenciones propuestas por cuencas.....	67
6.4.1. Canales.....	67
6.4.2. Reservorios y caudales de bombeo	71
6.5. Modelado Hidráulico.....	75
6.5.1. Generalidades del modelo utilizado	75
6.5.2. Implementación del modelo	75
6.5.3. Conclusiones	81
6.5.3.1. Reservorios y caudales de bombeo adoptados	81
6.6. Selección de bombas.....	82
6.7. Compuertas.....	84
6.8. Resumen de las intervenciones a realizar.....	86

Capítulo 7: Recomendaciones

7.1. Introducción.....	88
7.2. Plan de mantenimiento y limpieza del sistema pluvial.....	88
7.3. Sugerencias en el planeamiento urbano.....	90
7.4. Criterios a tener en cuenta en la realización del proyecto ejecutivo	93

Bibliografía.....	94
--------------------------	-----------

Agradecimientos

A los ingenieros Alejandro Ruberto y Carlos Depettris, docentes de la cátedra Trabajo Final de la carrera de ingeniería civil de la UNNE, quienes nos acompañaron desde la concepción desde este trabajo hasta su finalización.

A nuestro tutor Dr. Ing. Jorge Pilar por su continua ayuda y su excelente predisposición para contestar nuestras consultas, además de su calidad humana.

Al intendente de la localidad de Paso de la Patria, Arq. Guillermo Osnaghi, por recibirnos cordialmente y tomarse la molestia de explicarnos las problemáticas de la ciudad, además de facilitarnos los datos topográficos.

Al Ing. Néstor Iván Holsbach por ayudarnos a comenzar el trabajo y por sus útiles consejos para el análisis de imágenes satelitales.

Al Ing. Guillermo Méndez por su paciencia y su ayuda en la modelación hidrológica e hidráulica.

Por último, a la Facultad de Ingeniería de la UNNE por brindarnos el ámbito para capacitarnos y formarnos, tanto como ingenieros como también seres humanos para poder insertarnos productivamente en la comunidad.

Resumen ejecutivo

Introducción

El presente trabajo consiste en la elaboración del Plan Director de Drenaje Urbano de la ciudad de Paso de la Patria, ubicada en el departamento de San Cosme al norte de la provincia de Corrientes.

Paso de la Patria es una ciudad turística en expansión que se encuentra en el valle de inundación del río Paraná, por lo que se ve anegada de manera periódica por las crecidas de dicho curso.

Es por ello que en los últimos años se han realizado algunas obras de defensa que proponen una solución parcial al problema, las cuales representan un obstáculo al libre escurrimiento de los excesos pluviales. En consecuencia, las áreas cercanas son propensas a inundarse ante precipitaciones de mediana magnitud.

Del mismo modo, existen otras zonas bajas que también sufren anegamientos y representan una molestia para la población, sobre todo por dificultar la circulación.

El Plan Director permite estudiar el escurrimiento natural, relacionando las cuencas y subcuencas, a fin de proponer distintas soluciones al problema de las inundaciones y su compatibilidad con la expansión urbana; por tanto, representa una herramienta fundamental para el análisis y elaboración de proyectos de obras hidráulicas y planeamiento urbano, constituyendo un documento de valor político importante.

Materiales y métodos

Topografía y caracterización de las cuencas

El estudio topográfico consiste en una técnica que se utiliza para describir y representar en un plano las características del terreno. De esta manera se pueden establecer perfiles transversales, pendientes del terreno, definir los sentidos de escurrimientos y los límites de las cuencas y sub-cuencas; siendo esto fundamental para la elaboración del trabajo.

Gran parte de los datos topográficos utilizados fueron facilitados por la Municipalidad de la ciudad de Paso de la Patria a través de planos catastrales y altimetrías en formato digital.

Para las zonas sin datos el equipo realizó un relevamiento topográfico complementario y se optó, para las zonas de difícil acceso, por la extrapolación de determinados puntos mediante el uso de programas computacionales especializados.

Contando con los datos necesarios se obtuvieron las curvas de nivel a través del uso del programa SURFER utilizando el método de Kriging, generando también un modelo digital del terreno de la ciudad a fin de tener una idea rápida de la forma del terreno.

Conociendo las planialtimetría a lo largo de la localidad, se definieron los macrosistemas de escurrimiento junto a sus correspondientes cuencas y sub-cuencas, obteniéndose dos sistemas: Paraná y Huajó, abarcando el primero siete cuencas (P-1 a P-7) y el segundo nueve (H-1 a H-9) y a su vez se subdividieron tres cuencas del sistema Paraná en sub-cuencas (P-2, P-4 y P-6).

Determinación de los parámetros hidrológicos

Para determinar los caudales de diseño por cuenca es necesario la determinación de los parámetros hidrológicos de cada una de ellas, englobando los usos del suelo, los tiempos de concentración y las características de la lluvia de diseño.

Se tuvieron en cuenta las abstracciones de las precipitaciones y para ello se utilizó el método de la curva número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, por sus siglas en inglés).

Como el mismo tiene en cuenta la impermeabilidad de las cuencas, se realizó una caracterización de los usos del suelo a través de un análisis supervisado de imágenes satelitales empleando un programa de procesamiento SIG.

Los tiempos de concentración se determinaron a partir de varias fórmulas a fin de compararlas y se optó por trabajar con la fórmula de onda cinemática debido a que es la que mejor se adaptaba a la situación de Paso de la Patria, teniendo en cuenta que en la localidad no existe un sistema de drenaje pluvial bien definido y que muchos lotes no se encuentran directamente conectados a él, por lo que el flujo en superficie se considera predominante.

Por último, para obtener las lluvias de diseño se recurrieron a las curvas intensidad-duración-frecuencia del área metropolitana del Gran Resistencia, debido a su confiabilidad y por estar en la misma zona de meteorología homogénea.

Se adoptaron tiempos de recurrencia de 5 y 10 años, recomendados para este tipo de diseño. Luego, se recurrió al método de los bloques alternos para obtener los hietogramas correspondientes.

Estudio de crecientes del río Paraná

Se utilizó el análisis de frecuencias realizado en el estudio “Anteproyecto de defensas de Paso de la Patria - Corrientes” (Anonis, Arengo y Rivas, 2.017), el cual se basó en dos series de máximos anuales: una de alturas y otra de caudales, para el período 1.963 – 2.014, ya que en el mismo se refleja mejor el comportamiento actual del río, en comparación a la serie 1.904 – 2.014, según explica dicho trabajo.

Como resultado, los autores obtuvieron las alturas del río asociadas a 5, 10, 20, 50 y 100 años de recurrencia, entre otros. Esto se utilizó para encontrar la cota de diseño más adecuada para una defensa contra inundaciones, teniendo en cuenta la topografía de la zona y el área total que se recuperaría mediante la implementación de las obras.

Simulación hidrológica e hidráulica para proposición de soluciones

Se trabajó con el modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System) para la simulación hidrológica a fin de determinar los hidrogramas de salida de cada una de las cuencas, para luego dimensionar los componentes hidráulicos del sistema de drenaje propuesto.

La simulación hidráulica se realizó a través del programa EPA-SWMM (Modelo de Gestión de Aguas Pluviales, según sus siglas en inglés, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

Esta herramienta informática permite el manejo de redes de flujo sin limitaciones de tamaño o forma y permite la elección del régimen hidráulico a trabajar, como también

la introducción de reglas de funcionamiento para el control de encendido de las bombas.

Resultados

Topografía y caracterización de las cuencas

Se identificaron dos sistemas de escurrimiento, uno con pendiente hacia el río Paraná y otro hacia el arroyo Huajó, abarcando un total de dieciséis cuencas, para las cuales se obtuvieron los parámetros básicos como:

- Área (km² o ha)
- Mayor recorrido dentro de la cuenca (m)
- Pendiente (%)
- Desnivel (m)

Las áreas y las pendientes quedaron comprendidas en un rango de 34,3 a 125,5ha y de 0,16 % a 1,27%, respectivamente.

Determinación de los parámetros hidrológicos

Se clasificó el uso del suelo según los distintos usos del suelo para todas las cuencas, según:

- Calles pavimentadas (%)
- Calles de tierra o suelo desnudo compactado (%)
- Edificaciones (%)
- Arboledas (%)
- Pastizales (%)

A partir de estos se estimaron las curvas número (CN) de cada cuenca para una situación futura a 20 años, realizando un promedio ponderado. Se obtuvieron valores de CN de 55 a 68 para una condición húmeda (III) futura.

En cuanto a las tormentas de diseño, se obtuvieron dos precipitaciones de dos horas de duración cada una, con volúmenes de precipitación de 85,3 y 96,4mm para las tormentas de 5 años y 10 años de tiempo de recurrencia, respectivamente.

Modelación hidrológica

A través del modelado se obtuvo para cada cuenca:

- Hidrogramas de salida
- Caudal pico (m³/s)
- Volumen total de escorrentía (m³)
- Caudal pico unitario – qp (m³/s.ha)

Los caudales pico y los volúmenes de escorrentía se situaron en un rango de 1,2m³/s a 3,8m³/s y de 4.200m³ a 25.100m³, respectivamente, para la tormenta de 5 años de recurrencia.

Asimismo, para la lluvia de 10 años se obtuvieron caudales de 1,6 a 4,8m³/s y volúmenes de 5.400 a 32.000m³.

Propuesta de defensa

Se propuso una traza de defensa contra inundaciones de 9km de longitud con una cota de diseño de 51,76m (IGN), calculada para una crecida del río Paraná de 20 años de recurrencia. La elección se basó en el hecho de que una altura mayor sería incompatible con las actividades económicas de Paso de la Patria, teniendo en cuenta que esta localidad atrae gran cantidad de turistas debido a sus balnearios y vistas al río.

Con esta obra se logra proteger 250ha ante la ocurrencia de la inundación de diseño. No obstante, se trata de una defensa abierta que permitirá el anegamiento de 110ha en la zona este de la ciudad para el mismo evento. Esto decidió teniendo en cuenta que se trata de zonas prácticamente deshabitadas y se logra de esta manera reducir la longitud de la defensa.

Identificación de zonas anegables

Utilizando los volúmenes de escorrentía obtenidos a partir de la modelación y la información topográfica se identificaron las zonas anegables para la situación con defensa ante la ocurrencia de la precipitación de 5 años de recurrencia, abarcando un área total de 105ha.

Red de drenaje propuesta y dimensionamientos de los elementos hidráulicos

Se propusieron una serie de canales y conductos directrices para drenar cada una de las cuencas.

Asimismo, también se sugirió la implementación de reservorios como estructuras de detención, los cuales ayudan a atenuar los hidrogramas de salida.

Por último, se indicaron las bombas necesarias para cada uno de los embalses.

En síntesis, se obtuvo para cada cuenca:

- Longitud de cada tramo de los canales (m)
- Sección de cada tramo de los canales (m²)
- Volumen de los reservorios (m³)
- Caudal de bombeo (m³/s)

Los volúmenes de los reservorios pertenecientes al sistema del arroyo Huajó y al del río Paraná se situaron en un rango de 4.082 a 13.391m³ y de 8.680 a 16.300m³ respectivamente.

Por otro lado, los caudales de bombeo calculados para cada uno de los embalses fueron de 0,25 a 2m³/s, siendo las potencias de las bombas de 55 a 375kw.

Modelado hidráulico

Se pudo comprobar un funcionamiento óptimo de la red de drenaje propuesta para la lluvia de recurrencia de 5 años; asimismo se pudo verificar una condición aceptable para el evento de TR = 10 años ya que sólo se producen anegamientos en dos cuencas por períodos menores a una hora y con volúmenes tolerables: en la H-4 de 55 minutos de duración y 1.464m³ de volumen de inundación y en la P-5 de 22 minutos y 393m³ de volumen de inundación.

Conclusiones

Las obras sugeridas permiten proteger 250ha ante una crecida del río Paraná de 20 años de recurrencia, como también evitar el anegamiento de 105ha para una lluvia de diseño de 5 años, representando 25% y 10,5% del área total en estudio, respectivamente.

Asimismo, al asegurar un drenaje adecuado de las zonas urbanizadas, prometen disminuir las molestias generadas por las precipitaciones en la población y los turistas en cada una de las dieciséis cuencas.

Por otro lado, se establecieron una serie de recomendaciones para el mantenimiento y limpieza del sistema pluvial, como también sugerencias para el código de planeamiento urbano. Esto último con el objeto de constituir pautas para la ocupación del suelo, teniendo en cuenta una zonificación de las áreas de peligro como medida no estructural.

Asimismo, se propusieron posibles usos alternativos de los reservorios en época de estiaje, por ejemplo, áreas de recreación, de modo de lograr una integración sostenible de las obras de ingeniería con la traza urbana generando un enriquecimiento visual, estético y social.

Por lo expuesto anteriormente, se recomienda la consideración del presente estudio como base para la realización de futuros proyectos de pavimentación y obras hidráulicas y para el planeamiento urbano; resultando claro que al realizar los proyectos ejecutivos para cada una de las cuencas es probable que los mismos difieran con las soluciones propuestas en el Plan Director, pero sin afectar los lineamientos generales del mismo.

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Objetivos

La elaboración del Plan Director de Drenaje Urbano tiene como finalidad asegurar un crecimiento sustentable de la parte urbanizada de Paso de la Patria y de los recursos de la región teniendo en cuenta un criterio hidrológico, tratando de minimizar las pérdidas económicas.

Asimismo, se busca identificar y analizar las zonas anegables de la ciudad de Paso de la Patria para proponer soluciones a la problemática de las inundaciones originadas por precipitaciones intensas, ya sea en forma de medidas estructurales o no estructurales.

1.2 Ubicación de la zona de estudio

La localidad de Paso de la Patria se encuentra a orillas del río Paraná, sobre su margen derecho, en el departamento de San Cosme, al noroeste de la provincia de Corrientes, ubicada en la región mesopotámica de la República Argentina como se puede observar en las figuras 1.1 y 1.2 (ver también plano n°1).



Figura 1.1 Ubicación de la provincia de Corrientes (Fuente: Instituto Geográfico Nacional-www.ign.gov.ar).

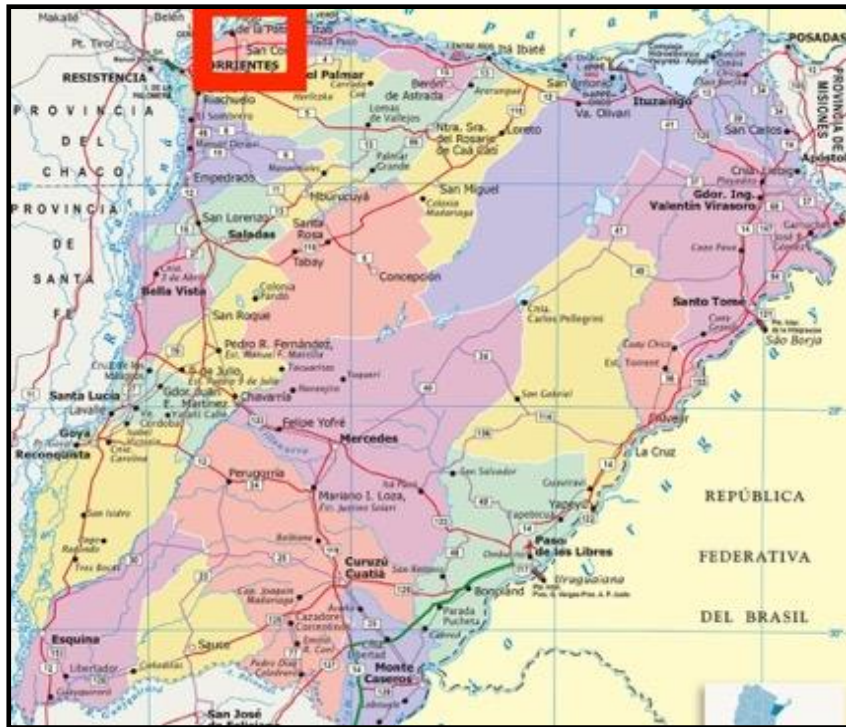


Figura 1.2. Ubicación de la provincia de Corrientes (Fuente: Instituto Geográfico Nacional-www.ign.gov.ar).

Dentro de la ciudad, la zona a estudiar es aquella que se encuentra limitada al norte por el río Paraná y al sur por el arroyo Huajó, abarcando una superficie de 1000 hectáreas aproximadamente (figura 1.3). La elección se basa en el hecho de que es el área donde se halla asentada la mayor parte de la población y donde se prevé que se expandirá la ciudad, considerando un horizonte de tiempo de 20 años.

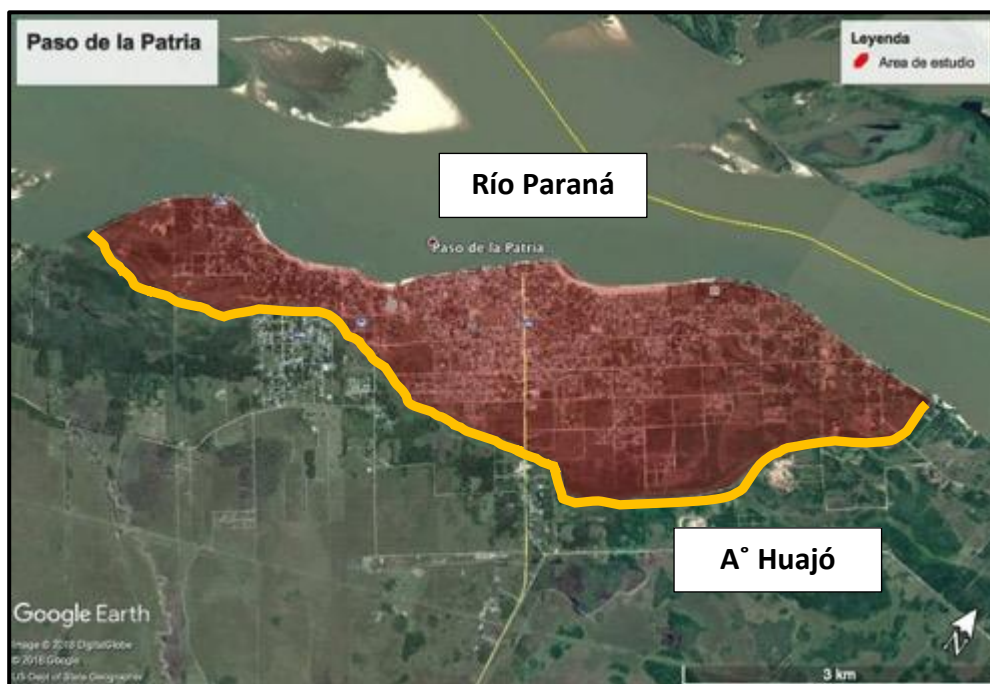


Figura 1.3. Zona de estudio (Fuente: elaboración propia en base a imágenes de Google Earth).

1.3 Descripción del problema

La ciudad de Paso de la Patria fue fundada a orillas del río Paraná, situándose en un terreno bajo que forma parte de su valle de inundación.

A su vez, la localidad se encuentra rodeada por el arroyo Huajó, siendo el mismo un sistema de desagüe natural de la ciudad (figura 1.4). Este último posee la característica de que su caudal depende del río mencionado, por lo que en épocas de crecida produce el anegamiento de las zonas vulnerables (Anonis, Arengo y Rivas, 2017).



Figura 1.4. Ubicación del arroyo Huajó con respecto a la ciudad (Fuente: producción propia en base a imágenes de Google Earth).

En esta localidad se ha producido un avance de la urbanización en los últimos años, sin tener en cuenta un correcto drenaje pluvial, ni las consecuencias que implica la ocupación de áreas bajas.

A raíz de ello, muchas zonas habitadas son propensas a inundarse ante la ocurrencia de eventos de precipitación de mediana magnitud.

En las figuras siguientes se puede observar el crecimiento de la ciudad desde el año 2006 hasta el 2017 (figuras 1.5 y 1.6), como así también la ocupación de áreas propensas a inundarse (figuras 1.7 a 1.9).

De este modo, se puede concluir que el crecimiento y la planificación urbana no han sido regidas por un criterio hidrológico.



Figura 1.5. Paso de la Patria en el año 2006 (Fuente: Google Earth).

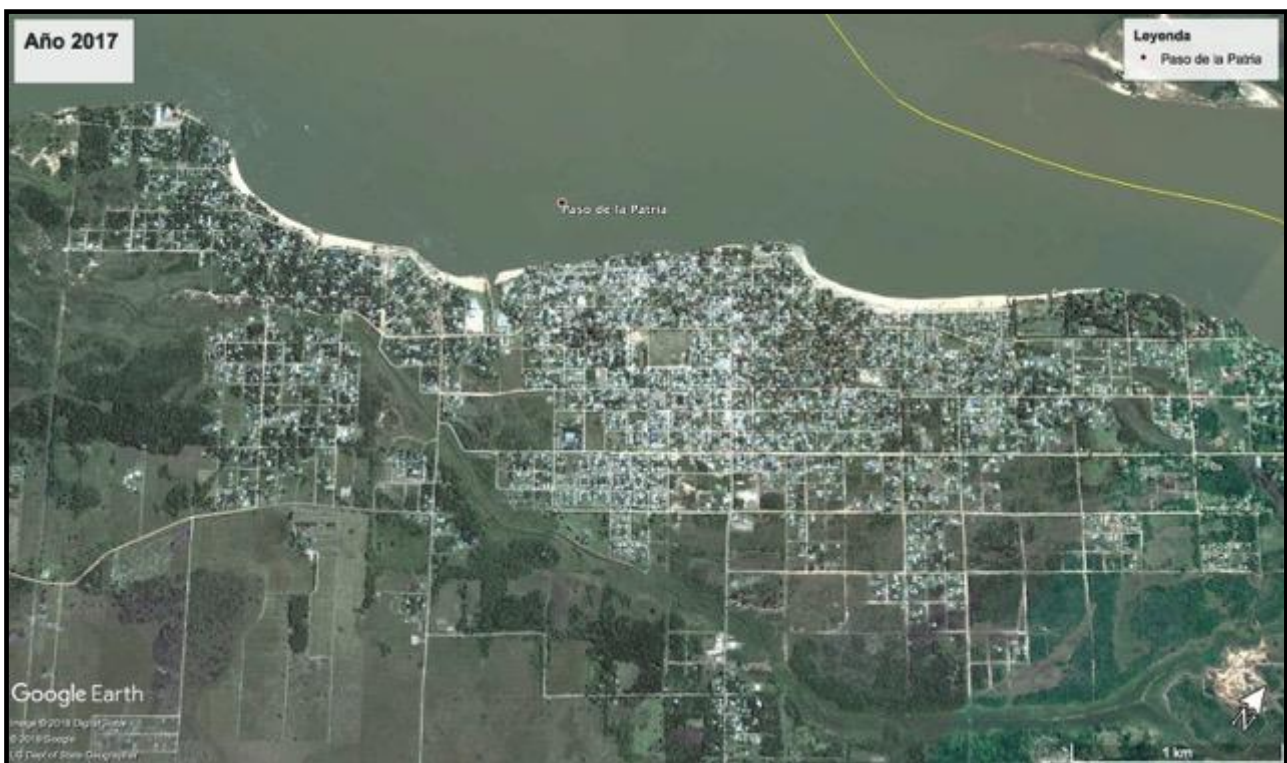


Figura 1.6. Paso de la Patria en el año 2017 (Fuente: Google Earth).

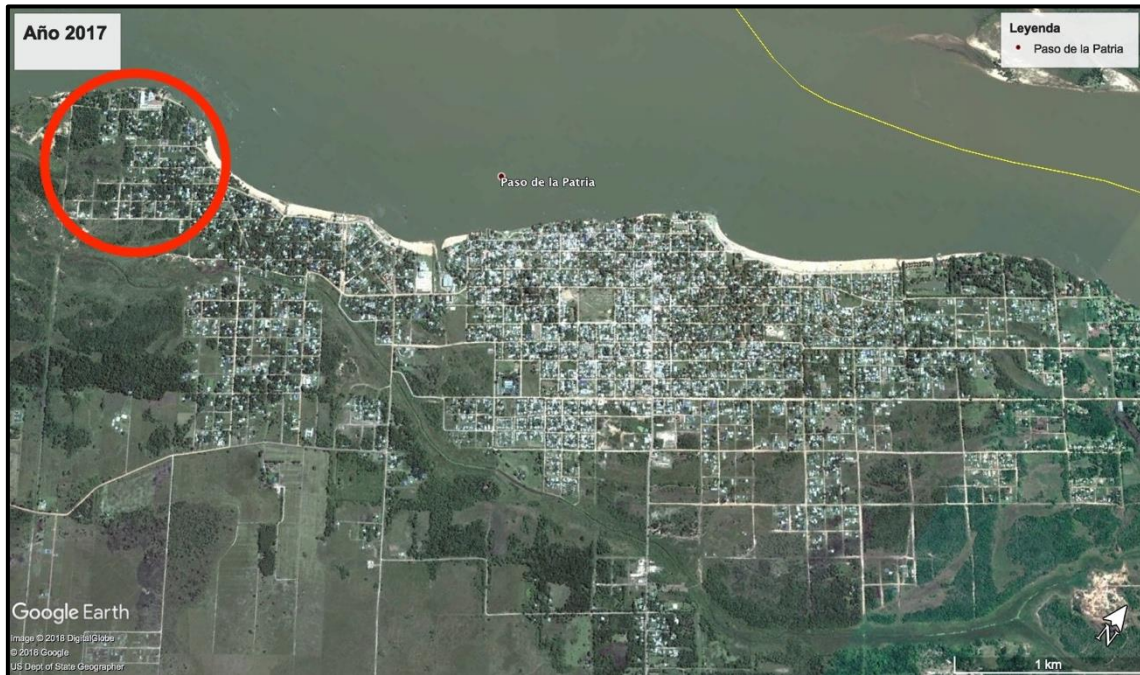


Figura 1.9. Crecimiento de la ciudad en zonas inundables (Fuente: producción propia en base a imágenes de Google Earth).



Figuras 1.8 y 1.9. Crecimiento de la ciudad en zonas inundables (Fuente: Google Earth).

Debe tenerse en cuenta que esta urbanización genera una alteración de los sistemas naturales de escurrimiento y por tanto una de las consecuencias más importantes que interfieren con el drenaje urbano es la modificación del escurrimiento superficial directo debido a la impermeabilización del suelo, lo cual trae aparejado la reducción del tiempo de concentración de la cuenca y el aumento del caudal pico. En casos extremos, puede llegar a haber un aumento del caudal erogado de hasta 6 veces, como se puede apreciar en la figura 1.10 (Tucci, 2001).

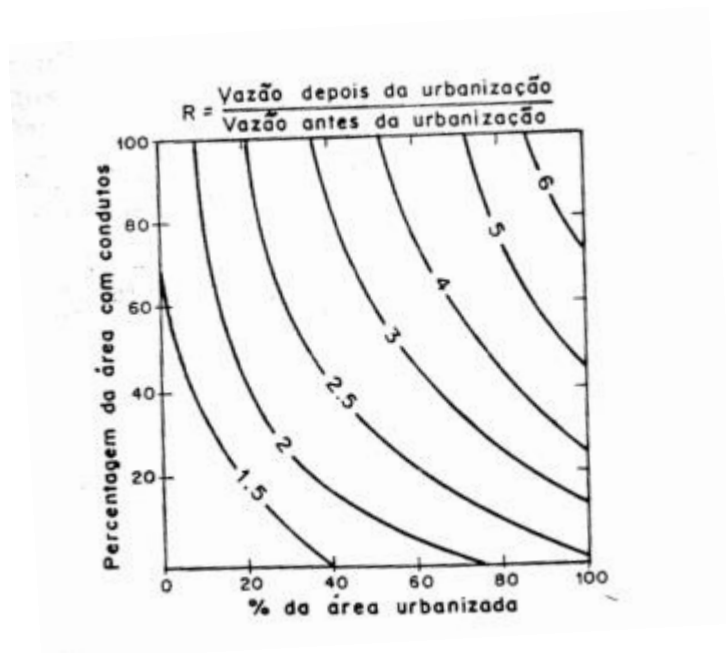


Figura 1.10. Efecto de la urbanización sobre el caudal erogado
(Fuente: Leopold, 1965)

Otro problema producido a raíz de este fenómeno es la contaminación del recurso hídrico, que se produce por:

- Generación de residuos sólidos urbanos que son conducidos hasta los cuerpos receptores.
- El lavado de superficies urbanas que acarrea el material contaminante a través de los sistemas de drenaje.
- El aporte de líquidos cloacales al sistema de drenaje, cuando no existe una red colectora. (Giménez y Bergman, 2003)

Hall sintetiza los problemas que genera la urbanización desde el punto de vista hidrológico en el siguiente esquema (figura 1.11).

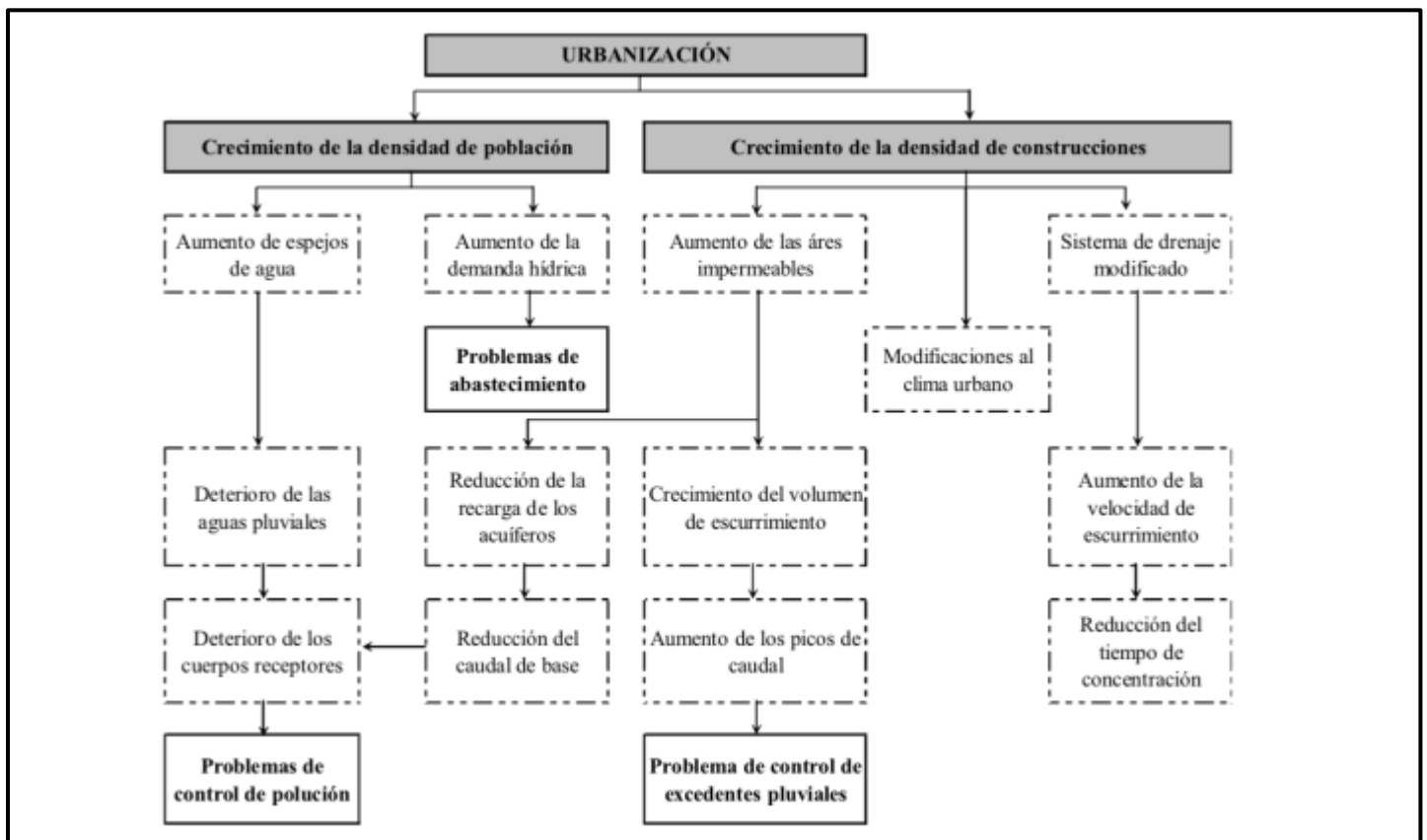


Figura 1.11. Efectos provocados por la urbanización (Fuente: Hall, 1986).

Por otro lado, hay que destacar que las inundaciones periódicas a las que se ve sometida Paso de la Patria debido a las crecidas del río Paraná dificultan el drenaje por gravedad de los excesos pluviales, empeorando el problema en dichas circunstancias.

Todo lo anterior indica que se precisa un estudio detallado de los sistemas naturales de escurrimiento y de la interacción existente entre ellos, como así también del impacto que tendrá la urbanización en el área de estudio desde el punto de vista hidrológico. Ello servirá como herramienta para la planificación urbana y para el diseño de obras hidráulicas, constituyendo un documento de valor técnico y político importante.

1.4 Descripción de la zona de estudio

1.4.1 Clima

Corrientes a pesar de caracterizarse por ser una provincia llana tiene una asimetría en el sector oriental y el occidental. Como consecuencia se tiene tres tipos de climas, predominando en el noroeste el subtropical sin estación seca, en el noreste el subtropical semi-húmedo, mientras que el sur tiene un clima templado-húmedo debido a su proximidad con la región pampeana.

La temperatura media anual de la provincia ronda los 20° C, siendo los veranos muy cálidos, con temperaturas máximas absolutas que alcanzan los 48° C y los inviernos templados-fríos con temperaturas mínimas registradas de -6° C, siendo las heladas muy poco frecuentes. (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional).

La provincia se ve afectada por los vientos cálidos del norte provenientes del Brasil, los vientos fríos y secos del pampero originarios de la Patagonia y también por los vientos templados derivados del mar argentino y la sudestada.

La combinación de los factores mencionados conlleva a que las precipitaciones disminuyan de sentido noreste a sudoeste, teniendo en las zonas próximas al río Uruguay precipitaciones medias anuales que varían entre los 1300 y los 1600 mm, mientras que en las cercanas al Paraná las precipitaciones medias anuales que no superan los 1300 mm. (Fuente: Geográfica. Revista del Instituto de Geografía. 1997)

En particular, Paso de la Patria al estar al noroeste de la provincia tiene un clima subtropical sin estación seca, teniendo temperatura media de 20° C y con mayores precipitaciones en los meses cálidos, variando las medias anuales entre 1200 y 1300 mm.

A modo de referencia, se presenta en la figura 1.12 una planilla que representa las condiciones medias para la ciudad de Corrientes. Recordemos que no sólo se encuentra próxima a Paso de la Patria, sino que pertenecen a una misma región de meteorología homogénea.

ESTACION: Corrientes		LATITUD: 27° 27' S												LONGITUD: 58° 46' W												ALTITUD: 62 Mts.											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANO																							
Precipitación	Mm	139	121	135	144	94	49	50	40	71	128	131	132	1234																							
Temp. media diaria	°C	27,4	26,7	24,9	20,9	18,6	16	15,7	17,1	19,2	21,5	24	26,5	21,5																							
Temp. máxima media	°C	33,6	32,5	30,4	26,2	23,6	20,6	20,9	22,9	25,1	27,3	32	32,9	27,3																							
Temp. mínima media	°C	21,3	20,9	19,5	15,6	13,6	11,4	10,5	11,3	13,3	15,7	18	20,1	15,9																							
Temp. media diurna	°C	29,6	28,7	26,8	22,8	20,4	17,6	17,6	19,2	21,4	23,6	27,6	28,9	23,7																							
Temp. media nocturna	°C	24,7	24,1	22,6	18,7	16,7	14,3	13,9	15,2	17,4	19,8	23	24,7	19,6																							
Tensión del vapor	Mb	23,9	24,1	22,8	19	17,4	15,5	13,9	13,4	15,5	17,8	19,8	21,8	18,7																							
Veloc. media del viento	m/seg	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	1,7	1,7	2	2,2	2	2	1,7	1,7																							
Insolación diaria	%	66	66	63	61	60	48	57	63	55	60	68	66	61																							
Radiación solar	Cal/día	559	519	435	347	276	212	248	319	362	454	551	565	404																							
Evapotranspiración	Mm	170	136	117	75	50	32	41	68	89	120	156	173	1227																							

Figura 1.12. Condiciones medias para la ciudad de Corrientes (Fuente: Geográfica. Revista del Instituto de Geografía. 1997).

Por otro lado, se aprecia en la figura 1.13 un plano de isohietas e isotermas de la provincia de Corrientes para los períodos 1921-1950 y 1941-1980, respectivamente.

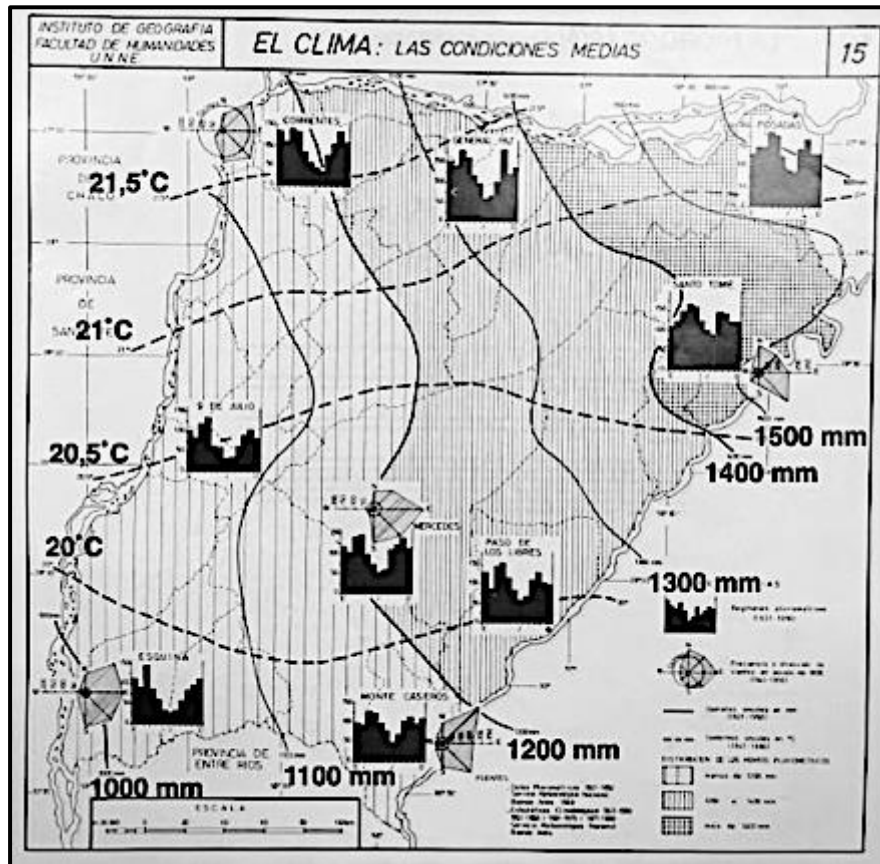


Figura 1.13. Isohietas e isotermas de la provincia de Corrientes (Fuente: Geográfica. Revista del Instituto de Geografía. 1997).

1.4.2 Geomorfología y topografía

“La provincia de Corrientes forma parte de una cuenca sedimentaria muy antigua, es decir, de un relieve de plataforma con cobertura sedimentaria, transformado en una extensa llanura que se prolonga hacia el oeste y sur del territorio.

Topográficamente tiene baja amplitud de relieve (unos 200 metros entre sus cotas extremas: 220 y 20 metros, en los extremos nordeste y sudoeste, respectivamente), y una energía de relieve baja a muy baja, predominando el aspecto de extensas planicies en el oeste y suaves colinas en el este” (Popolizio, 1972).

En el caso de la ciudad de Paso de la Patria, se presentan cotas de altimetría entre 49 m y 58 m aproximadamente, según el sistema de referencia del IGN.

“Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Corrientes puede subdividirse en ocho zonas con sus respectivas características geomorfológicas bien definidas” (citado por Anonis, Arengo y Rivas, 2017).

1. Albardón y planicie del Paraná.
2. Lomadas arenosas, planicies y depresiones.
3. Colinas y llanuras onduladas del noreste.
4. Depresión Iberiana.

5. Malezas del Iby-bai.
6. Cuchillas mesopotámicas.
7. Valle actual del río Paraná
8. Terrazas del río Uruguay.



Figura 1.14. Mapa de zonas geomorfológicas de la provincia de Corrientes (Fuente: INTA, recuperado de “Anteproyecto de defensas de Paso de la Patria – Corrientes”)

Como puede verse en la figura 1.14, Paso de la Patria se ubica en la zona 1 – albardón y planicie del Paraná.

“Se trata de una zona de relieve plano con escasa pendiente hacia el sur, dominada por áreas deprimidas de deficiente drenaje (bañados, esteros y cañadas), alternando con lomadas de textura arenosa y baja fertilidad. Los suelos son en su mayoría ácidos, de franco-arenosos a franco-arcillo-limosos y con drenaje imperfecto” (Fuente: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-zonas-agroeconomicas-homogeneas-corrientes.pdf>).

1.4.3 Hidrografía

En la provincia de Corrientes se destacan dos grandes cuencas hidrográficas: la del río Paraná y la del Uruguay. Los ríos Santa Lucía, Corrientes y Guayquiraró se encuentran entre los principales afluentes del primero dentro de la provincia, mientras que el Miriñay y el Mocoretá son tributarios del segundo (figura 1.15).



Figura 1.15. Principales ríos de la provincia de Corrientes (Fuente: elaboración propia a partir de mapas del IGN).

Siendo que Paso de la Patria se encuentra a orillas del Paraná, nos enfocaremos más en sus características.

“El río Paraná se encuentra dentro de la cuenca del río de la Plata, de aproximadamente 3.200.000 km² de superficie, y es el afluente más importante de la misma. Este nace en la sierra de Mantiqueira (Brasil) y en su recorrido total posee aproximadamente 4.880km de longitud, y su ancho llega a superar los 10km en algunos tramos. En su desembocadura, el Paraná forma un delta de 5.000 km²” (Jaime P. & Menéndez A. 1997. Recuperado de “Anteproyecto de defensas de Paso de la Patria – Corrientes”).

“El Paraná mediante todo su recorrido presenta una dirección predominante de norte a sur, y se lo puede separar en tres tramos que poseen características diferentes durante toda su longitud (Figura 1.16). El primer tramo es aquel que denominamos como Alto Paraná, que va desde su nacimiento en Brasil hasta la confluencia con el río Paraguay. En este trayecto el río se comporta como un río de meseta, el cual fluye sobre un lecho rocoso, entre barrancas que se van distanciando entre sí. En el segundo tramo, conocido como Paraná Medio, el río toma una notable dirección norte-sur al pasar la ciudad de

Corrientes hasta alcanzar la ciudad de Diamante, provincia de Entre Ríos. Aquí el río presenta características de un río de llanura, con gran cantidad de meandros, islas fluviales y bancos de arena. Finalmente, el Paraná toma una trayectoria hacia el sur-este hasta desembocar en el Río de la Plata. A este último tramo se lo conoce como "Paraná inferior". (Jaime P. & Menéndez A. 1997. Recuperado de: "Anteproyecto de defensas de Paso de la Patria – Corrientes").

Entre los principales afluentes de este río se encuentran el Paraguay, el Salado del Norte, el Carcarañá, Arrecifes e Iguazú. Entre estos, se destaca el Paraguay como mayor afluente.



Figura 1.16. Cuenca del Paraná y distintos tramos del río. (Fuente: Anonis, Arengo y Rivas, 2017).

1.4.3.1 Ciudad de Paso de la Patria

El área de estudio se encuentra próxima a la confluencia del río Paraguay con el Paraná, presentando este último un caudal módulo del orden de los 17.000 m³/s en la sección de control Corrientes, para el período 1904-1994 (Fuente: Geográfica. Revista del Instituto de Geografía. 1997).

Debido a sus crecidas, el Paraná ocasiona serias inundaciones, siendo una de la más severas la correspondiente al año 1983, en la cual el caudal alcanzó los 60.000 m³/s aproximadamente (figura 1.17).

El arroyo Huajó es también una parte importante dentro del sistema hidrológico al cual pertenece la localidad en cuestión.

La cota de su pelo de agua depende en gran medida de la altura que presenta el Paraná, por lo que en momentos de grandes avenidas el agua ingresa tanto por la embocadura del arroyo al norte como por su desembocadura al sur, alterando la descarga normal del arroyo en el río (Anonis, Arengo y Rivas, 2017).

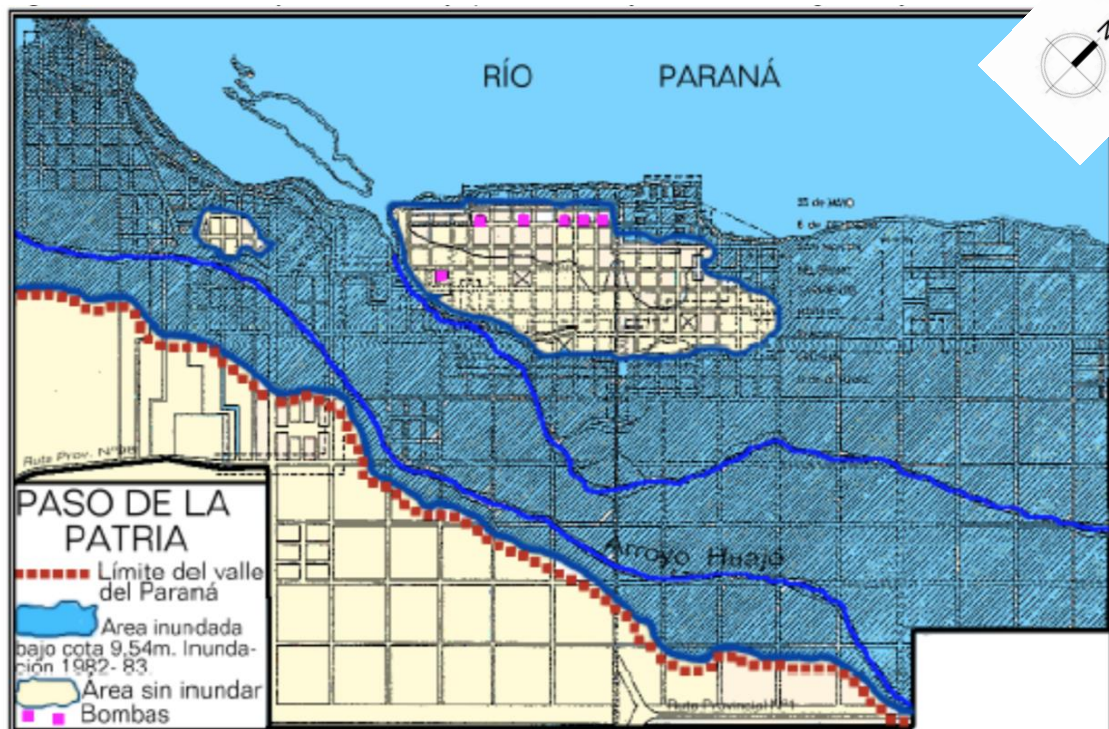


Figura 1.17. Área inundada en la crecida del año 1982-1983. (Fuente: Serra, 2001).

1.4.4 Población

Siguiendo los datos obtenidos por el INDEC en el año 2010, la población de Paso de la Patria es de 5598 habitantes (figura 1.18), lo cual comparado con el censo del año 2001 significa un incremento de aproximadamente 60% de la población. Ello indica un gran crecimiento demográfico con todas las consecuencias que esto conlleva.

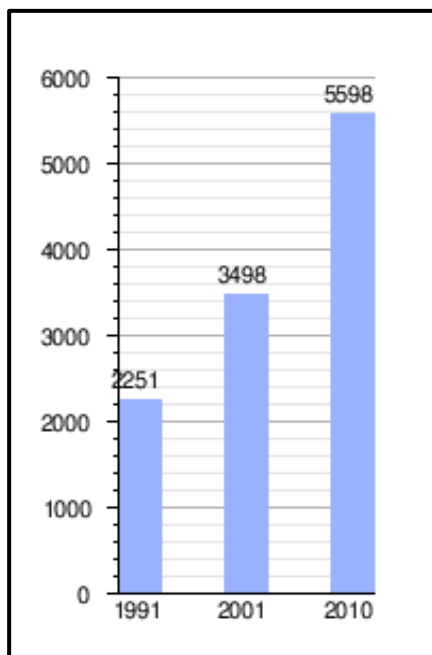


Figura 1.18. Evolución demográfica de Paso de la Patria entre los años 1991 y 2010 (Fuente: INDEC).

1.4.5 Actividades económicas

“La población que reside permanentemente son mayoritariamente pescadores, ladrilleros, de clase media baja, algunos profesionales y comerciantes de la zona. En temporada alta, a la zona concurren de turistas que dan vida y generan una mejora en la fuente de ingresos de los pobladores” (Arengo, Anonis y Rivas, 2017).

La pesca deportiva es uno de los recursos estratégicos de la provincia de Corrientes y más aún en Paso de la Patria. En el año 1963 se dio comienzo a la Fiesta Nacional del Dorado en la ciudad. La misma consiste en la competencia de pesca deportiva del dorado, donde aproximadamente 1.500 pescadores embarcados participan de la misma, y al cual asisten aproximadamente 120.000 turistas cada año, entre pescadores y visitantes, lo que significa un aumento del 1.500% de los residentes para dicha fecha” (Arengo, Anonis y Rivas, 2017).

1.5 Situación actual

A raíz de las inundaciones provocadas a orillas del arroyo Huajó, se ha ejecutado una defensa transitable de material suelto compactado que bordea dicho curso de agua, protegiendo la zona al norte de la misma (figura 1.19). La cota de coronamiento de la misma se fijó en 51,40 m (IGN).

Asimismo, se prevé también la extensión del sistema de defensas sobre el río Paraná, mediante la ejecución de un muro de hormigón (Fuente: ICAA).

Como la defensa representa un obstáculo para el drenaje de los excesos pluviales, actualmente se utilizan equipos de bombeo móviles para drenar el agua que se acumula al pie de la defensa. Desde luego, también se deberá prever la forma de compatibilizar los desagües pluviales con la nueva defensa.

Actualmente, la ciudad cuenta con pocas calles pavimentadas y el sistema de drenaje pluvial está compuesto principalmente por zanjas a cielo abierto (figura 1.20).

Por último, se presentan las figuras 1.21 y 1.22 correspondientes a la defensa actual.

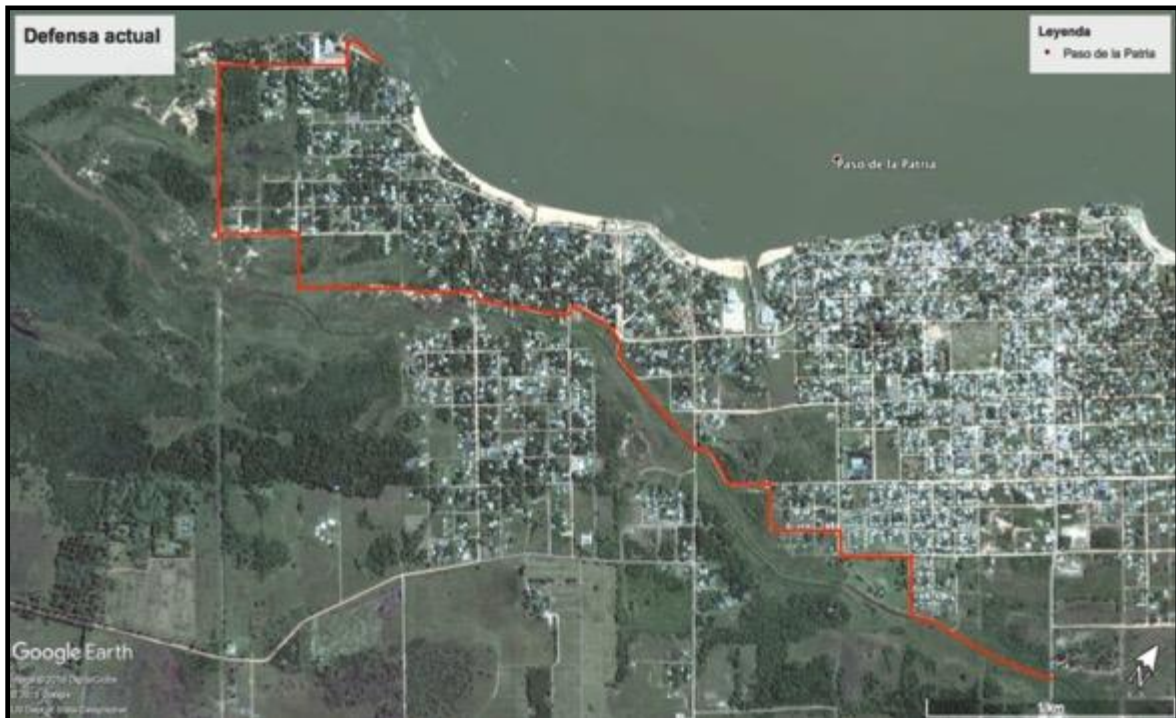


Figura 1.19. Traza de la defensa actual (Fuente: elaboración propia en base a imágenes de Google Earth y datos del ICAA).



Figura 1.20. Zanjas a cielo abierto en calle de tierra (Fuente: elaboración propia).



Figura 1.21. Defensa sobre el arroyo Huajó (Fuente: elaboración propia).



Figura 1.22. Viviendas al pie de la defensa (Fuente: elaboración propia).

1.6 Necesidad del Plan Director

Históricamente, la solución tradicional para el desagüe de los excedentes hídricos ha sido la adopción de medidas u obras circunscriptas a la sub-cuenca que presenta dichos problemas, limitando el estudio al ejido urbano existente. Sin embargo, esto a menudo genera problemas al no tener en cuenta la resultante de la combinación de los procesos aislados, es decir, carece de un análisis a escala más amplia. (Giménez y Bergman, 2003)

Por otro lado, la ocupación de zonas bajas sin una planificación adecuada a menudo no puede ser compensada sin la implementación de obras costosas, no siempre eficaces. Establecer una normativa que regule los asentamientos en dichas áreas podría ser una medida mucho más eficaz y eficiente desde una perspectiva económica.

Un Plan Director permite enfocar el problema del drenaje urbano desde una perspectiva más amplia, estudiando el escurrimiento natural y tratando de relacionar las distintas cuencas y sub-cuencas que integran la urbe, proponiendo distintas soluciones y previniendo la expansión urbana. De esta manera, surge como una herramienta muy útil para la elaboración de proyectos de urbanización y de obras hidráulicas, ya que define criterios que deberán ser respetados por aquellos, constituyendo un documento de valor político importante.

Como pudo verse, Paso de la Patria ha experimentado un rápido crecimiento y urbanización a lo largo de los últimos años, y se espera que la tendencia persista debido a su importancia para el turismo de la región. Esta expansión debería tener lugar en un

contexto de pleno conocimiento acerca de las características del lugar desde el punto de vista hidrológico, para poder así identificar las zonas problemáticas y prever la necesidad de medidas antes de que los excesos pluviales generen problemas.

Por ende, la elaboración del Plan Director permitirá:

- Generar conocimientos acerca del funcionamiento del drenaje urbano de la ciudad de Paso de la Patria, con su problemática y proponer soluciones posibles y plausibles.
- Buscar de generar un impacto económico y social positivo y un crecimiento urbano sustentable.
- Identificar zonas vulnerables e inconvenientes para el asentamiento de la población.

CAPÍTULO 2

Topografía

2.1 Introducción

Estudiando la topografía lo que se busca principalmente es conocer la altimetría del sector en estudio, conocidas las cotas de puntos relevados que se encuentran referenciados a un plano de comparación determinado.

De esta manera, se podrán establecer perfiles transversales y pendientes del terreno analizado; siendo que la precisión de los resultados que se obtienen con este relevamiento depende de las características de los equipos utilizados y de la pericia del equipo de trabajo, tratando de reducir a un mínimo los errores producidos durante la medición.

Lo anteriormente mencionado es de gran importancia para el trabajo ya que para realizar un Plan Director de Drenaje Urbano debe previamente haber un análisis adecuado del terreno, lo cual permite identificar los sentidos de escurrimiento y los límites entre cuencas y sub-cuencas. Además, conocer las pendientes que éstas presentan es fundamental para el modelado hidrológico.

Por otro lado, también es de gran utilidad para definir qué zonas presentan drenaje pobre y están más expuestas a las inundaciones.

En síntesis, es de gran importancia no sólo para el planteo del problema, sino también para la elaboración de las distintas soluciones.

2.2 Datos topográficos

Gran parte de los datos topográficos utilizados en el estudio fueron facilitados por la Municipalidad de la ciudad de Paso de la Patria a través de planos catastrales en formato digital.

Los mismos poseen información de cotas de intersecciones de ejes de calles, a mitad de cuadra y cotas correspondientes a lotes privados. Las mismas están referidas al sistema MOP (Ministerio de Obras Públicas), el cual hoy ha caído en desuso.

Es por ello que se propuso realizar la conversión adecuada al sistema IGN (Instituto Geográfico Nacional), restando a las cotas MOP un valor de 0,556m, siendo que el plano de referencia del IGN se encuentra más elevado que el del MOP.

Luego, debido a la ausencia de información al oeste de la ciudad, se decidió realizar un relevamiento topográfico complementario mediante el uso de un nivel óptico Pentax Al 270 y una mira proporcionados por el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Se optó por el método de nivelación compuesta por rodeo, realizando dos recorridos distintos.

El recorrido que se realizó en la tarea mencionada se demuestra en la figura 2.1.

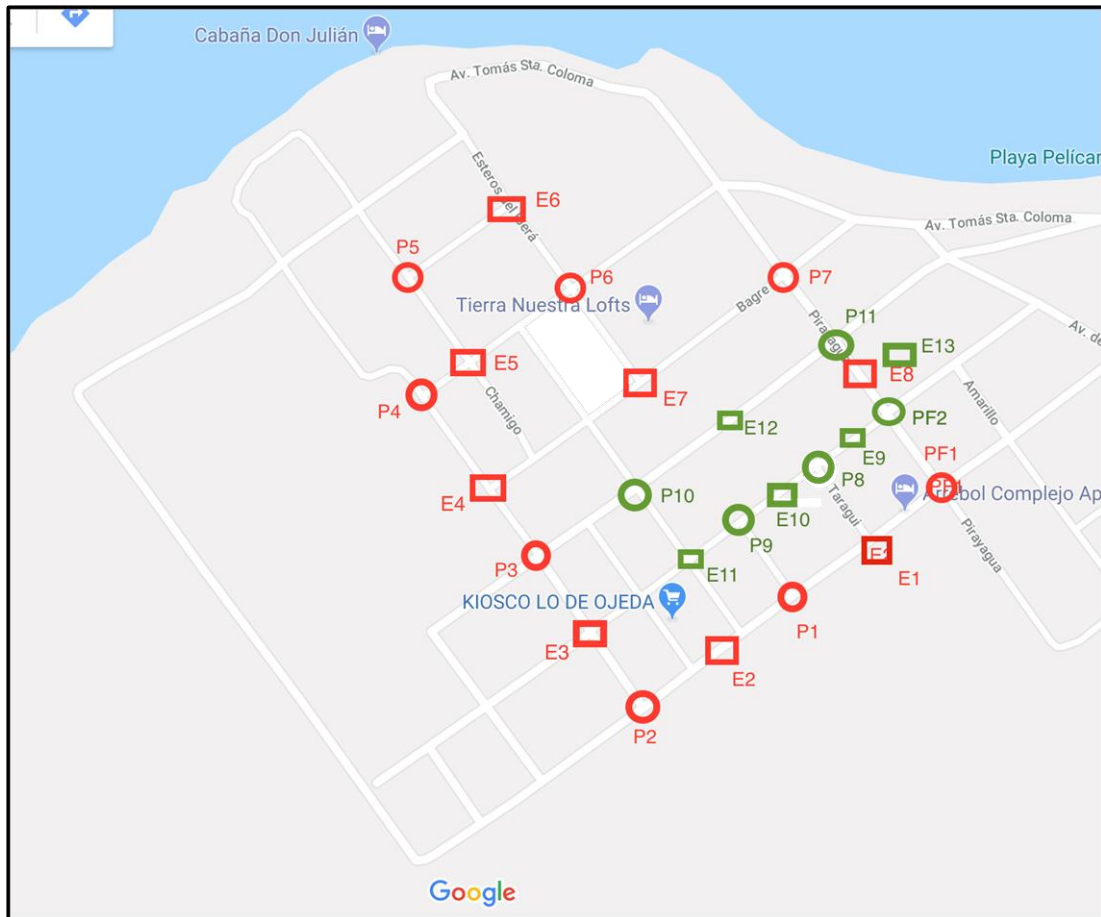






Figura 2.1. Recorrido de nivelación (Fuente: elaboración propia).

Referencias	
Estaciones utilizadas en el primer rodeo	
Puntos relevados en el primer rodeo	
Estaciones utilizadas en el segundo rodeo	
Puntos relevados en el segundo rodeo	

Finalmente, debido a la ausencia de datos topográficos en el sureste de la ciudad y al difícil acceso a la zona para realizar la nivelación, se decidió trasladar perfiles longitudinales con valores de cotas conocidas cercanas a la zona, verificando dicho patrón de perfil en el Google Earth (figura 2.2).

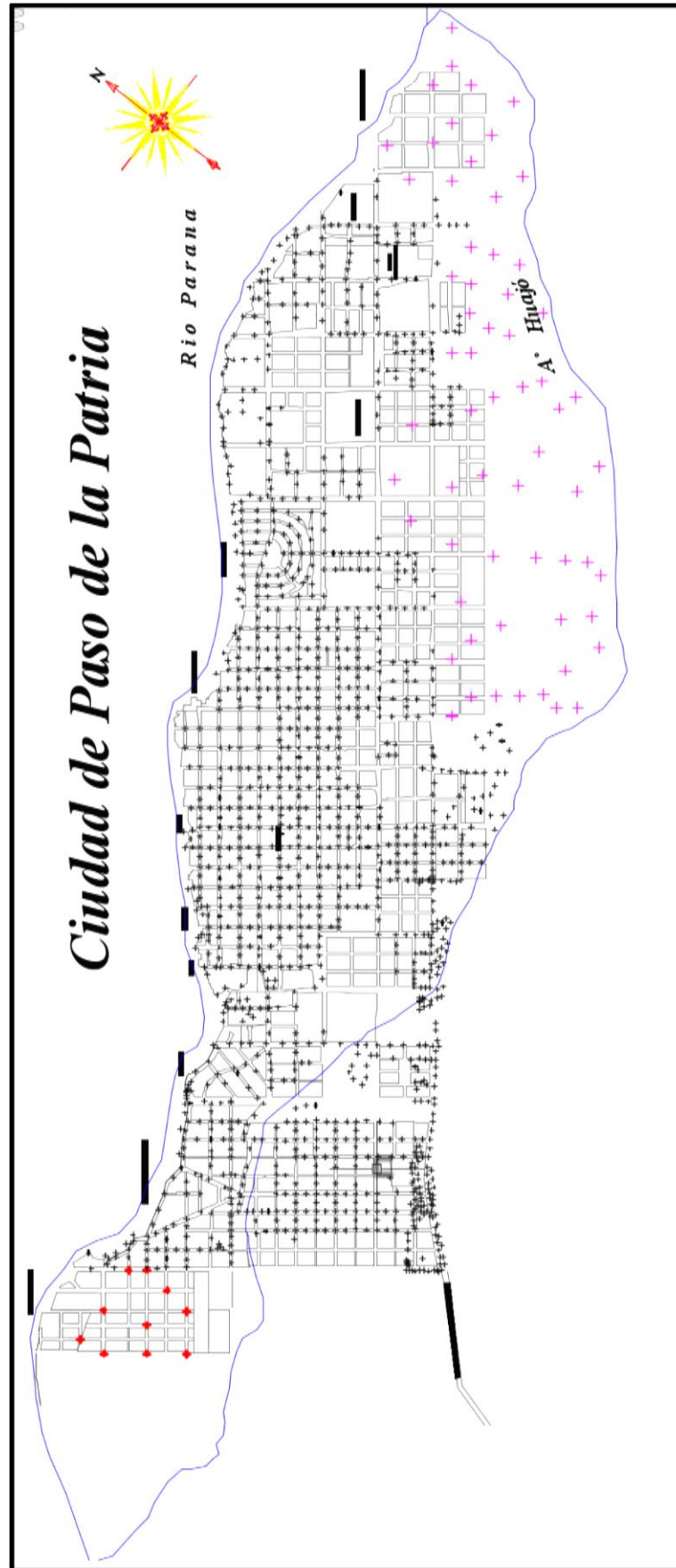





Figura 2.2. Puntos utilizados para el estudio (Fuente: Elaboración Propia).

Referencias	
Cotas relevadas por el equipo	
Cotas extrapoladas por el equipo	
Cotas obtenidas de la municipalidad	

2.3 Procesamiento de la información y resultados

En primer lugar, lo que se llevó a cabo fue la georreferenciación del plano mediante el programa Autocad Civil 3D, utilizando el sistema de coordenadas WGS84.

Una vez georreferenciada la información topográfica, se procedió a la realización de las curvas de nivel utilizando el programa Surfer V13, el cual es muy útil para visualizar entornos 3D y modelar superficies.

El mismo ofrece varios métodos para la elaboración de curvas de nivel a partir de una nube de puntos, ingresando los datos a partir de un archivo en formato de planilla de cálculo. Entre los métodos disponibles podemos mencionar el método Kriging, triangulación por interpolación lineal, distancia inversa a una potencia, etc.

Para el trabajo se utilizó el método Kriging, “el cual ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salidas para cada ubicación. Parte del principio: puntos próximos en el espacio tienden a tener valores más parecidos que los puntos distantes”. (Anonis, Arengo y Rivas, 2017)

“Kriging es un método de interpolación espacial utilizado para la construcción de superficies tridimensionales a partir de nubes irregulares de puntos. Es un método geoestadístico, el cual se fundamenta en las variables regionalizadas y autocorrelacionadas en el espacio.

Esta autocorrelación se determina a partir de la elaboración de semivariogramas con los cuales se logra ajustar el modelo, para proceder luego a la interpolación y en el cual se define la distancia máxima o rango en donde se finaliza la autocorrelación”. (Demmers, 1999)

Al obtener las curvas de nivel, se procedió a superponerlas con el plano de la división catastral a través de Autocad y se verificó que se encontraran en concordancia con la información topográfica utilizada (figura 2.3 y plano n°4).

Se optó por utilizar una escala de colores tipo hipsométrica en función de las cotas de las curvas, facilitando la interpretación del plano.

Por último, se realizó también una representación en 3D de la ciudad, el cual permite tener rápidamente una idea de la forma del terreno (figura 2.4). Cabe destacar que la escala vertical se encuentra exagerada.

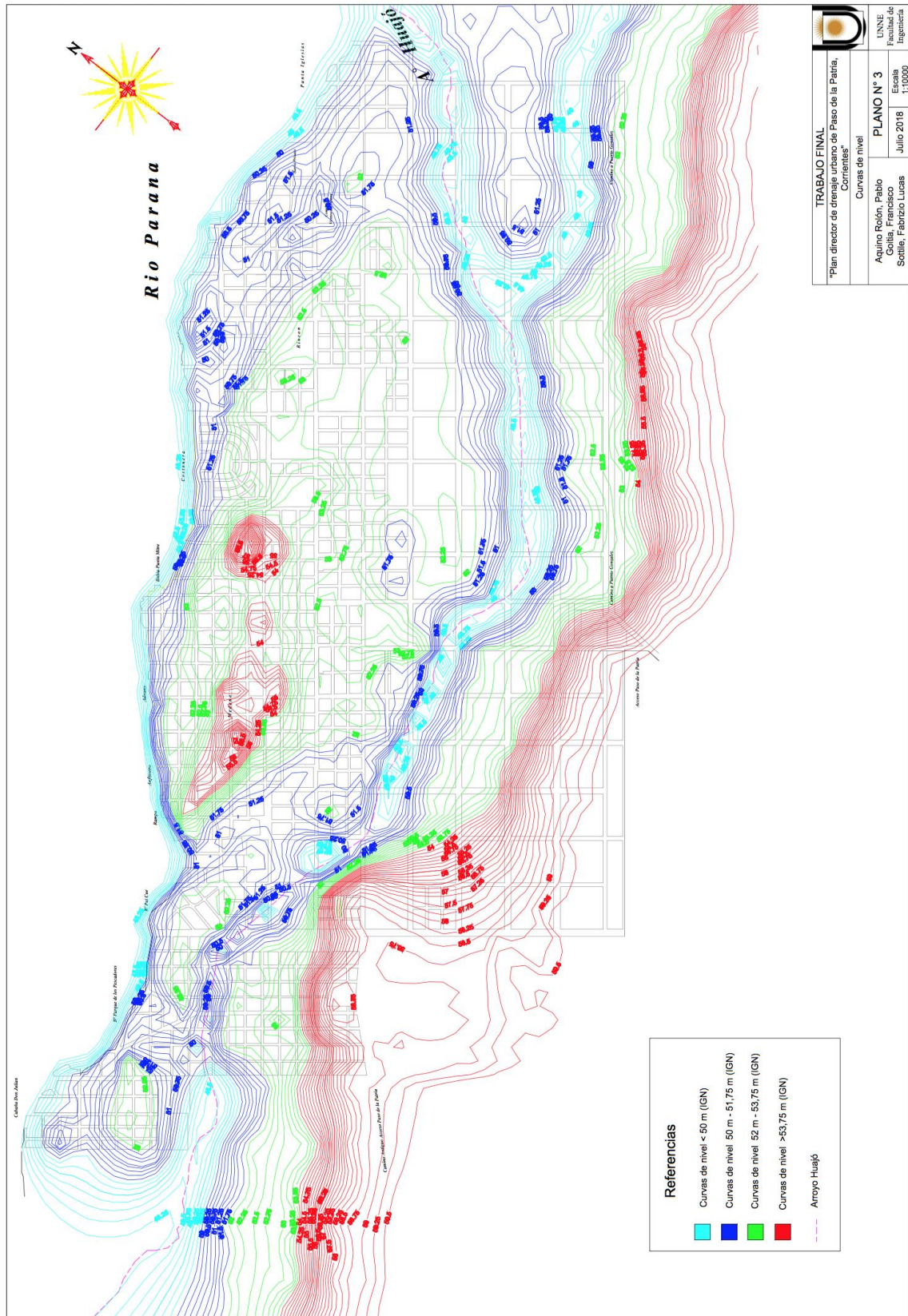


Figura 2.3. Plano curvas de nivel (Fuente: elaboración propia).

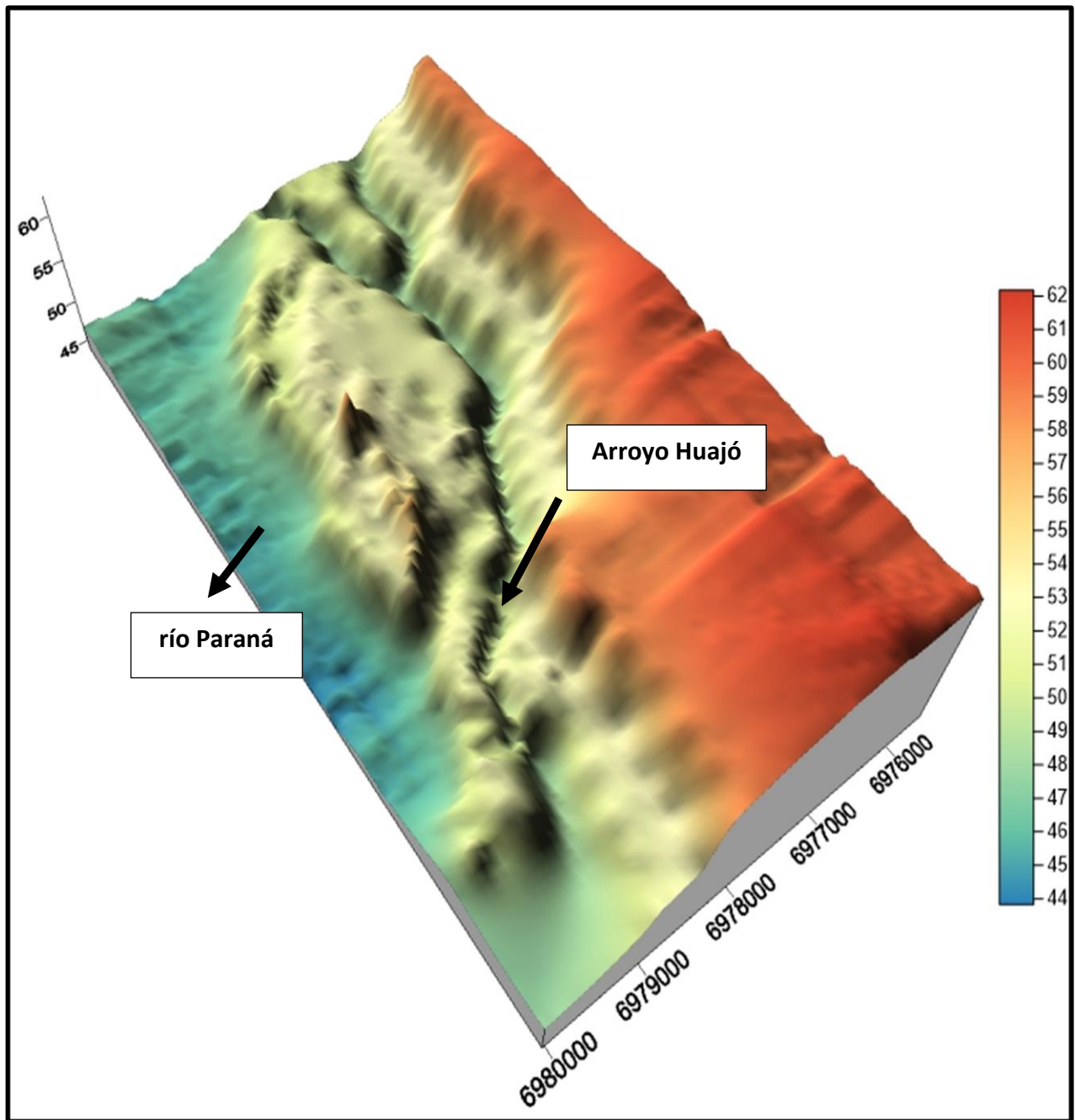


Figura 2.4. Representación 3D del terreno de la ciudad (Fuente: Elaboración Propia)

CAPÍTULO 3

Delimitación y caracterización de las cuencas

3.1 Delimitación de cuencas

La delimitación de las cuencas es de suma importancia para todo estudio de drenaje urbano y para ello se definieron, en primer lugar, las dos vertientes principales: a) hacia el río Paraná y b) al arroyo Huajó.

Definidas las mismas se definieron, luego, las cuencas urbanas que conforman estas.

Para el trazado de las divisorias de cuencas se partió del estudio de la topografía mencionada en el capítulo anterior, analizando tanto las curvas de nivel como el trazado urbano; ello se realizó teniendo en cuenta que el movimiento del agua tiene lugar en armonía con la topografía del lugar, es decir, desde aguas arriba hacia aguas abajo, siguiendo la ley de la gravedad.

Se optó por tres niveles de clasificación: macrosistemas, cuencas y subcuencas. Para el primero de ellos, se buscó entender el funcionamiento hidráulico general del área de estudio, fue entonces que se procedió a identificar los puntos más altos, los cuales marcaban un fuerte cambio de pendiente hacia uno y otro lado, diferenciando una vertiente hacia el río Paraná y otra hacia el arroyo Huajó (figura 3.1 y plano n°5).

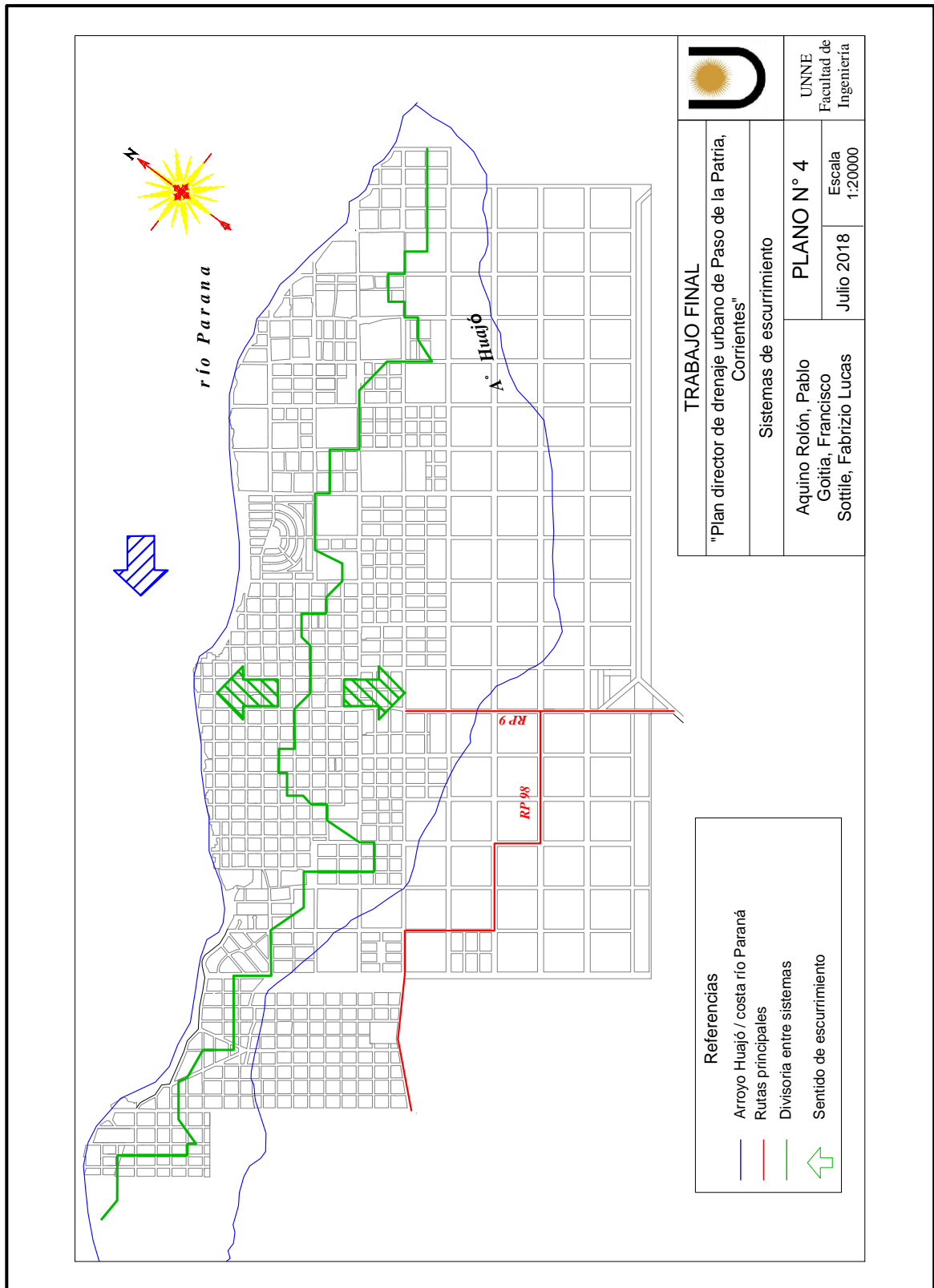


Figura 3.1. Sistemas de escurrimiento (Fuente: elaboración propia)

Luego, se procedió a dividir estos macrosistemas en cuencas a través del estudio de las singularidades que presentaba la topografía, tales como: lomadas, caminos en terraplén y defensas contra inundaciones.

Se obtuvieron un total de 16 cuencas, las cuales fueron identificadas con una letra y un número. La primera hace referencia a la vertiente a la cual pertenecen: Paraná o Huajó (P o H), mientras que la numeración se realizó de oeste a este de manera correlativa (figura 3.2 y plano n°6).

Para las cuencas P-2, P-4 y P-6 se propuso también la división en subcuencas, identificándolas con una letra.

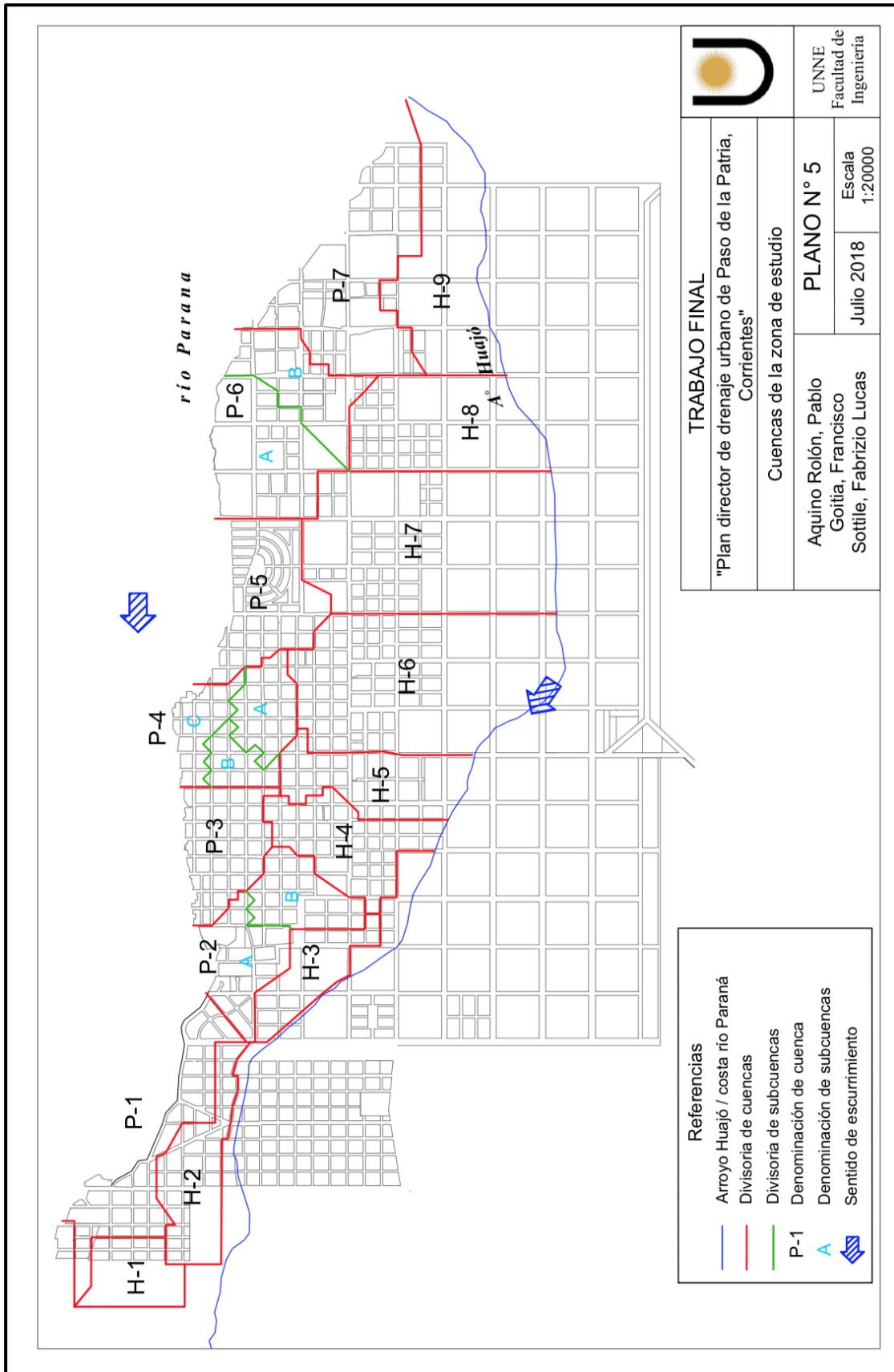


Figura 3.2. Cuencas de la zona de estudio (Fuente: elaboración propia).

Finalmente, se analizó cada cuenca y subcuenca para la obtención de los parámetros a ser utilizados posteriormente en la modelación hidrológica, como ser: el área, la longitud desde el punto más alejado hasta el punto de salida de la cuenca, el desnivel entre dichos puntos y la pendiente media (tablas 3.1 y 3.2).

Tabla 3.1. Parámetros y características de las cuencas (Fuente: elaboración propia).

Vertiente	Cuenca	Area	L	Desnivel	Pendiente
		(ha)	m	m	
Paraná	1	43,43	544	2,58	0,47%
	2	49,59	864	1,36	0,16%
	3	34,43	640	8,12	1,27%
	4	45,61	1110	8,72	0,79%
	5	46,45	768	2,65	0,35%
	6	79,07	1073	4,27	0,40%
	7	81,8	1468	4,68	0,32%
Huajó	1	22,34	419	3,25	0,78%
	2	35,91	492	2,48	0,50%
	3	45,55	413	1,57	0,38%
	4	39,72	1113	6,13	0,55%
	5	39,75	1371	5,7	0,42%
	6	119,07	1840	8,73	0,47%
	7	125,48	1645	4,65	0,28%
	8	61,31	1097	3,98	0,36%
	9	68,06	582	3,00	0,52%
	TOTAL	937,57			

Tabla 3.2. Parámetros y características de las subcuencas de las cuencas P-2, P-4 y P-6 (Fuente: elaboración propia).

Vertiente	Cuenca	Subcuenca	Área	L	Desnivel	Pendiente
			(ha)	m	m	
Paraná	2	A	23,55	797	2,58	0,32%
		B	26,04	864	1,17	0,14%
	4	A	19,46	622	6,37	1,02%
		B	11,17	611	3,7	0,61%
		C	14,98	618	3,01	0,49%
	6	A	47,95	1073	2,99	0,28%
B		71,12	892	2,9	0,33%	

CAPÍTULO 4

Determinación de los datos y parámetros hidrológicos

4.1 Determinación de la impermeabilidad de las cuencas

Para la determinación de la impermeabilidad de las cuencas se procedió a la caracterización del uso del suelo de éstas a través de la utilización de imágenes satelitales, eligiéndose las de Google Earth por su alta resolución. Las mismas se obtuvieron a través del programa SASPLANET, el cual permite descargarlas con sus anchos de banda 1, 2 y 3, siendo ello de suma importancia para el proceso de clasificación, que se realizó mediante el uso del programa ArcGis.

La técnica utilizada fue la clasificación supervisada, para la cual debieron definirse distintas “áreas de entrenamiento” para cada una de las clases utilizadas. “Para cada área de entrenamiento se calculan los parámetros estadísticos (media, desviación estándar, covarianza, etc.), para luego evaluar cada píxel de la imagen, separarlo y asignarlo a una respectiva clase” (Basterra, 2013).

Se determinaron 5 tipos de uso de suelo según a las distintas permeabilidades:

- 1) Calles pavimentadas (impermeable)
- 2) Calles de tierra o suelo desnudo compactado (impermeable)
- 3) Edificaciones (impermeable)
- 4) Arboledas (permeable)
- 5) Pastizales (permeable)

La clasificación generada se presenta en la figura 4.1 (ver también plano n° 7).

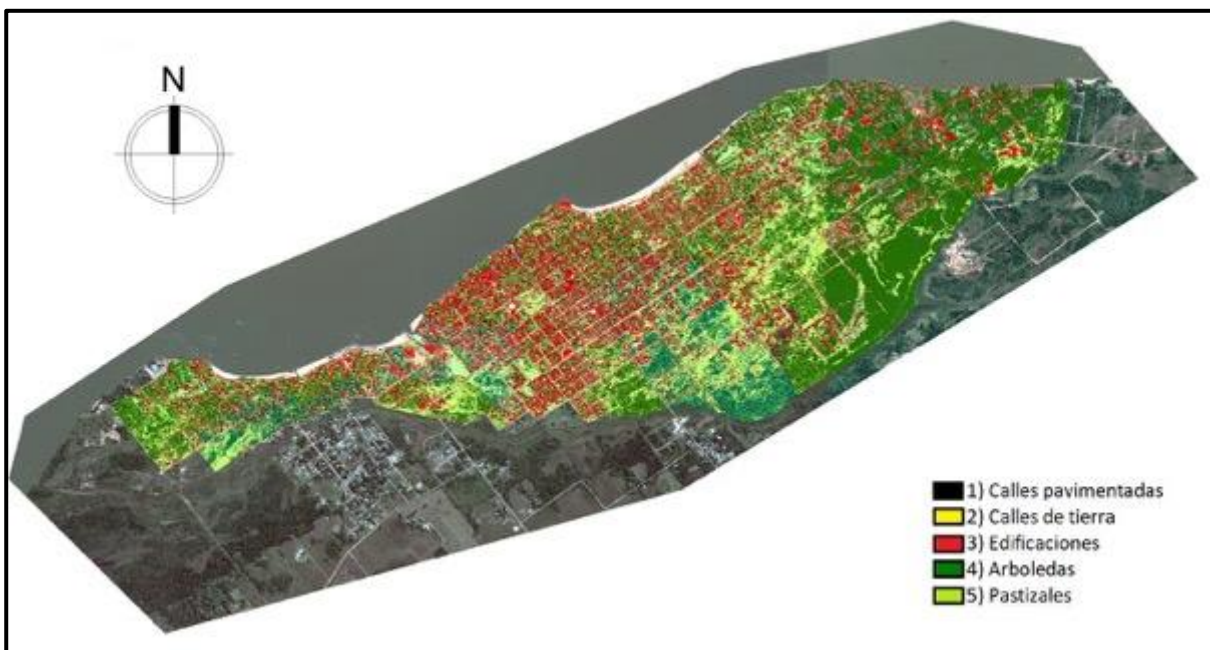






Figura 4.1. Usos del suelo. (Fuente: Elaboración propia)


A continuación, se presentan los resultados de la clasificación por cuencas (tablas 4.1 y 4.2).


a) Vertiente Paraná:

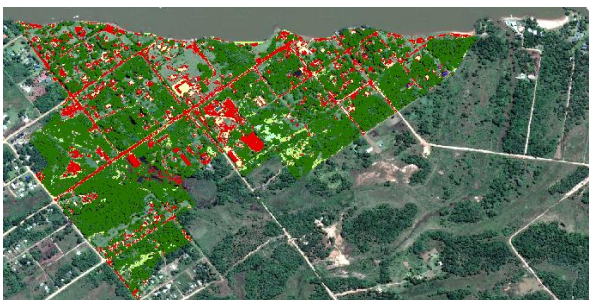
Tabla 4.1. Determinación de los usos de suelo para cada subcuenca (Fuente: elaboración propia).

	Cuenca P-1	
	Superficie (ha)	43,43
	Calles pavimentadas (%)	1%
	Calles de tierra (%)	3%
	Edificaciones (%)	24%
	Arboledas (%)	46%
	Pastizales (%)	27%
	Cuenca P-2	
	Superficie (ha)	49,59
	Calles pavimentadas (%)	1%
	Calles de tierra (%)	5%
	Edificaciones (%)	29%
	Arboledas (%)	30%
	Pastizales (%)	34%
	Cuenca P-3	
	Superficie (ha)	34,43
	Calles pavimentadas (%)	3%
	Calles de tierra (%)	5%
	Edificaciones (%)	46%
	Arboledas (%)	25%
	Pastizales (%)	22%


	Cuenca P-4	
	Superficie (ha)	45,61
	Calles pavimentadas (%)	2%
	Calles de tierra (%)	6%
	Edificaciones (%)	41%
	Arboledas (%)	32%
Pastizales (%)	19%	

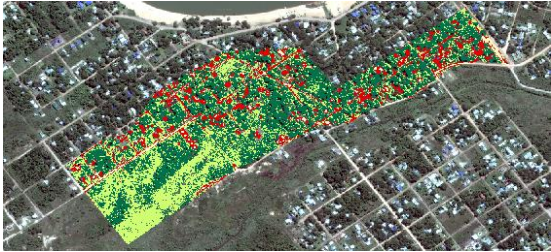
	Cuenca P-5	
	Superficie (ha)	46,45
	Calles pavimentadas (%)	1%
	Calles de tierra (%)	8%
	Edificaciones (%)	36%
	Arboledas (%)	32%
Pastizales (%)	23%	


	Cuenca P-6	
	Superficie (ha)	79,07
	Calles pavimentadas (%)	0%
	Calles de tierra (%)	3%
	Edificaciones (%)	18%
	Arboledas (%)	46%
Pastizales (%)	33%	


	Cuenca P-7	
	Superficie (ha)	81,8
	Calles pavimentadas (%)	0%
	Calles de tierra (%)	3%
	Edificaciones (%)	20%
	Arboledas (%)	72%
Pastizales (%)	5%	

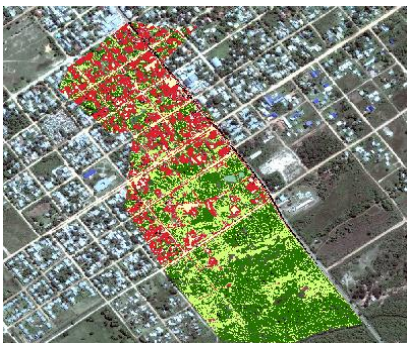
b) Vertiente arroyo Huajó:**Tabla 4.2.** Determinación de usos de suelo para cada subcuenca (Fuente: elaboración propia).

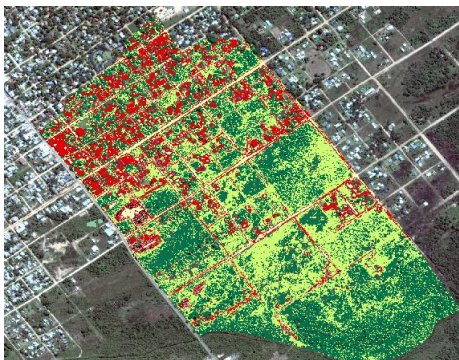
	Cuenca H-1	
	Superficie (ha)	
Calles pavimentadas (%)		0%
Calles de tierra (%)		1%
Edificaciones (%)		9%
Arboledas (%)		54%
Pastizales (%)		36%

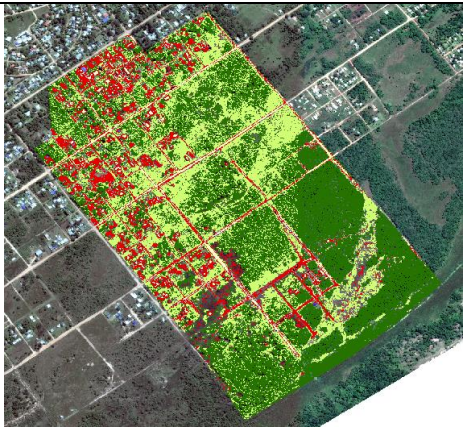
	Cuenca H-2	
	Superficie (ha)	
Calles pavimentadas (%)		0%
Calles de tierra (%)		2%
Edificaciones (%)		14%
Arboledas (%)		49%
Pastizales (%)		34%

	Cuenca H-3	
	Superficie (ha)	
Calles pavimentadas (%)		0%
Calles de tierra (%)		3%
Edificaciones (%)		15%
Arboledas (%)		35%
Pastizales (%)		46%

	Cuenca H-4	
	Superficie (ha)	39,72
	Calles pavimentadas (%)	1%
	Calles de tierra (%)	7%
	Edificaciones (%)	42%
	Pastizales (%)	28%

	Cuenca H-5	
	Superficie (ha)	39,75
	Calles pavimentadas (%)	2%
	Calles de tierra (%)	6%
	Edificaciones (%)	25%
	Pastizales (%)	26%

	Cuenca H-6	
	Superficie (ha)	119,07
	Calles pavimentadas (%)	1%
	Calles de tierra (%)	4%
	Edificaciones (%)	17%
	Pastizales (%)	38%

	Cuenca H-7	
	Superficie (ha)	43,43
	Calles pavimentadas (%)	0%
	Calles de tierra (%)	2%
	Edificaciones (%)	18%
	Pastizales (%)	31%

Cuenca H-8	
Superficie (ha)	61,31
Calles pavimentadas (%)	0%
Calles de tierra (%)	2%
Edificaciones (%)	7%
Arboledas (%)	72%
Pastizales (%)	19%

Cuenca H-9	
Superficie (ha)	68,06
Calles pavimentadas (%)	0%
Calles de tierra (%)	2%
Edificaciones (%)	8%
Arboledas (%)	70%
Pastizales (%)	20%

4.1.1 Método adoptado para las abstracciones de las precipitaciones

Para tener en cuenta las abstracciones de las precipitaciones se optó por el método de la curva número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, por sus siglas en inglés). El mismo es, por su simplicidad, el más utilizado a nivel mundial (Méndez, 2012).

El método considera que existe una relación entre la cantidad de agua retenida en la cuenca Fa , la retención potencial máxima S , la precipitación efectiva Pe , la precipitación total P y la abstracción inicial Ia , dada por la fórmula siguiente (ver imagen 4.2):

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad [4.1]$$

Mediante relaciones matemáticas se llega a una fórmula que relaciona la retención potencial máxima con la precipitación efectiva:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad [4.2]$$

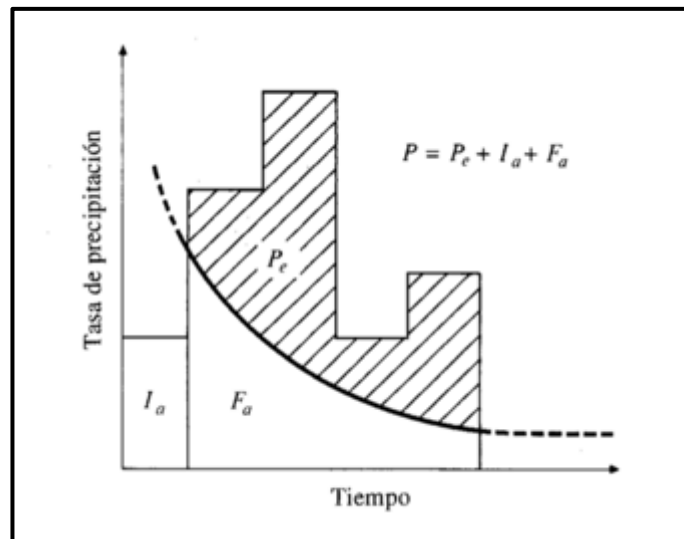


Figura 4.2. Variables del método del SCS (Fuente: Ven Te Chow, 1994).

A su vez, existe una relación entre la retención potencial máxima S y el número de curva CN dada por:

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad [4.3]$$

De lo anterior se observa que para áreas totalmente impermeables, S será cero y $CN=100$. Del mismo modo, para un área permeable con capacidad de almacenamiento infinita, CN será igual a cero.

Los valores de CN a adoptar se pueden obtener de diversas tablas provistas por la bibliografía específica, en función del tipo de suelo y el uso de la tierra.

Cabe destacar que el CN depende también de las condiciones de humedad antecedentes, pudiéndose calcular un CN para condiciones secas (I), normales (II) o húmedas (III). En el presente caso se utilizó la condición III, correspondiente a la condición más desfavorable.

Del mismo modo, el CN depende también del tipo de suelo que presente la cuenca, diferenciándose cuatro grupos: A, B, C y D.

“Los suelos de Paso de la Patria se clasifican como suelos tipo A (arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados)” (Arengo, Anonis y Rivas, 2017).

4.2 Estimación de la impermeabilidad futura

La estimación de la impermeabilidad futura se basó en el trabajo de investigación realizado por Pilar, J.V. y Depettris, C.A. (Hidrología Urbana: Utilización de un SIG para la estimación del parámetro impermeabilidad de un modelo hidrológico concentrado. Año 2000), en el que se demostró que la urbanización crece hasta estabilizarse en un rango entre 65% y 75%. Es por esto por lo que para el presente estudio se adoptaron para una proyección de 20 años un crecimiento del 10% de las áreas más urbanizadas, mientras que las de menor urbanización se consideró un crecimiento del 20%.

A partir de dicha estimación, se procedió a determinar los CN. Para obtener un CN representativo para cada cuenca, se realizó un promedio ponderado.

A continuación, se presentan los valores obtenidos (tablas 4.3 y 4.4):

a) Vertiente Paraná:

Tabla 4.3. Estimación de los números de curva para cada subcuenca, para la condición actual y futura (Fuente: elaboración propia).

P-1				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,23	1%	1%	75
Calles de tierra	1,19	3%	3%	70
Espacios construidos	10,54	24%	27%	55
Arboledas	19,76	46%	43%	30
Pastizales	11,70	27%	26%	40
Área total	43,43	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	28%	CN actual (II)	40	
		CN actual (III)	61	
Área impermeable futura (%)	31%	CN Futuro (II)	41	
		CN Futuro (III)	62	

P-2				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,40	1%	1%	75
Calles de tierra	2,65	5%	5%	70
Espacios construidos	14,58	29%	33%	55
Arboledas	15,04	30%	28%	30
Pastizales	16,92	34%	33%	40
Área total	49,59	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	36%	CN actual (II)	43	
		CN actual (III)	64	
Área impermeable futura (%)	39%	CN Futuro (II)	44	
		CN Futuro (III)	64	

P-3				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,93	3%	3%	75
Calles de tierra	1,75	5%	5%	70
Espacios construidos	15,78	46%	52%	55
Arboledas	8,55	25%	21%	30
Pastizales	7,42	22%	19%	40
Área total	34,43	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	54%	CN actual (II)	47	
		CN actual (III)	67	
Área impermeable futura (%)	60%	CN Futuro (II)	48	
		CN Futuro (III)	68	

P-4				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,79	2%	2%	75
Calles de tierra	2,70	6%	6%	70
Espacios construidos	18,88	41%	46%	55
Arboledas	14,76	32%	29%	30
Pastizales	8,49	19%	17%	40
Área total	45,61	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	49%	CN actual (II)	45	
		CN actual (III)	66	
Área impermeable futura (%)	54%	CN Futuro (II)	47	
		CN Futuro (III)	67	

P-5				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,24	1%	1%	75
Calles de tierra	3,59	8%	8%	70
Espacios construidos	16,91	36%	40%	55
Arboledas	15,08	32%	30%	30
Pastizales	10,63	23%	21%	40
Área total	46,45	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	45%	CN actual (II)	45	
		CN actual (III)	65	
Área impermeable futura (%)	49%	CN Futuro (II)	46	
		CN Futuro (III)	66	

P-6				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,18	0%	0%	75
Calles de tierra	2,19	3%	3%	70
Espacios construidos	14,19	18%	22%	55
Arboledas	36,09	46%	44%	30
Pastizales	26,42	33%	31%	40
Área total	79,07	100%	100%	
Área impermeable actual (%)		21%	CN actual (II)	39
			CN actual (III)	60
Área impermeable futura (%)		25%	CN Futuro (II)	40
			CN Futuro (III)	60

P-7				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,11	0%	0%	75
Calles de tierra	2,58	3%	3%	70
Espacios construidos	16,09	20%	24%	55
Arboledas	58,66	72%	68%	30
Pastizales	4,37	5%	5%	40
Área total	81,8	100%	100%	
Área impermeable actual (%)		23%	CN actual (II)	37
			CN actual (III)	57
Área impermeable futura (%)		27%	CN Futuro (II)	38
			CN Futuro (III)	58

b) Vertiente Huajó:

Tabla 4.4. Estimación del número de curva para cada subcuenca, para la condición actual y futura (Fuente: elaboración propia).

H-1				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,08	0%	0%	75
Calles de tierra	0,28	1%	1%	70
Espacios construidos	1,93	9%	11%	55
Arboledas	12,10	54%	53%	30
Pastizales	7,95	36%	35%	40
Área total	22,34	100%	100%	
Área impermeable actual (%)		10%	CN actual (II)	36
			CN actual (III)	57
Área impermeable futura (%)		12%	CN Futuro (II)	37
			CN Futuro (III)	57

H-2				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,07	0%	0%	75
Calles de tierra	0,79	2%	2%	70
Espacios construidos	5,20	14%	17%	55
Arboledas	17,69	49%	48%	30
Pastizales	12,16	34%	33%	40
Área total	35,91	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	17%	CN actual (II)	38	
		CN actual (III)	58	
Área impermeable futura (%)	19%	CN Futuro (II)	38	
		CN Futuro (III)	59	

H-3				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,19	0%	0%	75
Calles de tierra	1,41	3%	3%	70
Espacios construidos	7,02	15%	20%	55
Arboledas	15,97	35%	33%	30
Pastizales	20,96	46%	44%	40
Área total	45,55	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	19%	CN actual (II)	40	
		CN actual (III)	60	
Área impermeable futura (%)	23%	CN Futuro (II)	41	
		CN Futuro (III)	61	

H-4				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,44	1%	1%	75
Calles de tierra	2,64	7%	7%	70
Espacios construidos	16,88	42%	47%	55
Arboledas	8,54	22%	19%	30
Pastizales	11,22	28%	26%	40
Área total	39,72	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	50%	CN actual (II)	47	
		CN actual (III)	67	
Área impermeable futura (%)	55%	CN Futuro (II)	48	
		CN Futuro (III)	68	

H-5				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,74	2%	2%	75
Calles de tierra	2,38	6%	6%	70
Espacios construidos	10,10	25%	30%	55
Arboledas	15,59	39%	36%	30
Pastizales	10,94	28%	26%	40
Área total	39,75	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	33%	CN actual (II)	42	
		CN actual (III)	63	
Área impermeable futura (%)	38%	CN Futuro (II)	43	
		CN Futuro (III)	64	

H-6				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,60	1%	1%	75
Calles de tierra	4,23	4%	4%	70
Espacios construidos	20,07	17%	20%	55
Arboledas	48,67	41%	39%	30
Pastizales	45,49	38%	36%	40
Área total	119,07	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	21%	CN actual (II)	40	
		CN actual (III)	60	
Área impermeable futura (%)	25%	CN Futuro (II)	41	
		CN Futuro (III)	61	

H-7				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,32	0%	0%	75
Calles de tierra	3,07	2%	2%	70
Espacios construidos	17,09	14%	18%	55
Arboledas	63,56	51%	49%	30
Pastizales	41,44	33%	31%	40
Área total	125,48	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	16%	CN actual (II)	38	
		CN actual (III)	58	
Área impermeable futura (%)	20%	CN Futuro (II)	38	
		CN Futuro (III)	59	

H-8				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,07	0%	0%	75
Calles de tierra	1,22	2%	2%	70
Espacios construidos	4,29	7%	10%	55
Arboledas	44,14	72%	70%	30
Pastizales	11,65	19%	18%	40
Área total	61,31	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	9%	CN actual (II)	34	
		CN actual (III)	55	
Área impermeable futura (%)	12%	CN Futuro (II)	35	
		CN Futuro (III)	55	

H-9				
Uso del suelo	Área actual (ha)	Área actual (%)	Área futura (%)	CN (II)
Calles pavimentadas	0,07	0%	0%	75
Calles de tierra	1,36	2%	2%	70
Espacios construidos	5,44	8%	11%	55
Arboledas	47,64	70%	69%	30
Pastizales	13,61	20%	18%	40
Área total	68,06	100%	100%	
Área impermeable actual (%)	10%	CN actual (II)	34	
		CN actual (III)	55	
Área impermeable futura (%)	13%	CN Futuro (II)	35	
		CN Futuro (III)	55	

4.3 Determinación de los tiempos de concentración de las cuencas

La definición del tiempo de concentración de una cuenca es la siguiente: “es el tiempo que una partícula de agua tarda en llegar del punto más alejado al punto de desagüe” (Fattorelli y Fernández, 2007).

La determinación de este parámetro es importante ya que indica el tiempo en que la totalidad de la cuenca se encuentra aportando a la salida. Además, determina la duración de la lluvia crítica.

Existen una gran cantidad de fórmulas que proveen valores de tiempo de concentración en función de las características de la cuenca (área, pendiente, rugosidad de la superficie, distancia al punto más alejado, etc.) y, en algunos casos, de la intensidad de precipitación.

En el presente trabajo, se utilizaron cuatro fórmulas distintas para poder compararlas, ya que es normal que exista dispersión entre los resultados de unas y otras. Ellas son las fórmulas de Kirpich, California Culverts Practice, Onda Cinemática y Lag SCS.

a) Kirpich

$$tc = 3,989 L^{0,77} S^{-0,385} \quad [4.4]$$

Siendo:

L = longitud del cauce principal, en Km.

S = pendiente media longitudinal del cauce, en m/Km.

b) California Culverts Practice

$$tc = 57 L^{1,155} H^{-0,385} \quad [4.5]$$

Siendo:

L= longitud del cauce principal, en km.

H= desnivel entre los puntos extremos del cauce, en m.

c) Onda Cinemática

$$tc = 447(n L)^{0,6} S^{-0,3} I^{-0,4} \quad [4.6]$$

Siendo:

n = coeficiente de rugosidad de Mannig.

I = intensidad de precipitación en mm/h.

L = longitud, en Km.

S = pendiente, en m/m.

d) Lag SCS

$$tc = 3,42 L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN}\right)^{0,7} S^{-0,5} \quad [4.7]$$

Siendo:

CN = curva número del método SCS.

S = pendiente media del cauce en m/m.

L = longitud del cauce principal, el Km.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Tiempos de concentración para cada cuenca, utilizando distintas fórmulas (Fuente: elaboración propia).

Sistemas	Cuenca	Area	Kirpich	Callifornia Culverts Practice	SCS Lag	Método de onda cinemática
		(ha)	(minutos)	(minutos)	(minutos)	(minutos)
P	1	43,43	19,51	19,59	10,05	42,5
	2	49,59	42,60	42,77	27,48	93,8
	3	34,43	15,14	15,20	8,84	33,1
	4	45,61	27,82	27,93	16,41	60,6
	5	46,45	28,76	28,87	17,90	62,6
	6	79,07	35,22	35,36	17,88	77
	7	81,80	48,83	49,02	23,09	108,1
H	1	22,34	13,21	13,26	5,57	29
	2	35,91	17,64	17,71	8,29	38,4
	3	45,55	17,19	17,25	8,76	37,5
	4	39,72	31,97	32,09	20,25	68,8
	5	39,75	41,83	41,99	23,77	92
	6	119,07	49,86	50,06	25,91	110,5
	7	125,48	55,83	56,05	28,31	124,3
	8	61,31	37,13	37,27	15,86	81,4
	9	68,06	19,9	20	7,00	43,2

Para el caso de estudio, se adoptaron los resultados arrojados por la fórmula del método de onda cinemática, ya que la misma tiene en cuenta una mayor cantidad de parámetros y fue elaborada para flujos en superficie. En el caso de Paso de la Patria, no existe una red de conductos para el drenaje pluvial y no todas las calles poseen cunetas, por lo que se consideró apropiado. Por otro lado, las fórmulas de Kirpich y California Culverts Practice fueron realizadas a partir del estudio de cuencas con pendientes más pronunciadas a las del área que abarca el presente estudio, de hasta 10 %. Finalmente, los resultados de la fórmula SCS Lag fueron descartados por ser muy pequeños.

4.4 Determinación de la lluvia de diseño

Para la determinación de la tormenta de diseño se utilizaron las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) del área metropolitana del Gran Resistencia (figura 4.2 y tabla 4.6). Se optó por ellas por ser confiables y porque tanto Resistencia como Paso de la Patria pertenecen a una misma zona de meteorología homogénea, por lo menos a escala subsinóptica. Hay que tener en cuenta que “el comportamiento de las tormentas se corresponde con se corresponde al de zonas de llanura, y además no varía en gran medida la precipitación caída en las zonas cercanas al centro de la tormenta, ya que las mismas se originan por procesos convectivos, pudiendo el centro de la tormenta abarcar grandes áreas” (Anonis et al, 2017).

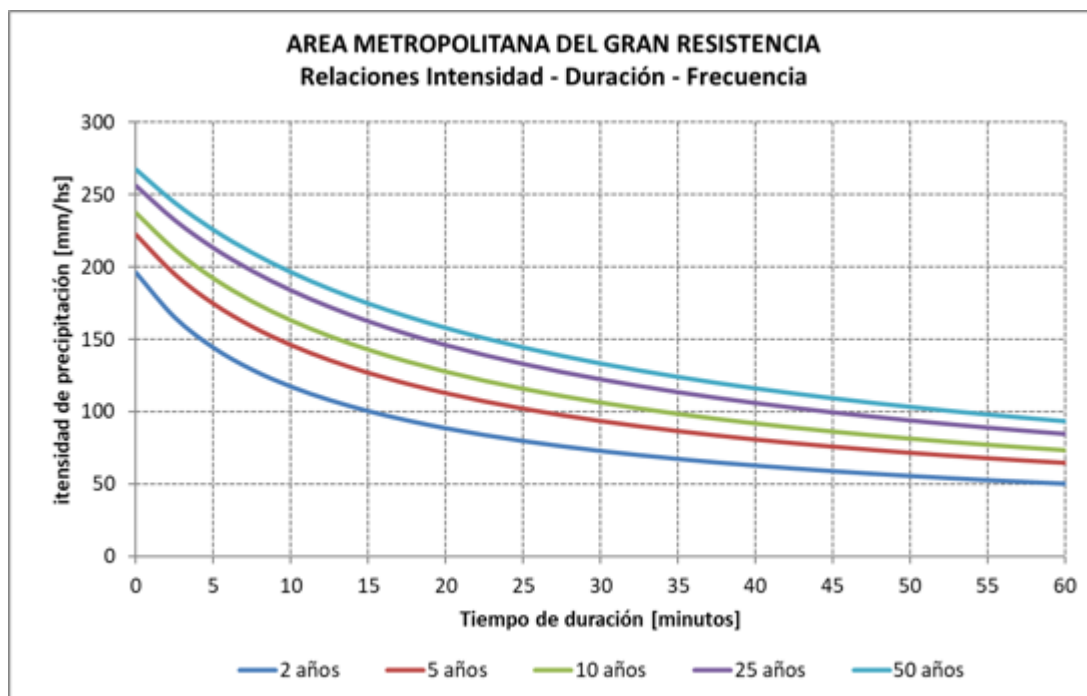


Figura 4.3. Curvas I-D-F para la ciudad de Resistencia, Chaco. (Fuente: Administración Provincial del agua de la Provincia del Chaco (APA))

Tabla 4.6. Parámetros de ajuste para las curvas IDF de la ciudad de resistencia, Chaco (Fuente: APA).

TR (años)	A	B	C
2	746,019	8,12	0,6375
5	1205,735	11,824	0,6846
10	1639,94	14,681	0,7193
25	2366,837	18,427	0,7629
50	2563,109	19,875	0,756

Las curvas responden a la siguiente ecuación:

$$i = \frac{A}{(Td + B)^c} \quad [4.8]$$

Siendo T_d el tiempo de duración de la tormenta, en minutos.

Se adoptaron dos tormentas de diseño, una con tiempo de recurrencia de 5 años para el dimensionamiento de los componentes hidráulicos y otra de 10 años para su verificación. Ambas tormentas son de 2 horas de duración de acuerdo con los tiempos de concentración de las cuencas analizadas con diferentes métodos, e intervalos de 10 minutos con un volumen total de precipitación de 85,3 mm para TR de 5 años y de 96,4 mm para TR de 10 años. Para la distribución temporal de dichas tormentas, se utilizó el método de “bloques alternados”, que se presentan en las Figuras 4.4 y 4.5.

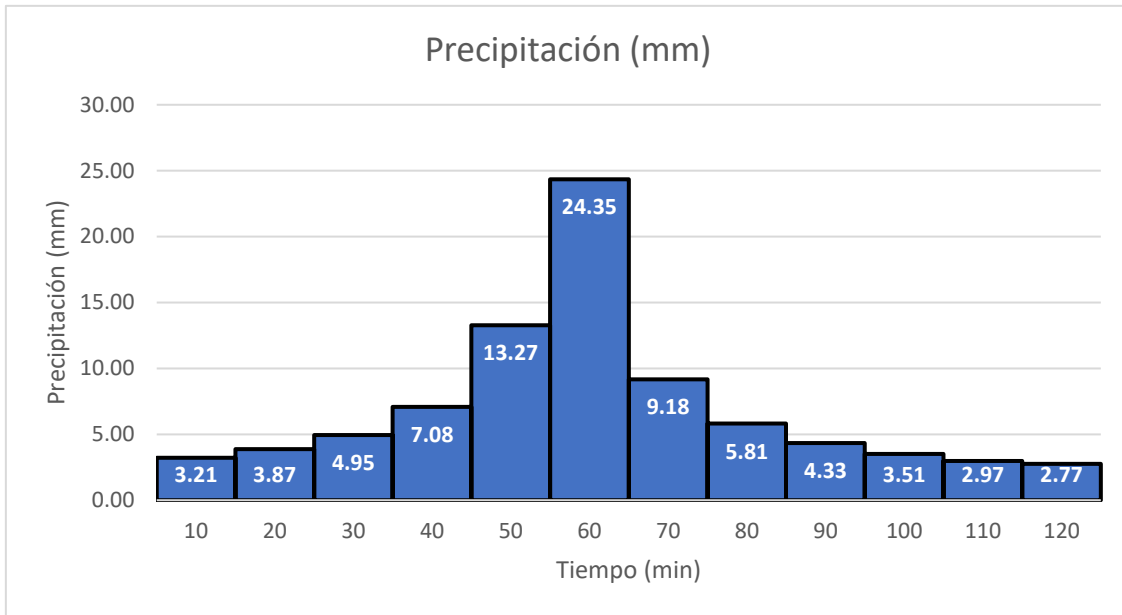


Figura 4.4: Hietogramas para 5 años de recurrencia (Fuente: Elaboración propia).

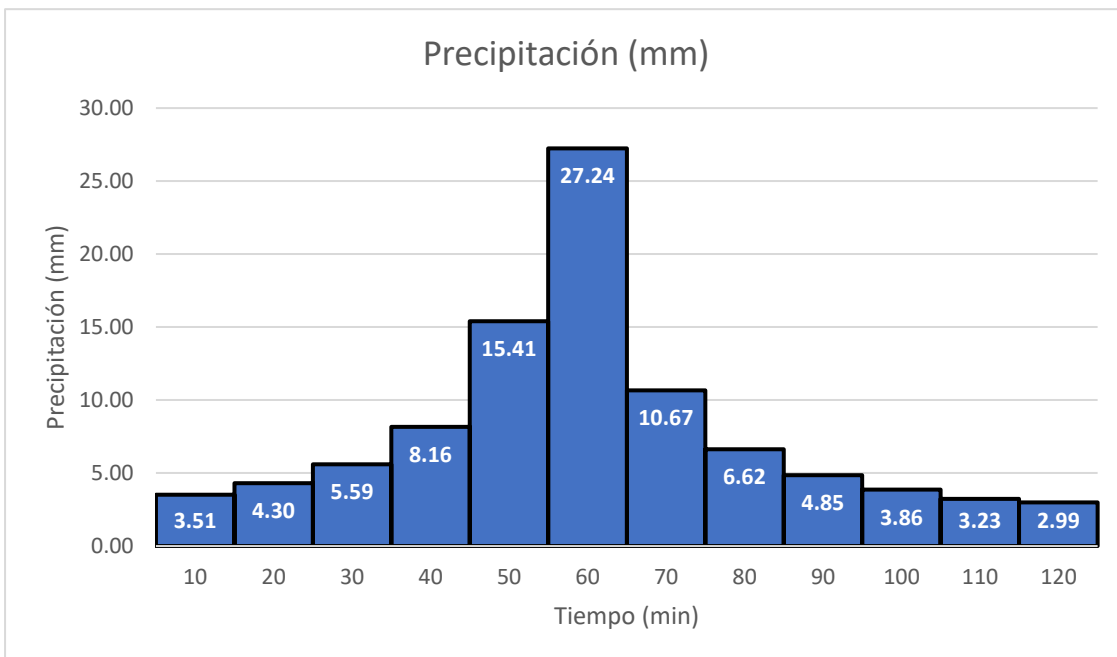


Figura 4.5: Hietogramas para 10 años de recurrencia (Fuente: Elaboración propia).

CAPÍTULO 5

Simulación hidrológica

5.1 Generalidades

La simulación hidrológica fue utilizada en este estudio para estimar los hidrogramas de salida de cada una de las cuencas, para luego poder dimensionar los componentes hidráulicos necesarios.

En este caso, se realizaron dos tandas de simulaciones: la primera utilizando una lluvia de diseño correspondiente a un tiempo de recurrencia de 5 años para el dimensionamiento de la red de drenaje, mientras que para la segunda tanda de simulación fue de verificación ocupándose una recurrencia de 10 años.

En el presente capítulo se expone el procedimiento utilizado para la modelación con sus correspondientes resultados.

5.2 Características del modelo

Se optó por trabajar con el modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, debido a su amplio uso y reconocimiento a nivel mundial.

Dicho modelo permite simular la transformación de lluvia en escorrentía a partir de la lluvia de diseño y de los parámetros que describen a la cuenca. Para ello, trabaja con tres módulos distintos que definen el proyecto en estudio (Fuente: Morresi et al, 2015).

1. **Módulo de precipitación:** permite seleccionar la distribución temporal de la precipitación para generar la simulación, de acuerdo a las características de la cuenca.
2. **Módulo de la cuenca:** sirve para la representación física de las cuencas en estudio, teniendo en cuenta también el uso de suelo correspondiente.
3. **Módulo de control:** permite seleccionar las fechas de inicio y finalización de la simulación, como así también los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Deben introducirse los datos correspondientes a cada uno de estos módulos antes de poder generar una corrida de simulación.

5.3 Datos utilizados para la simulación

5.3.1 Módulo de precipitación

Se introdujeron de forma manual los hietogramas correspondientes a las lluvias de diseño, presentados en el apartado 4.4.

5.3.2 Módulo de cuenca

a) Área de la cuenca: se cargaron las áreas de cada cuenca, en hectáreas, según lo expuesto en la tabla 3.1.

b) Método de pérdidas: permite elegir entre distintos métodos para estimar las pérdidas por infiltración y calcular la precipitación efectiva. En este caso, se eligió el método de la curva número del SCS, el cual ya ha sido descrito en el apartado 4.1.1. Para utilizarlo, deben introducirse los valores de CN, los porcentajes de áreas impermeables y las abstracciones iniciales (Ia). En el caso de este último parámetro, de no especificarse un valor, el programa asumirá que toma el valor de 0,2 veces la retención potencial máxima (S).

b.1) Porcentaje de área impermeable: “las áreas impermeables son aquellas en que el excedente pluvial es directamente vertido al sistema de drenaje, sin infiltrar en un área permeable anteriormente” (Morresi et al, 2015). Hay que destacar que en Paso de la Patria no existe un sistema drenaje muy elaborado para los excedentes pluviales y gran parte de las zonas impermeables no se encuentran directamente conectadas a dicho sistema. Es por ello que el criterio adoptado fue el de considerar las áreas impermeables directamente en el valor de CN.

b.2) Curva número y abstracción inicial: se utilizaron los CN presentados en las tablas 4.3 y 4.4, correspondientes a la situación futura y en condiciones húmedas (condición crítica).

En cuanto a la abstracción inicial, se utilizó la fórmula propuesta por Wisner (1989), la cual fue adaptada para las cuencas de la zona según distintos, según la fórmula [5.1]:

$$Ia = S^{0,52} \quad [5.1]$$

Siendo:

Ia: Abstracción inicial

S: Retención potencial máxima

c) Método de transformación: se refiere al procedimiento utilizado para calcular la escorrentía generada a partir de la lluvia neta o efectiva. Se escogió el método del SCS, para el cual se debe ingresar el tiempo al pico (*lag time*) y el tipo de gráfico.

En cuanto al primero, se adoptaron valores de 0,6 veces el tiempo de concentración (t_c), según las recomendaciones que se pueden encontrar en el manual del usuario del programa. Por otro lado, se utilizó el tipo de gráfico estándar.

5.3.3 Módulo de control

Se debió especificar el intervalo de análisis para la simulación. Siendo que las cuencas urbanas tienen una respuesta más rápida que las rurales y pueden existir variaciones de caudal considerables en intervalos relativamente cortos, se eligieron intervalos de 10 minutos de duración, ya que permite presentar la rama ascendente de los hidrogramas con lo por lo menos 3 puntos.

A continuación, se presenta en la tabla 5.1 un resumen de los datos utilizados para la simulación.

Tabla 5.1. Datos utilizados para la modelación (Fuente: elaboración propia).

Cuencas		Área	CN	Tc	Tp	S	la
		ha		hs	hs	mm	mm
P	1	43,43	61	0,71	0,43	162	14,1
	2	49,59	64	1,56	0,94	143	13,2
	3	34,43	67	0,55	0,33	125	12,3
	4	45,61	66	1,01	0,61	131	12,6
	5	46,45	65	1,04	0,63	137	12,9
	6	79,07	60	1,28	0,77	169	14,4
	7	81,8	57	1,80	1,08	192	15,4
H	1	22,34	57	0,48	0,29	192	15,4
	2	35,91	59	0,64	0,38	177	14,7
	3	45,55	61	0,63	0,38	162	14,1
	4	39,72	68	1,15	0,69	120	12,0
	5	39,75	64	1,53	0,92	143	13,2
	6	119,07	61	1,84	1,11	162	14,1
	7	125,48	59	2,00	1,24	177	14,7
	8	61,31	55	1,36	0,81	208	16,0
	9	68,06	55	0,72	0,43	208	16,0

5.4 Resultados

5.4.1. Resultados de un evento de diseño de 5 años de Tiempo de Recurrencia

A continuación, en la Tabla 5.2 se pueden observar los resultados obtenidos para la tormenta de diseño de 5 años de recurrencia.

Tabla 5.2. Resultados de la modelación (Fuente: elaboración propia).

Cuencas		Qp	Vol	Vol	qp unitario
		m3/s	mm	(1000)m3	m3/s.ha
P	1	2,4	22,4	9,7	0,055
	2	2	24,28	12	0,040
	3	2,6	27,08	9,3	0,076
	4	2,4	25,73	11,7	0,053
	5	2,4	25	11,6	0,052
	6	3,1	21,13	16,7	0,039
	7	2,4	19,28	15,8	0,029
H	1	1,2	18,87	4,2	0,054
	2	1,8	20,02	7,2	0,050
	3	2,4	21,13	9,6	0,053
	4	2,1	27,08	10,8	0,053
	5	1,6	24,28	9,7	0,040

	6	3,8	21,05	25,1	0,032
	7	3,3	19,27	24,2	0,026
	8	1,9	17,33	10,6	0,031
	9	2,8	17,33	11,8	0,041

A modo de ejemplo, se presenta la cuenca P4, que se dividió en subcuencas y para los cuales se calculó nuevamente los parámetros hidrológicos, obteniéndose el hidrograma de salida de cada subcuenca que será utilizado en el siguiente capítulo para el dimensionamiento de los elementos hidráulicos. (Tabla 5.3, 5.4 y 5.5 y Figura 5.1, 5.2 y 5.3). Los hidrogramas de las otras cuencas se encuentran en el Anexo.

Tabla 5.3. Hidrograma de salida subcuenca P4A (Fuente: elaboración propia).

P4A				
Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdidas(mm)	Excesos(mm)	Q(m ³ /s)
00:00				0
00:10	3,21	3,21	0	0
00:20	3,87	3,87	0	0
00:30	4,95	4,95	0	0
00:40	7,08	6,81	0,27	0
00:50	13,27	11,04	2,23	0,1
01:00	24,35	15,9	8,45	0,4
01:10	9,18	4,9	4,28	1
01:20	5,81	2,86	2,95	1,3
01:30	4,33	2,02	2,31	1,3
01:40	3,51	1,57	1,94	1,1
01:50	2,97	1,29	1,68	0,9
02:00	2,77	1,17	1,6	0,7
02:10	0	0	0	0,6
02:20	0	0	0	0,4
02:30	0	0	0	0,2
02:40	0	0	0	0,1
02:50	0	0	0	0,1
03:00	0	0	0	0
03:10	0	0	0	0

Tabla 5.4. Hidrograma de salida subcuenca P4B (Fuente: elaboración propia).

P4B				
Tiempo	Precipitación (mm)	Pérdidas(mm)	Excesos(mm)	Q(m3/s)
00:00				0
00:10	3,21	3,21	0	0
00:20	3,87	3,87	0	0
00:30	4,95	4,95	0	0
00:40	7,08	6,81	0,27	0
00:50	13,27	11,04	2,23	0
01:00	24,35	15,9	8,45	0,2
01:10	9,18	4,9	4,28	0,5
01:20	5,81	2,86	2,95	0,7
01:30	4,33	2,02	2,31	0,7
01:40	3,51	1,57	1,94	0,6
01:50	2,97	1,29	1,68	0,5
02:00	2,77	1,17	1,6	0,5
02:10	0	0	0	0,4
02:20	0	0	0	0,3
02:30	0	0	0	0,2
02:40	0	0	0	0,1
02:50	0	0	0	0,1
03:00	0	0	0	0
03:10	0	0	0	0

Tabla 5.5. Hidrograma de salida subcuenca P4C (Fuente: elaboración propia).

P4C				
Tiempo	Precipitacion (mm)	Perdidas(mm)	Excesos(mm)	Q(m3/s)
00:00				0
00:10	3,21	3,21	0	0
00:20	3,87	3,87	0	0
00:30	4,95	4,95	0	0
00:40	7,08	6,81	0,27	0
00:50	13,27	11,04	2,23	0
01:00	24,35	15,9	8,45	0,2
01:10	9,18	4,9	4,28	0,5
01:20	5,81	2,86	2,95	0,8
01:30	4,33	2,02	2,31	0,9
01:40	3,51	1,57	1,94	0,9
01:50	2,97	1,29	1,68	0,7
02:00	2,77	1,17	1,6	0,6

02:10	0	0	0	0,5
02:20	0	0	0	0,4
02:30	0	0	0	0,3
02:40	0	0	0	0,2
02:50	0	0	0	0,1
03:00	0	0	0	0,1
03:10	0	0	0	0
03:20	0	0	0	0

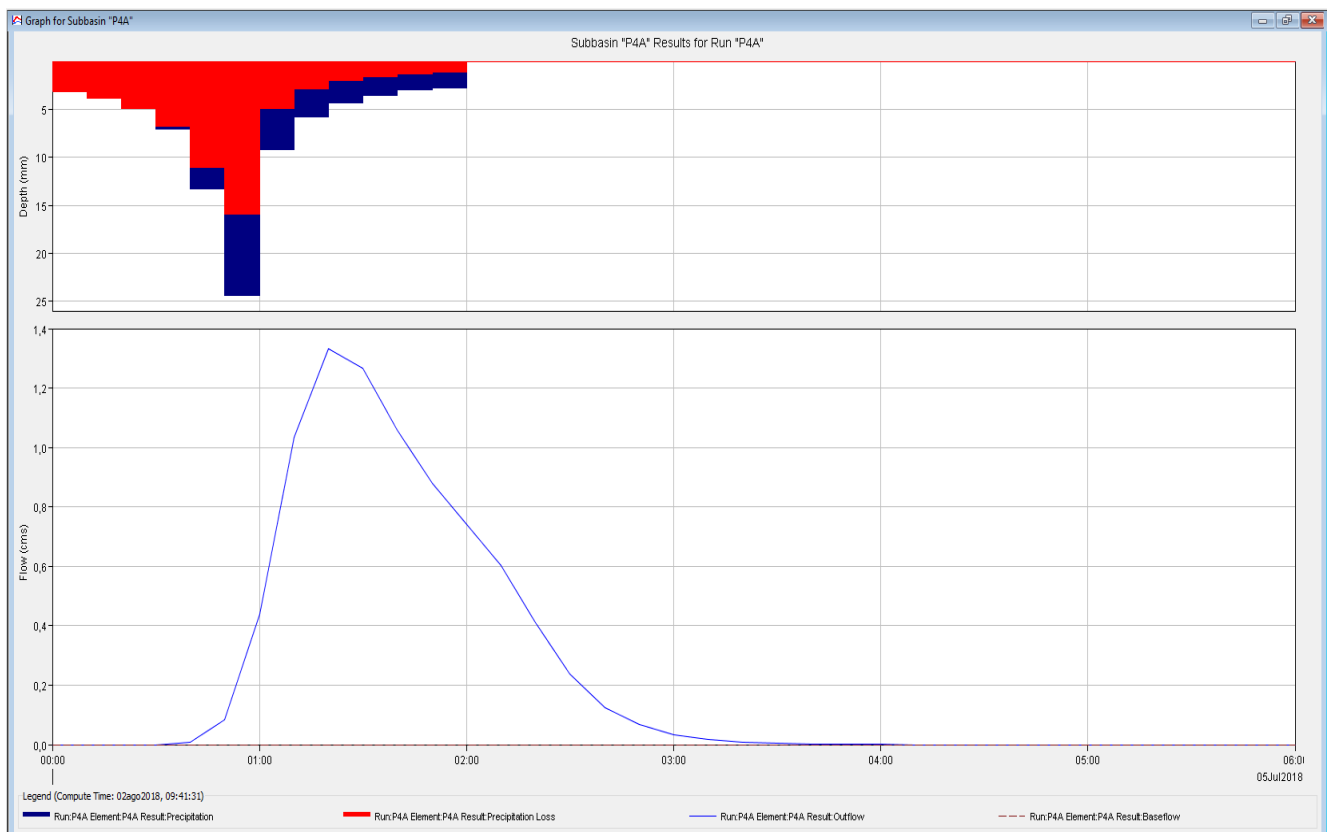


Grafico.5.1. Hidrograma resultante cuenca P4A. (Fuente: elaboración propia)

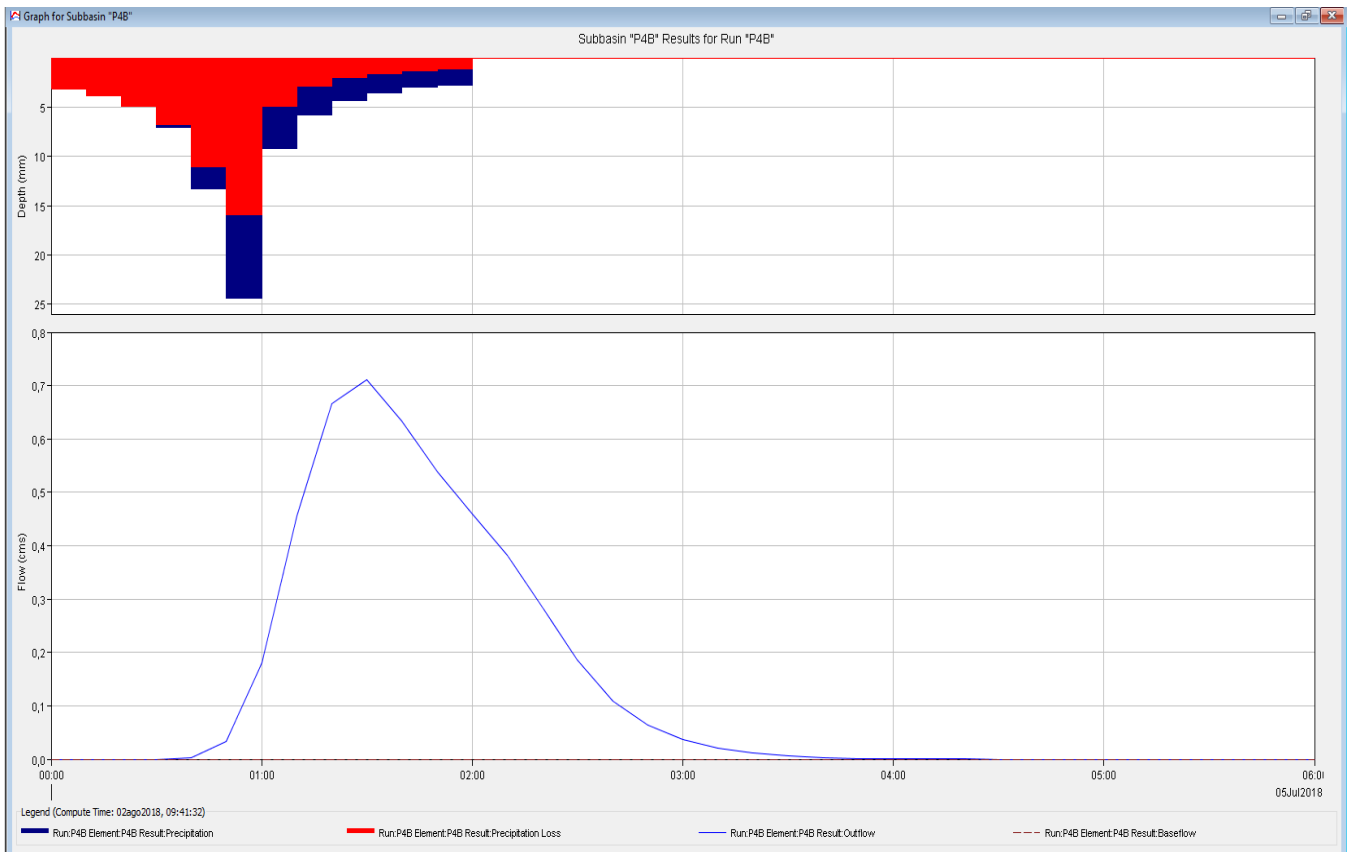


Grafico.5.2. Hidrograma resultante cuenca P4B. (Fuente: elaboración propia)

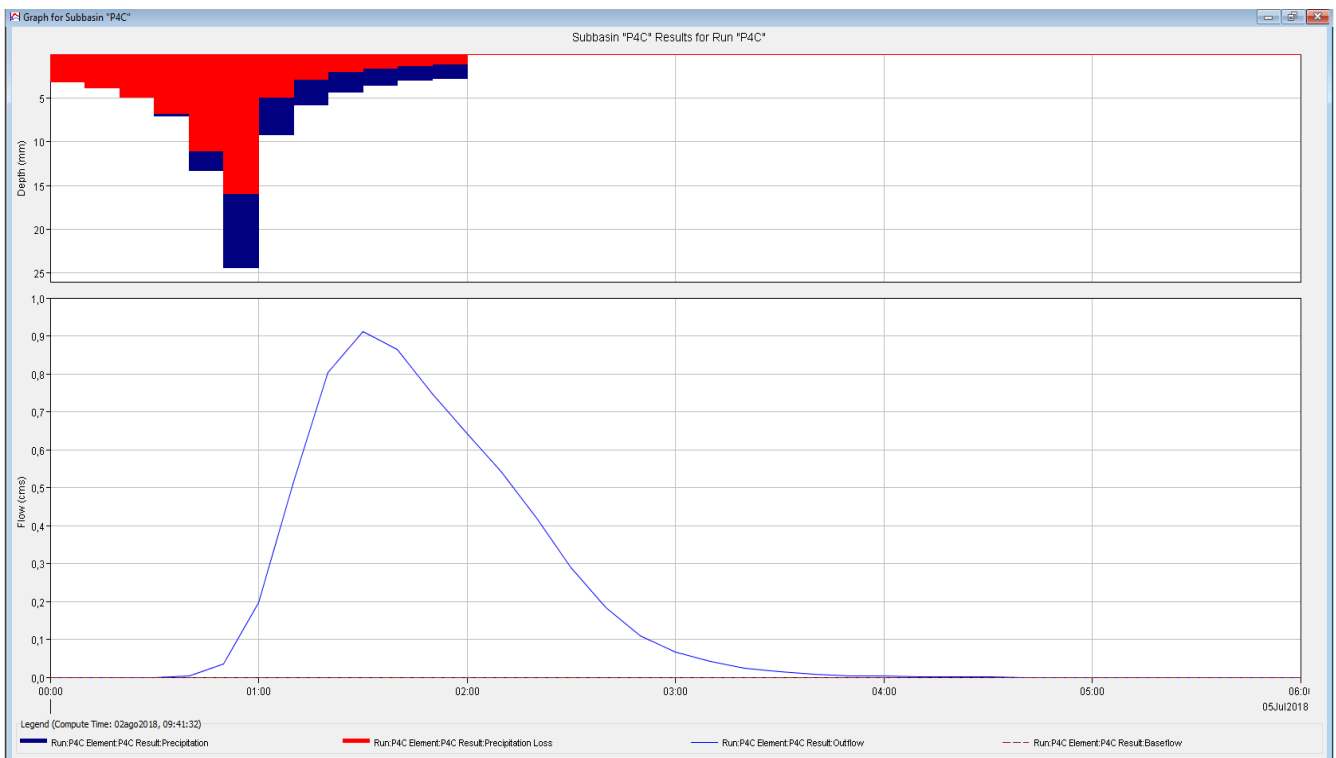


Grafico.5.3. Hidrograma resultante cuenca P4B. (Fuente: elaboración propia)

5.4.1. Resultados de un evento de diseño de 10 años de Tiempo de Recurrencia

Los mismos se utilizaron para el predimensionamiento de los elementos hidráulicos que componen el macrodrenaje, como ser reservorios, bombas y compuertas, además de verificar el efecto de la tormenta. Se adjuntan en la Tabla 5.6 dichos resultados.

Tabla 5.6. Resultados de la modelación (Fuente: elaboración propia)

Cuencas		Qp	Vol	Vol	qp unitario
		m3/s	mm	(1000)m3	m3/s.ha
P	1	3	27,75	12,1	0,069
	2	2,5	30,74	15,2	0,050
	3	3,3	34,02	11,7	0,096
	4	3,1	32,48	14,8	0,068
	5	3	31,61	14,7	0,065
	6	3,9	26,99	21,3	0,049
	7	3	24,21	19,8	0,037
H	1	1,6	24,28	5,4	0,072
	2	2,3	24,99	9	0,064
	3	3,1	26,99	12,3	0,068
	4	2,7	34,02	13,5	0,068
	5	2	29,91	11,9	0,050
	6	4,8	26,9	32	0,040
	7	4,3	24,78	31,1	0,034
	8	2,5	22,44	13,8	0,041
	9	3,7	22,44	15,3	0,054

CAPÍTULO 6

Soluciones propuestas

6.1. Introducción

Como se ha descripto anteriormente, Paso de la Patria se encuentra dentro del valle de inundación del río Paraná, por lo que se ve afectada con cierta frecuencia por inundaciones de origen fluvial. Ello no sólo produce el anegamiento de las zonas más bajas y próximas a la costa, sino que dificulta o impide el drenaje por gravedad de los excesos pluviales.

Es por ello que a la hora de plantear las soluciones posibles para los problemas de desagües pluviales se tuvo en cuenta una posible traza de defensa en carpeta de obras públicas que se complementa con la ya existente a orillas del arroyo Huajó, y se buscó compatibilizar los desagües que se proyectan con dicho sistema de defensas.

6.2. Defensa contra inundaciones

6.2.1 Estudio estadístico

Para determinar la cota de diseño de la defensa planteada se optó por utilizar el análisis estadístico realizado en un trabajo anterior por Anonis, Arengo y Rivas (“Anteproyecto de defensas de Paso de la Patria – Corrientes” - 2017).

En dicho estudio, se realizó un análisis de frecuencia a partir de dos series de eventos máximos anuales: una de alturas y otra de caudales, para el período 1963-2014. Para el mismo se utilizaron datos medios diarios.

Para la serie de alturas se utilizaron mediciones realizadas en la escala hidrométrica ubicada en el km 1.242 del río Paraná, a la altura de Paso de la Patria, provistas por la Dirección Nacional de Vías Navegables.

Para la serie de caudales, por otro lado, se emplearon datos facilitados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Estos corresponden a la sección Corrientes Capital, localizada en el km 1.208 del río Paraná.

De este estudio se obtuvieron las alturas del río asociadas a distintas recurrencias, referidas a cotas IGN. Asimismo, se obtuvo el área de inundación asociada (tabla 6.1).

Tabla 6.1. Alturas del río y áreas afectadas para las distintas recurrencias. (Fuente: Anonis, Arengo y Rivas, 2017)

TR (años)	Cota IGN (m)	Área (km ²)
5	50,47	2,48
20	51,76	8,35
50	52,56	9,93
100	53,26	13,64

6.2.2 Cota de diseño adoptada para la defensa

En base al estudio estadístico anterior, se optó por elegir una cota de diseño de 51,76 m (IGN), correspondiente a un evento de 20 años de tiempo de recurrencia. La elección se basó en el hecho de que una altura mayor sería incompatible con las actividades económicas de Paso de la Patria, teniendo en cuenta que esta localidad atrae gran cantidad de turistas debido a sus balnearios y vistas al río. Elegir una recurrencia de 50 años, por ejemplo, equivaldría a efectuar una defensa de al menos dos metros en la costanera, siendo ésta uno de los principales atractivos de la ciudad.

6.2.3 Traza sugerida para la defensa

En función de lo expuesto anteriormente, y mediante el análisis de las curvas de nivel, se realizó una propuesta de traza complementaria a la defensa existente, que proteja los terrenos ubicados por debajo de la cota de diseño (figura 6.1 y plano anexo N° 8). La misma posee una longitud de 8,86 km.

Debe aclararse que la propuesta se trata de una defensa abierta, que permite que se inunden las áreas cercanas al arroyo Huajó en la zona este de la ciudad para el evento de diseño (figura 6.2). Se optó por ello debido a que es una zona muy poco habitada actualmente. Además, con esto se logra acortar la traza de la defensa de manera importante, resultando una obra más económica. Se recomienda, no obstante, imponer restricciones severas al uso del suelo en la zona citada, según lo expuesto en la Ley 5.588 de la provincia de Corrientes – “Determinación de la línea de ribera y régimen de uso de los bienes inmuebles en áreas inundables”. Anonis, Arengo y Rivas, por ejemplo, han recomendado que en áreas potencialmente inundables ante eventos de 20 años de recurrencia se prohíba la construcción de viviendas, a menos que éstas sean palafíticas. Otra sugerencia sería utilizar estas áreas como zonas recreativas, tales como parques, canchas de deportes, etc.

En la tabla 6.2 se presentan las superficies que se protegerán adoptando la defensa propuesta, como así también aquellas que se verán anegadas ante la crecida de 20 años de recurrencia.



Figura 6.1. Defensa actual y defensa proyectada (Fuente: elaboración propia).

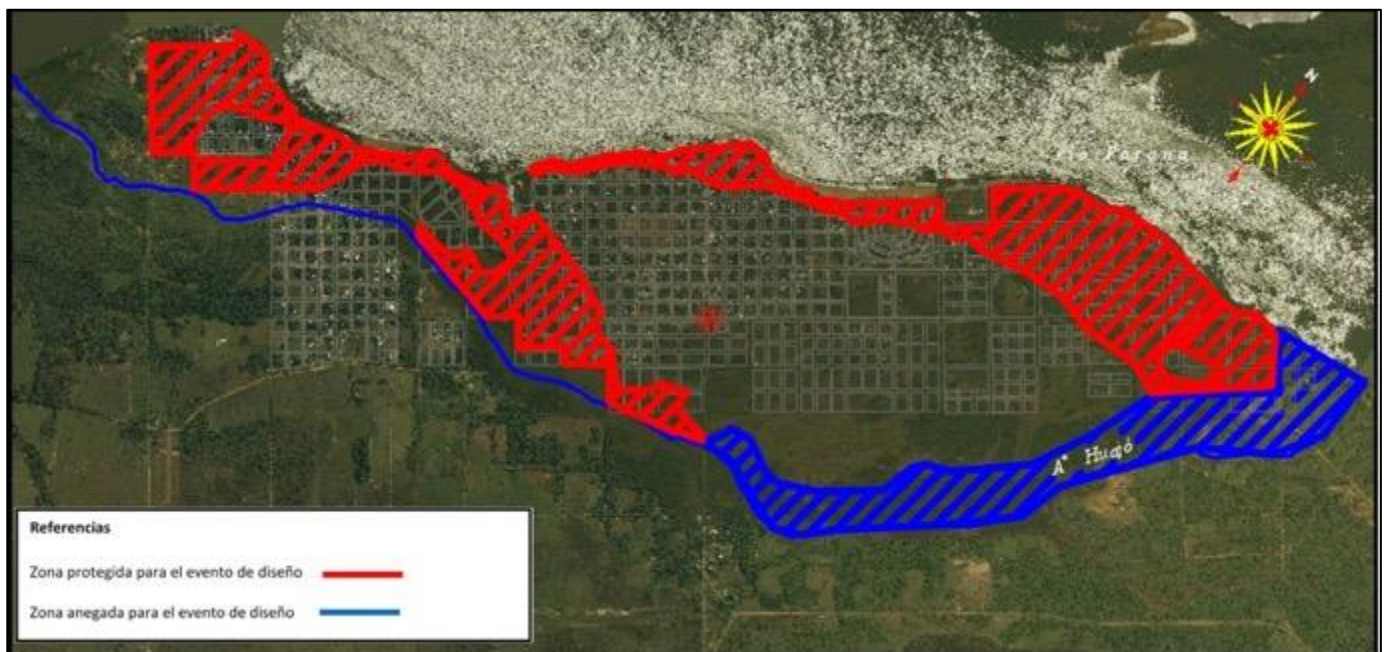


Figura 6.2. Zona protegida y zona inundable (Fuente: elaboración propia).

Tabla 6.2. Superficies protegidas y anegables ante una crecida de 20 años de TR (Fuente: elaboración propia)

	Superficie (Ha)
Zona protegida	253,40
Zona anegable	114,18

6.3 Áreas anegables para una tormenta de diseño de 5 años de TR

Tanto la traza de la defensa existente como la propuesta impiden el escurrimiento libre de la cuenca. Esto ocasiona la retención de los volúmenes precipitados no infiltrados, generando el anegamiento de las zonas bajas, como también las adyacentes a la defensa mencionada.

Conociendo los volúmenes de esorrentía en cada cuenca para una tormenta de duración de 5 años de tiempo de recurrencia, junto con la ayuda de las curvas de nivel y el perfil topográfico de cada cuenca, se procedió a la determinación de las áreas anegables causadas por la propia precipitación (figura 6.3, plano anexo N° 9 y tabla 6.3).

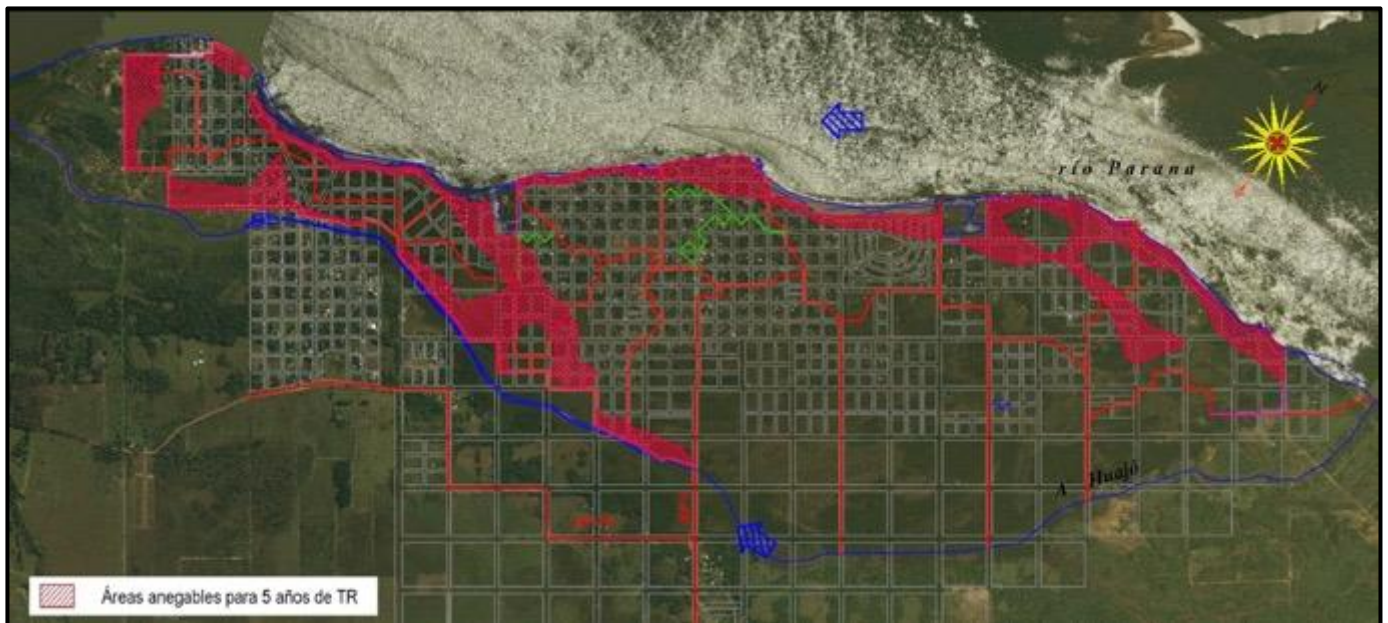


Figura 6.3. Zonas anegables para tormenta de diseño con 5 años de tiempo de recurrencia

Tabla 6.3. Áreas anegadas en cada cuenca ante el evento de precipitación de TR igual a 5 años (Fuente: elaboración propia).

Cuenca	Superficie anegada (ha)
P-1	1,5
P-2	15,35
P-3	3,2
P-4	10
P-5	6,5
P-6	18,7
P-7	18,1
H-1	7
H-2	2,1
H-3	12,8
H-4	8,4
H-5	3,3
Total	106,95

6.4 Intervenciones propuestas por cuencas

Las soluciones propuestas por el Plan Director de Drenaje Urbano de Paso de la Patria consisten en medidas estructurales y no estructurales.

Con respecto a las medidas estructurales, se propuso adaptar el sistema de drenaje pluvial a las defensas contra inundaciones mediante la implementación de canales, reservorios y estaciones de bombeo.

6.4.1 Canales

Para definir la traza de los canales se buscó de seguir los puntos más bajos de cada cuenca, siguiendo el sentido descendente de las curvas de nivel (o paralelo a ellas) hasta el punto de salida.

En la mayoría de las cuencas se evitó la solución mediante conductos enterrados, debido a que estos en general requieren tapadas de 0,8 m si van en veredas y 1,20m si se los ubican en calles, lo cual demanda un gran movimiento de suelo para su materialización. Además, requiere que se interrumpa el tránsito en la calle durante su construcción, y en los casos donde hay pavimento se lo debe romper, lo cual genera mayor costo y malestar entre los vecinos y turistas.

Para el dimensionamiento de los canales se optó por utilizar el concepto del caudal específico, que es el caudal por unidad de superficie. Para ello se consideraron áreas de

aporte para determinar el máximo caudal a transportar por cada tramo del canal, considerando el evento de precipitación de 5 años de recurrencia. Luego, se verificó que la condición que se dé para la lluvia de 10 años sea aceptable mediante la modelación hidráulica. Para dimensionar las secciones se utilizó la fórmula de Manning (ecuación 6.1). Para mayor detalle, recurrir a las tablas de los anexos.

$$Q = \frac{1}{n} A x Rh^{2/3} x S^{1/2} \quad [6.1]$$

Siendo:

n = coeficiente de rugosidad de Manning (en este caso para unidades métricas)

A = área de la sección transversal del canal (m²)

Rh = radio hidráulico de la sección transversal del canal (m)

S = pendiente del canal (m/m)

La mayoría de los canales se proyectaron revestidos, lo cual posee varias ventajas:

- Resulta más estético.
- Poseen menor rugosidad que los canales sin revestir, aumentando su eficiencia hidráulica y reduciendo las secciones necesarias. Esto es muy importante ya que a menudo no se dispone de mucho espacio en la traza urbana.
- Hace que los canales sean menos erosionables. Esto es de importancia en la zona de estudio, ya que se pudo comprobar la existencia de erosión en algunos canales presentes en la ciudad (figura 6.4).
- Las conexiones domiciliarias clandestinas de desagües cloacales son más fáciles de detectar.

Para los canales ubicados en las zonas más urbanizadas se propuso colocar tapas de hormigón armado por razones estéticas, ambientales y de seguridad: al estar descubiertos existe la posibilidad de que la gente arroje basura o de que niños sufran accidentes, por ejemplo. Dichas tapas pueden aprovecharse también para otros usos, como bicisendas.



Figura 6.4. Erosión en la base y el talud de un canal existente en la ciudad (Fuente: elaboración propia).

Se puede observar en la Tabla 6.11 al final del capítulo las propuestas técnicas a realizar en cada cuenca. En esta se indica el tipo de intervención a realizar, las dimensiones geométricas y el tipo de revestimiento. También contempla, en el caso de que posea reservorio, el volumen que posee y el caudal de bombeo que se va a utilizar.

En la figura 6.5 se puede ver la ubicación de los canales y reservorios propuestos (ver también plano anexo N° 10).

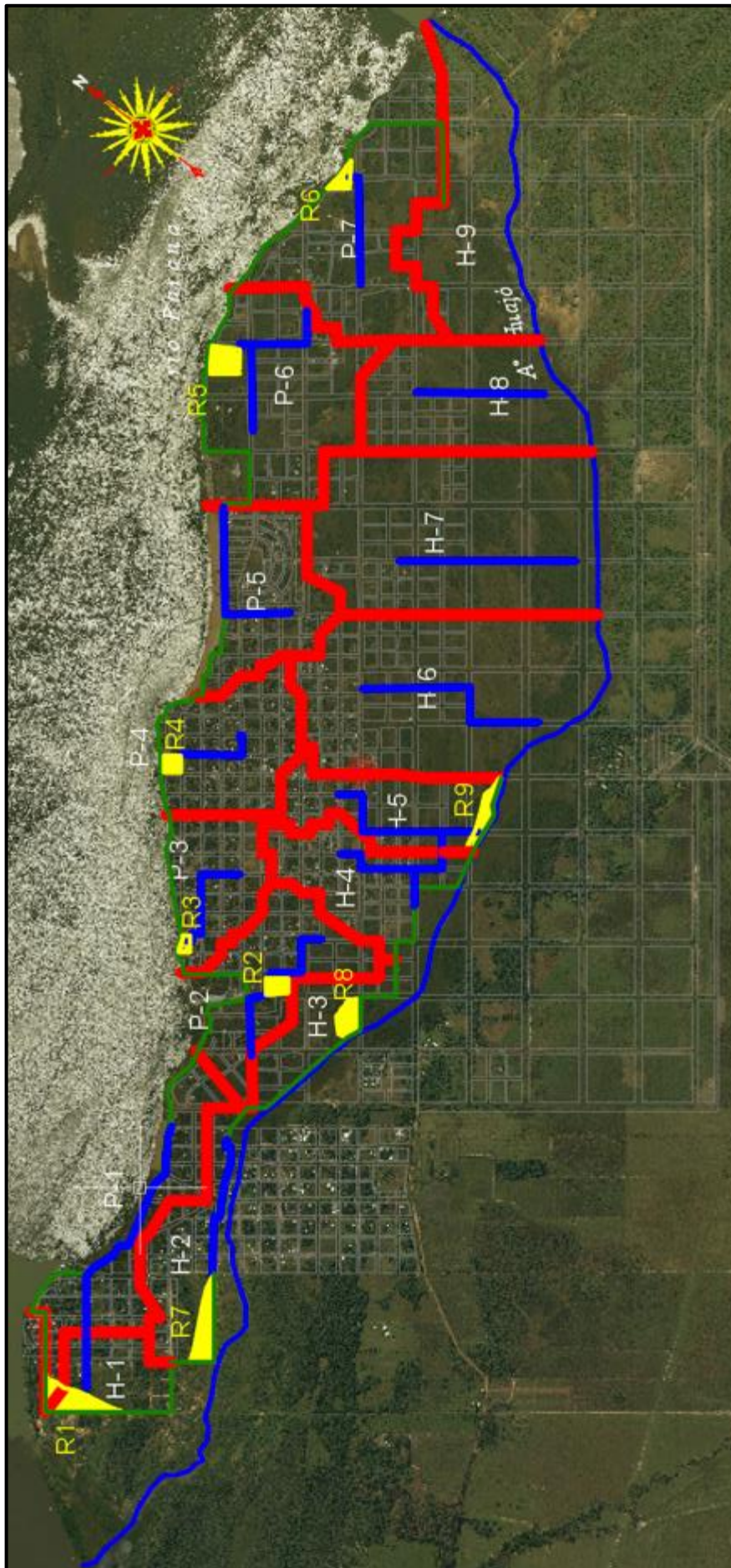






Figura 6.5. Ubicación de canales y reservorios (Fuente: elaboración propia).

Referencias	
Sistema de defensas	
Parteaguas de cuencas	
Canales	
Reservorios	

6.4.2 Reservorios y caudales de bombeo

Los reservorios fueron proyectados con la función de acumular el agua proveniente de la precipitación para su posterior bombeo por encima de la defensa. A su vez, también permite la reducción del caudal pico de diseño para las obras de salida. Según Riccardi (2004), “las estructuras de detención generalmente no reducen en forma significativa el volumen total de la escorrentía superficial, sino que simplemente reducen las tasas de caudal pico redistribuyendo el hidrograma de caudal” (ver figura 6.6).

“El volumen del embalse necesario para atenuar una crecida es aquel volumen encerrado entre el hidrograma entrante y el saliente” (Riccardi, 2004). Además, el hidrograma saliente depende fundamentalmente del:

(a) Hidrograma entrante $Q = f(t)$

(b) Variación del volumen del embalse en función de la cota del pelo de agua en el embalse $V = f(z)$

(c) Variación del caudal saliente por la obra de salida en función de la cota en el embalse $Q_s = f(z)$

“Al proceso mediante el cual se hace transitar la crecida por el embalse lográndose el efecto de disminuir su caudal máximo y extender su base temporal se lo suele denominar entre otras terminologías “laminar una crecida” o “amortiguar una crecida”” (Riccardi, 2004).

“Como el problema es implícito (no se puede hacer el dimensionamiento definitivo de las obras de descarga porque no se conoce el caudal máximo saliente, pero por otro lado no se puede determinar el caudal máximo mediante la laminación de la crecida sin conocer las obras de descarga) debe resolverse mediante una metodología del tipo proposición – verificación” (Riccardi, 2004).

Para el tránsito de caudales a través de los embalses se utilizó el módulo hidráulico del modelo EPA-SWMM, el cual resuelve las ecuaciones de Saint – Venant por diferencias finitas. La utilización de dicho programa se explica más adelante en el apartado 6.5.

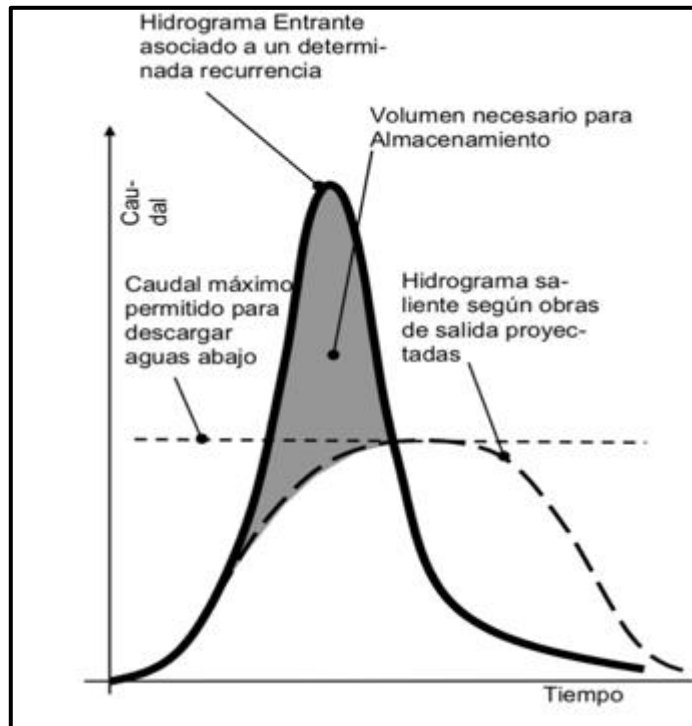


Figura 6.6. Efecto de redistribución del hidrograma producido por las estructuras de detención (Fuente: Riccardi, 2004)

Para el caso de las cuencas pertenecientes a la vertiente del arroyo Huajó y cuyo escurrimiento se ve interrumpido por la defensa actual (cuencas H-1, H-2, H-4 y H-5), se procuró utilizar como reservorios una serie de bajos naturales que se encuentran próximos al terraplén. El cálculo de su volumen y de la superficie a inundar se realizó a partir del estudio de las curvas de nivel (figura 6.7 y tabla 6.4). En estos casos, al ser conocido el volumen, solamente se debió proponer un caudal de bombeo para su posterior verificación.



Figura 6.7. Cálculo del volumen de un reservorio a partir de las curvas de nivel (Fuente: elaboración propia)

Tabla 6.4. Volúmenes y áreas inundadas para cada reservorio del macrosistema Huajó (Fuente: elaboración propia).

Reservorios cuencas del Huajó				
	Volumen (m3)	Área inundada (m2)	Cota inferior (IGN)	Cota superior (IGN)
R1	7.522	35.782	48,25	49,75
R7	13.391	31.983	48,75	50,25
R8	4.507	20.593	49	50,25
R9	4.082	18.095	49,75	50,75

En el caso de las cuencas que vierten al Paraná, por otro lado, al no existir bajos naturales, se propuso la ejecución de reservorios, preferentemente en espacios públicos. Para determinar los volúmenes de dichas obras de detención se tuvieron en cuenta los volúmenes de escorrentía obtenidos de la simulación hidrológica para el evento de 10 años de recurrencia.

Aquí se optó por proponer un caudal de bombeo y utilizar la relación geométrica propuesta por el método de Abt y Grigg para hallar el volumen del embalse (figura 6.8). Dicho procedimiento considera un hidrograma triangular a la salida de la cuenca, y uno

trapezoidal para las obras a la salida del embalse. Esto sirvió para una primera aproximación, luego los volúmenes y caudales de bombeo fueron ajustados mediante la modelación y simulación hidráulica.

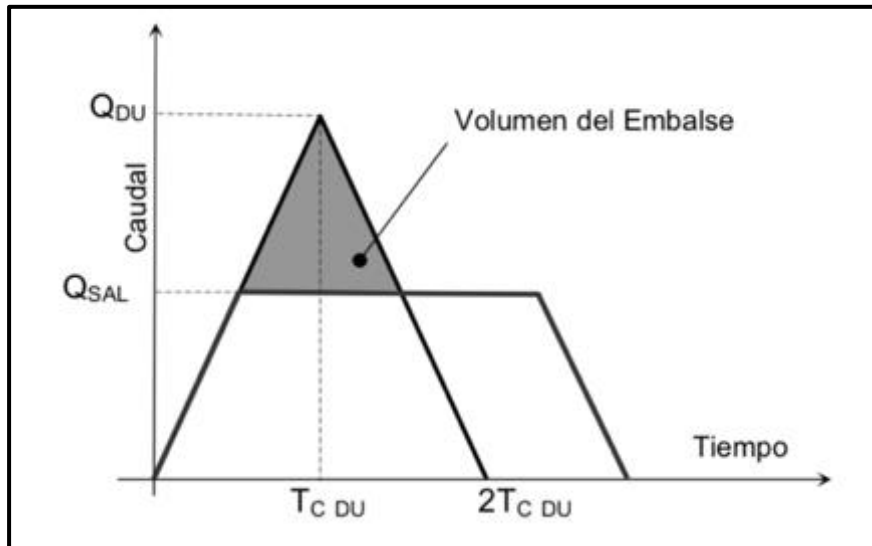


Figura 6.8. Método de Abt y Grigg (Fuente: Rojas, 2001 – citado por Riccardi)

En la tabla 6.5 se pueden observar un dimensionamiento preliminar de los reservorios y los caudales de bombeo para las cuencas del macrosistema Paraná.

Tabla 6.5. Pre-dimensionamiento de los caudales de bombeo y volúmenes de reservorios para las cuencas del Paraná utilizando la relación geométrica propuesta por Abt y Grigg (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Qpico	Volumen de escorrentía	Caudal de bombeo	Volumen de reservorio	Denominación de reservorio
	m ³ /s	m ³	m ³ /s	m ³	
P2	2,5	15.200	0,5	9.728	R2
P3	3,3	11.700	0,8	6.715	R3
P4	3,1	14.800	0,8	8.147	R4
P6	3,9	21.300	1	11.777	R5
P7	3	19.800	0,6	12.672	R6

Un caso particular es el de la cuenca P-5, la cual no posee terrenos utilizables para embalses, por lo que se decidió sobredimensionar los canales generando en ellos capacidad de almacenamiento.

6.5 Modelado Hidráulico

6.5.1 Generalidades del modelo utilizado

Para el modelado de funcionamiento de los componentes hidráulicos se utilizó el programa EPA-SWMM (Modelo de Gestión de Aguas Pluviales, por sus siglas en inglés), el cual ha sido desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Esta herramienta informática permite el manejo de redes de drenaje sin limitación de tamaño o forma. Además, permite el modelado de reguladores de flujo, depósitos de retención y bombas, para las cuales se pueden definir reglas de control para los ciclos de encendido y bombeo. A su vez, se puede elegir entre distintos regímenes hidráulicos para el cálculo.

6.5.2 Implementación del modelo

Para la creación del proyecto de red se deben seleccionar las distintas opciones de simulación como, por ejemplo, el modelo hidráulico de transporte (figura 6.9). En el presente caso se optó por trabajar con la onda dinámica debido al quiebre de pendientes que presentan distintos canales, lo cual provoca que el pelo del agua del flujo transitado en el canal no sea paralelo al fondo de éste. Asimismo, permite evaluar los efectos de remanso que se producen cuando un canal o conducto no descargan libremente.

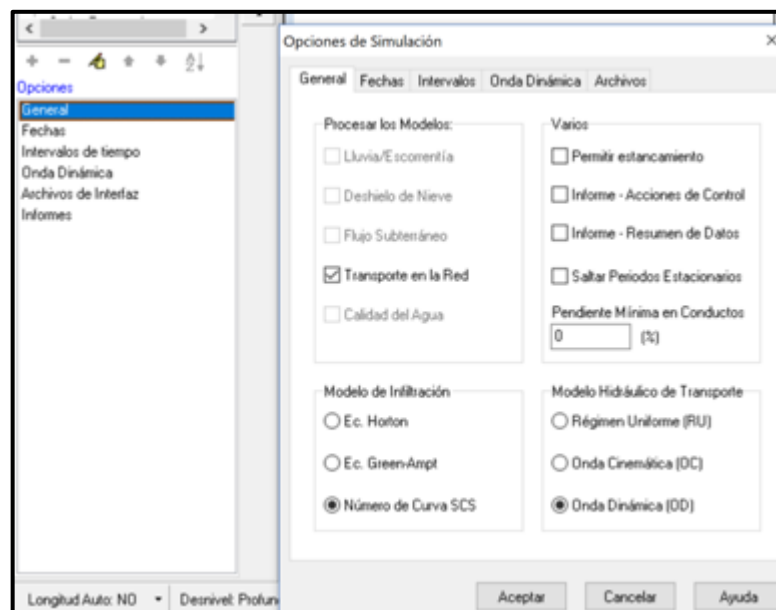


Figura 6.9. Opciones de Simulación del EPA-SWMM (Fuente: elaboración propia)

Este modelo permite la introducción de los hidrogramas obtenidos en la simulación hidrológica con otros programas, como el HEC-HMS (datos de entrada a los canales), mediante la opción de series temporales (figura 6.10).

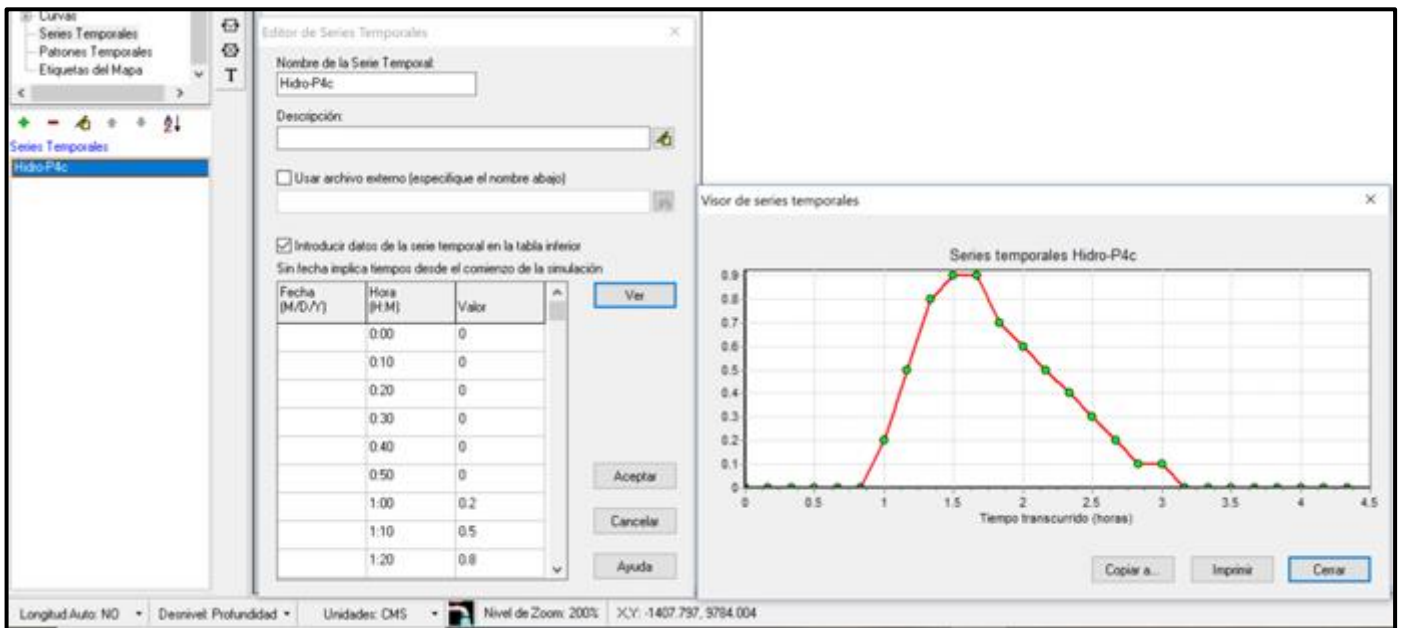











Figura 6.10. Editor de Series Temporales del EPA-SWMM (Fuente: elaboración propia)




Para la construcción de la red dentro del proyecto se disponen de diferentes elementos u objetos, representando cada uno de ellos un elemento físico (figura 6.11)



Figura 6.11. Barra de herramientas de objetos (Fuente: elaboración propia)

Estos objetos representan:

1.  lluvia o precipitación.
2.  una cuenca.
3.  un objeto de conexión o nodo.
4.  un objeto de vertido.
5.  un objeto divisor.
6.  un embalse.
7.  un objeto de conducción (canales o conductos).
8.  una bomba.
9.  un orificio.

10.  un vertedero.
11.  objeto de descarga.
12.  corresponde a un objeto de etiqueta de texto que puede ser agregada en el mapa del área de estudio.

En el presente proyecto se utilizaron los objetos “conexión o nodo”, “conductos”, “almacenamiento”, “bomba” y “vertido”, según lo representado en la figura 6.12.

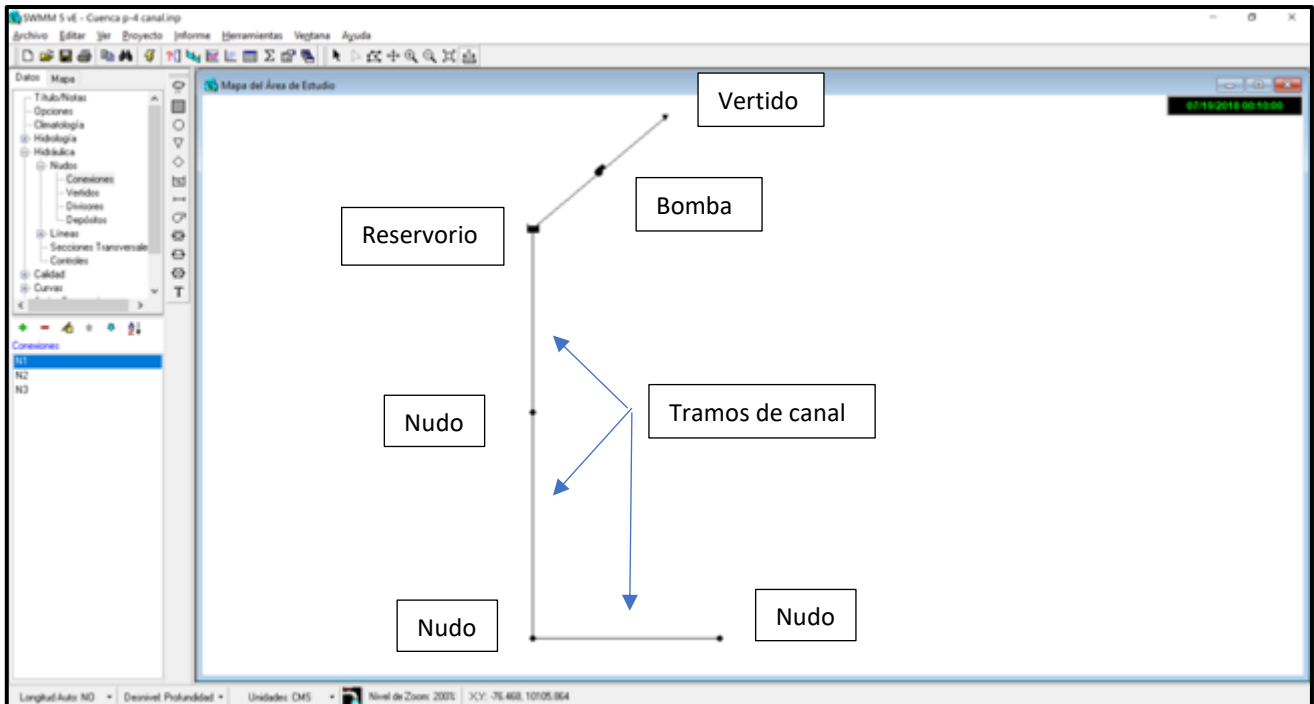


Figura 6.12. Captura de pantalla del proyecto de la Cuenca P-4 (Fuente: elaboración propia)

Para cada objeto se deben introducir los datos o las características de los elementos reales a modelar:

- Para el punto de vertido se debe introducir la cota de descarga.
- Para la bomba se deben introducir la curva de la misma y las reglas de funcionamiento
- Para el almacenamiento se debe introducir la cota de fondo de éste, junto con la superficie inundada para cada profundidad, a fin de calcular el volumen de almacenamiento y obtener la curva “nivel de agua – superficie inundada”.
- Para los conductos se deben introducir los valores del coeficiente de rugosidad de Manning, la longitud de éste y el tipo de sección.
- Para los puntos de conexión se deben introducir la cota de fondo del canal, la cota del terreno (opcional) y si recibe o no aportes de la serie temporal.

Para ingresar los datos de caudales a transportar por los canales se empezó por definir la superficie que drenaba cada tramo de canal y se obtuvo el cociente entre dicha área y el área total de la cuenca. Luego, basándose en el concepto de caudal específico, se consideró el hidrograma de entrada a cada nodo del canal como el hidrograma general de la cuenca multiplicado por dicho cociente.

A fines de comprobar la exactitud de este procedimiento y para su comparación se subdividió la cuenca P-4 en subcuencas y, como se estableció en el capítulo 5, se determinaron sus parámetros para modelar cada una de ellas con el programa HEC-HMS y obtener sus hidrogramas. Los mismos se cargaron en el modelo del canal en el EPA-SWMM y se realizó un análisis a fin de hallar las diferencias con el planteo antes descrito, concluyendo que hay una mínima diferencia en el tiempo al pico y el caudal pico de los hidrogramas de salida, siendo igual el volumen de escurrimiento (figuras 6.13 y 6.14).

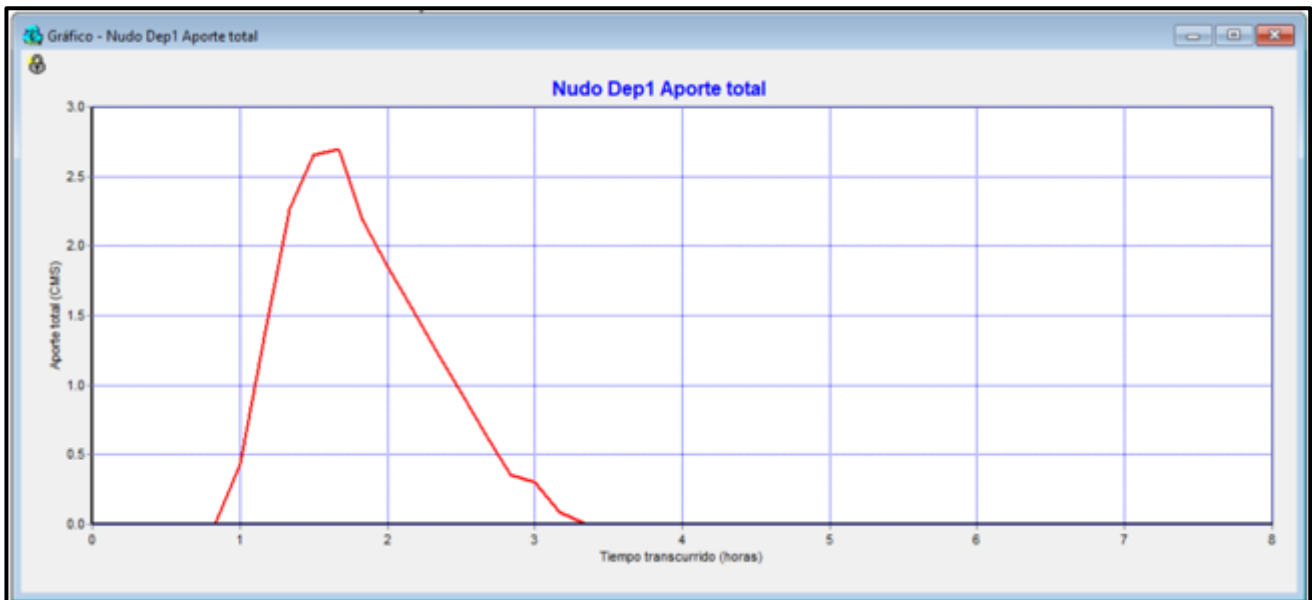


Figura 6.13. Hidrograma de salida de la cuenca P-4 teniendo en cuenta las Subcuencas de aporte (Fuente: elaboración propia)

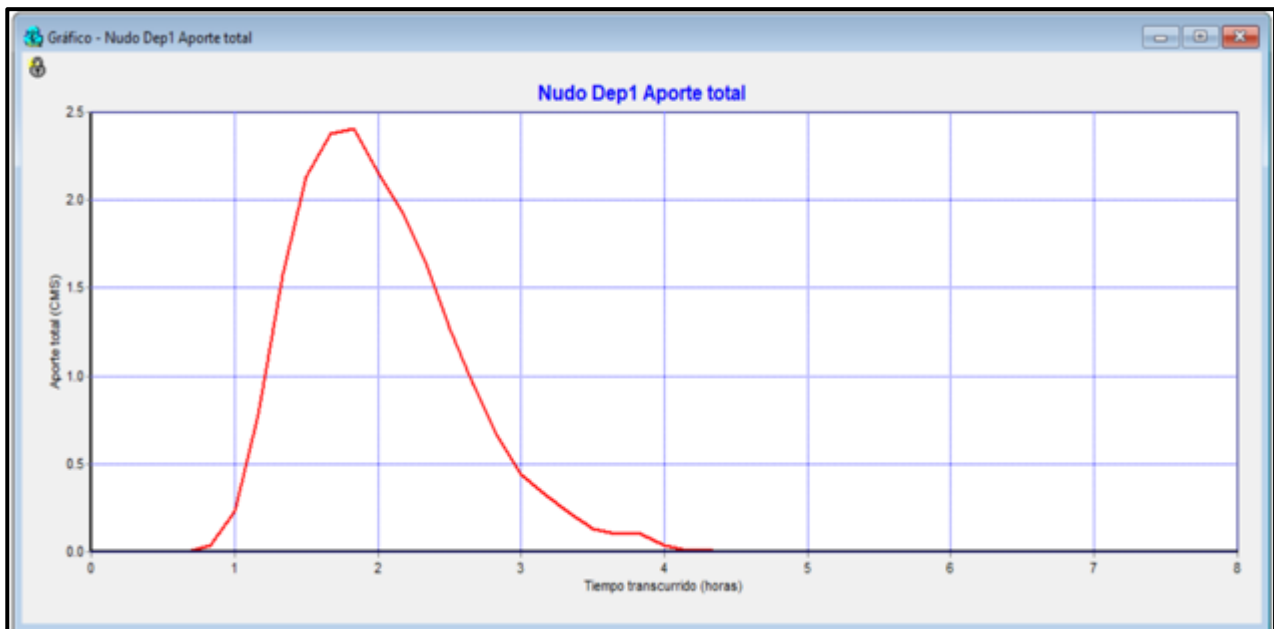


Figura 6.14. Hidrograma de salida de la cuenca P-4 teniendo en cuenta las áreas de aporte de cada tramo del canal (Fuente: elaboración propia)

De esta manera, se validó la utilización del criterio de caudal específico para dimensionar los canales.

A continuación, se presenta un ejemplo de la tabla resumen que provee el programa, la cual muestra los niveles máximos alcanzados en cada nudo (figuras 6.15 y 6.17). Seguidamente, muestra el perfil hidráulico generado (figuras 6.16 y 6.18), en el cual se puede ver la variación de la altura del pelo de agua a lo largo del canal (para ver detalles de otras cuencas ver anexos – capítulo 6).

-Situación 1: Modelación de los canales con las subcuencas de aporte

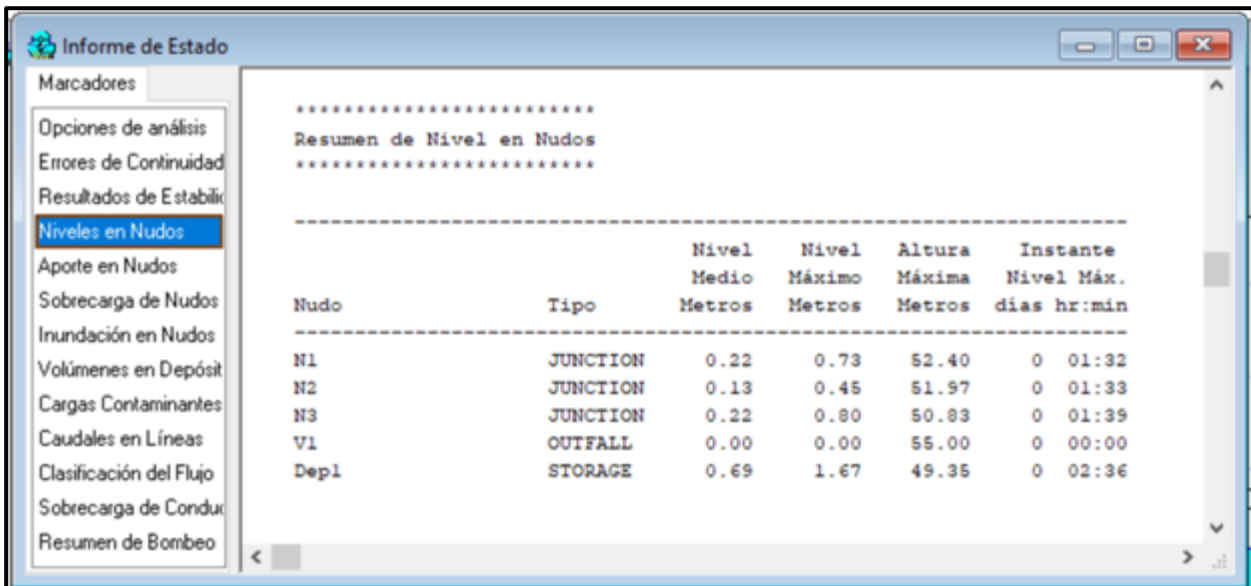


Figura 6.15. Cuadro Resumen de las alturas en los canales (Fuente: elaboración propia)

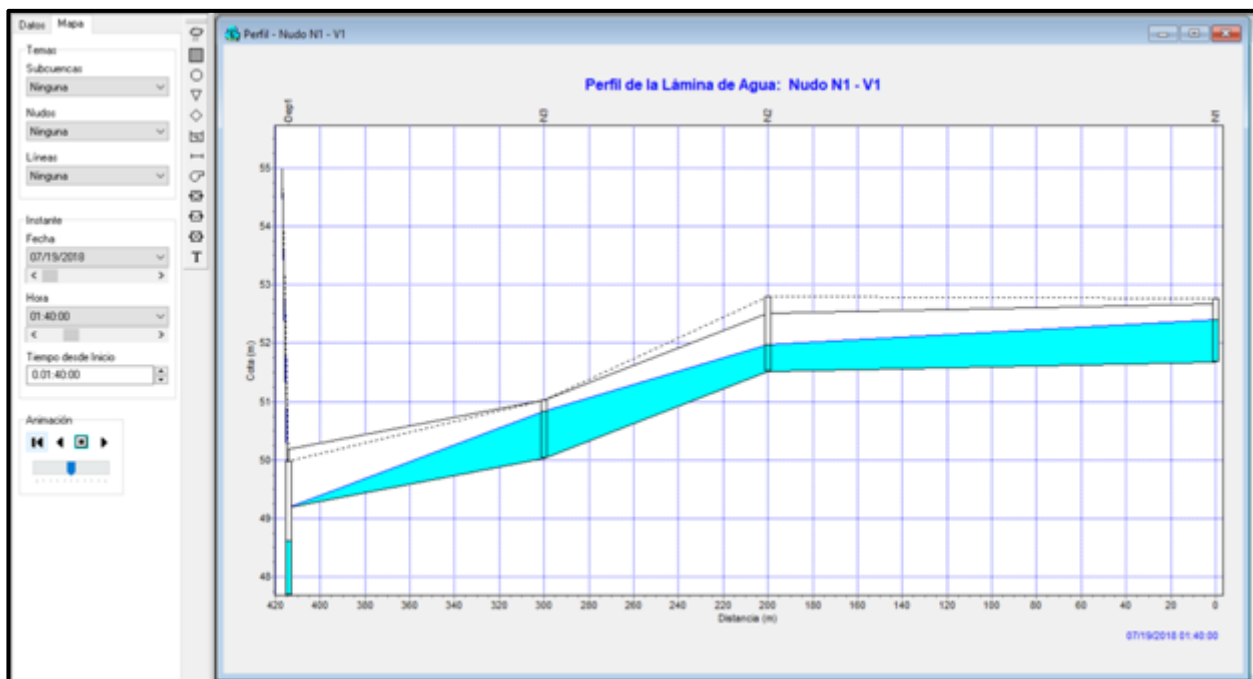


Figura 6.16. Perfil transversal de los canales de la cuenca P-4 con el nivel máximo alcanzado (Fuente: elaboración propia)

-**Situación dos:** Modelación teniendo en cuenta el factor de “escala” para los hidrogramas según las áreas de aporte de los canales

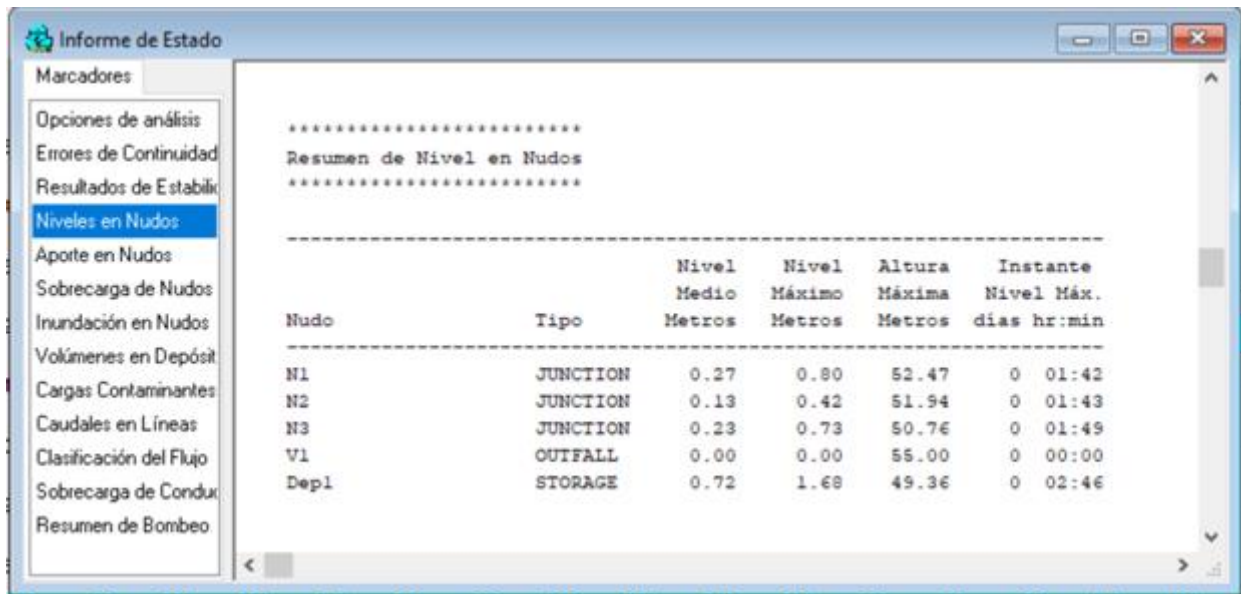


Figura 6.17. Cuadro resumen de las alturas de los canales (Fuente: elaboración propia)

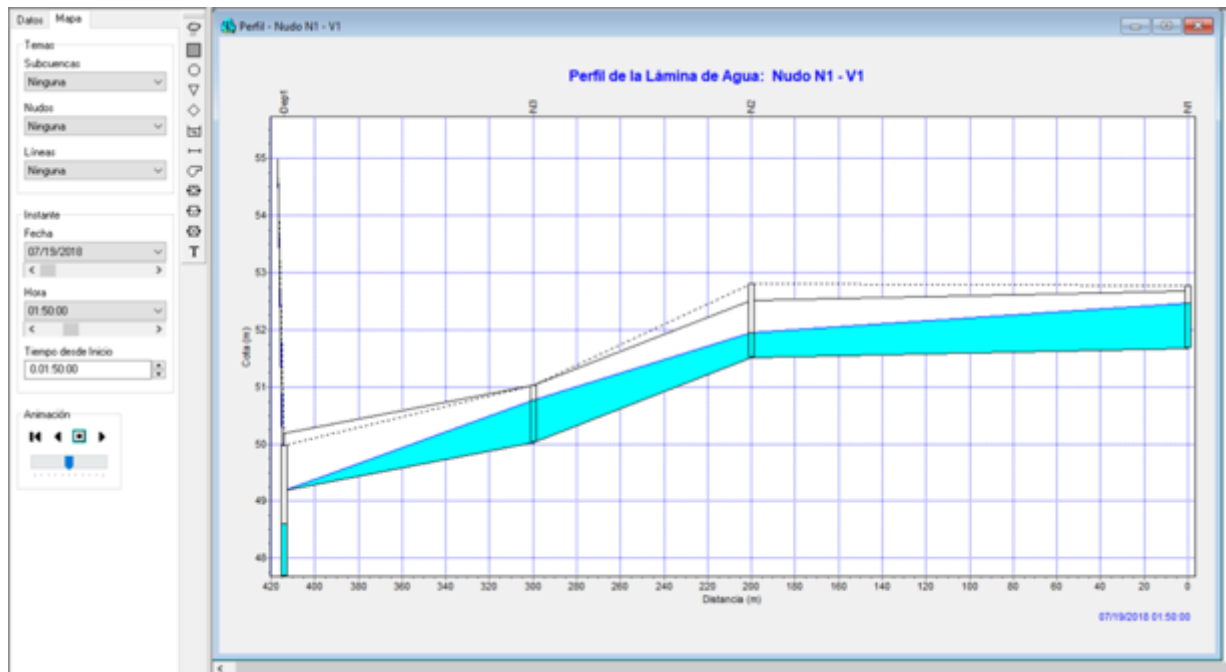


Figura 6.18. Perfil transversal de los canales de la cuenca P-4 con el nivel máximo alcanzado (Fuente: elaboración propia)

6.5.3 Conclusiones

A partir de la modelación hidráulica se pudieron obtener los volúmenes de reservorios y caudales de bombeo adecuados, además de verificar el buen funcionamiento de la red de canales ante una precipitación de 5 años de recurrencia. Del mismo modo, se comprobó que la situación para el evento de 10 años es aceptable, teniendo en cuenta que existirán inundaciones por desborde de canales sólo en algunas cuencas por períodos menores a una hora y con volúmenes y niveles de inundación tolerables (tabla 6.6).

Tabla 6.6 Cuencas que presentan inundaciones ante el evento de precipitación de 10 años de recurrencia (Fuente: elaboración propia).

Cuenca	Tiempo de inundación (minutos)	Volumen de inundación (m3)
H-4	55	1464
P-5	22	393

6.5.3.1 Reservorios y caudales de bombeo adoptados

A continuación, se muestran en las tablas 6.7 y 6.8 los reservorios y caudales de bombeo adoptados para lograr el buen funcionamiento de la red diseñada, respectivamente.

En el caso de las cuencas de la vertiente del Paraná, como los reservorios deben ser construidos, se desconoce la forma real que tendrán estos. A los efectos prácticos, se consideraron embalses de forma prismática para el modelado. Se recomienda realizar estudios topográficos de detalle en la zona de emplazamiento de cada una de estas estructuras de detención con el objetivo de determinar de manera más exacta la forma del cuenco y de la curva “nivel de agua – superficie inundada”.

Tabla 6.7 Reservorios adoptados para la cuenca del paraná (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Reservorio	Cota de fondo (IGN)	Altura máxima de pelo de agua (m)	Volumen (m3)
P-2	R2	48,68	1,76	12.600
P-3	R3	48,55	2,23	8.680
P-4	R4	47,8	2,35	9.400
P-6	R5	48,71	1,53	16.300
P-7	R6	48,5	1,01	11.900

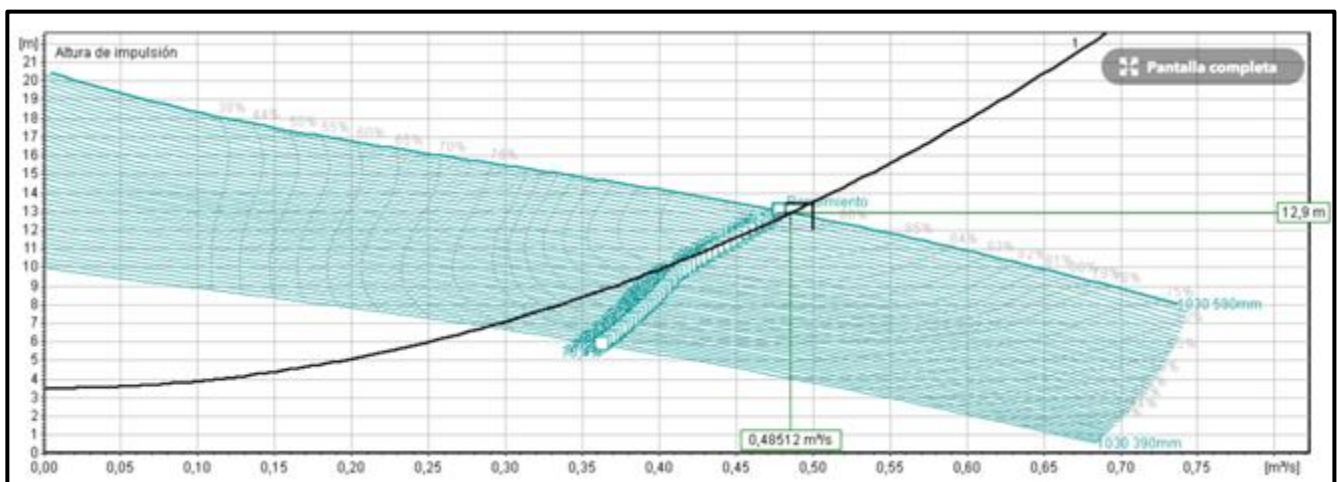
Tabla 6.8. Caudales de bombeo adoptados para cada reservorio (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Reservorio	Caudal de bombeo (m ³ /s)
P-1+H-1	R1	0,5
P-2	R2	0,5
P-3	R3	0,5
P-4	R4	0,5
P-5	-	2
P-6	R5	0,3
P-7	R6	0,3
H-2	R7	0,25
H-3	R8	0,25
H-4+H-5	R9	0,5

6.6 Selección de bombas

Para la selección de las bombas se recurrió a los catálogos de las marcas comerciales. La marca Xylem, por ejemplo, posee en su página web una aplicación que permite seleccionar una bomba a partir de los datos de caudal de bombeo, desnivel geométrico y pérdidas de carga (figura 6.18). A su vez, da la posibilidad de calcular las pérdidas de carga en función del tipo de cañerías a utilizar, su diámetro y rugosidad, utilizando la fórmula de William – Hazen (figura 6.19).

Se optaron por bombas sumergibles de la serie Flygt C3000 Large. Cabe aclarar que entre todos los modelos aptos para trabajar en las condiciones necesarias se prefirió el de menor potencia, de manera de asegurar un menor consumo energético. A continuación, se presentan en la tabla 6.9 las bombas adoptadas para cada reservorio.

**Figura 6.18.** Selección de bombas con el uso de la aplicación Xylect de la marca Xylem (Fuente: www.xylect.com).

TUBERÍA DE DESCARGA COMÚN

Tubería 1
+
-

MATERIAL DE LA TUBERÍA

PRESIÓN NOMINAL

DIÁMETRO NOMINAL

NORMA

LONGITUD TUBERÍA

 m

DIÁMETRO INTERIOR DEL TUBO

 mm

FACTOR HAZEN-WILLIAMS C

Pérdidas de carga

Velocidad de flujo

Guide

NOMBRE	DI (mm)	R (mm)	δ	L (m)	CANTIDAD	Pérdidas de carga(m)
Other: DN 400 (406,4x8,8 mm)	<input type="text" value="388,8"/>			<input type="text" value="0"/>	- 0 +	-
Salida: DN 400 (406,4x8,8 mm)	<input type="text" value="388,8"/>			<input type="text" value="0"/>	- 0 +	-
Pieza en T: DN 400 (406,4x8,8 mm)	<input type="text" value="388,8"/>			<input type="text" value="0"/>	- 0 +	-
Válvula: DN 400 (406,4x8,8 mm)	<input type="text" value="388,8"/>			<input type="text" value="0"/>	- 0 +	-
Total		1	0			

+ Añadir Accesorios

TOTAL
0
0
0

Figura 6.19. Cálculo de pérdidas de carga (Fuente: www.xylect.com).

Tabla 6.9. Modelos de bomba adoptados para cada reservorio (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Reservorio	Caudal de bombeo (m3/s)	Modelo de bomba	Potencia (Kw)
P-1+H-1	R1	0,5	C3400 3 - 10P 1030	90
P-2	R2	0,5	C3400 3 - 8P 830	125
P-3	R3	0,5	C3400 3 - 10P 1030	90
P-4	R4	0,5	C3400 3 - 10P 1030	90
P-5	-	2	C3800 3 - 10P 1040	375
P-6	R5	0,3	C3312 3 - 8P30	55
P-7	R6	0,3	C3312 3 - 8P30	55
H-2	R7	0,25	C3312 3 - 8P30	55
H-3	R8	0,25	C3312 3 - 8P30	55
H-4+H-5	R9	0,5	C3400 3 - 10P 1030	90

6.7 Compuertas

Las bombas funcionarán en el caso de que el río se encuentre a un nivel superior al del fondo del reservorio. Caso contrario, el agua deberá escurrir a través de compuertas que permitan que descargue libremente a través de la defensa y hacia el río Paraná o el arroyo Huajó, según corresponda. De esta manera se ahorrará energía y se prolongará la vida útil de la bomba.

“Una compuerta es una placa móvil, plana o curva, que, al levantarse, forma un orificio entre su borde inferior y la estructura hidráulica (presa, canal, etc.) sobre la cual se instala, y se utiliza para la regulación de caudales, en la mayoría de los casos, y como emergencia y cierre para mantenimiento de estructuras, en los otros” (Ramiro Marbelo Perez, Universidad Nacional de Colombia).

Para evaluar el caudal que estas son capaces de erogar se consideró una descarga libre (figura 6.20).

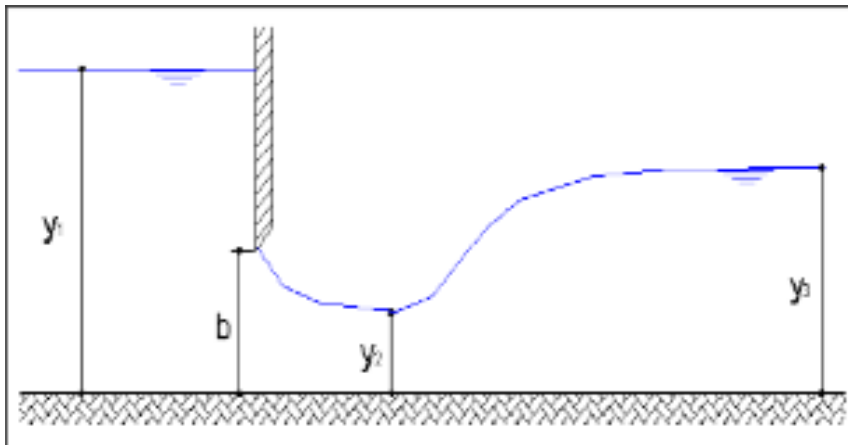


Figura 6.20. Descarga libre de una compuerta vertical. (Fuente: Compuertas y vertederos, Aprovechamientos y Obras Hidráulicas, UNNE)

Por lo tanto se aplicó la fórmula 6.2:

$$q = C_c \times b \times \sqrt{2g \times y_1 \times \frac{1}{1 + \frac{C_c \times b}{y_1}}} \quad [6.2]$$

Siendo C_c el coeficiente de contracción que a los fines prácticos puede ser considerado como 0,61.

A modo de ejemplo, se muestra una compuerta para el reservorio R4, considerando un ancho de 1,2 m (tabla 6.10)

Tabla 6.10. Caudales que es capaz de erogar la compuerta del reservorio R4, perteneciente a la cuenca P-4 (Fuente: elaboración propia).

Compuerta reservorio R4			
Y1	Apertura	q	Q
(m)	(m)	(m³/s.m)	(m)
2,35	0,5	1,95	2,34
2,35	1	3,69	4,43
2	0,5	1,78	2,14
2	1	3,34	4,01
1,5	0,5	1,51	1,81
1,5	1	2,79	3,35
1	0,5	1,18	1,42
1	1	2,13	2,56

Las compuertas pueden ser deslizantes tipo “guillotina” y operables mediante mandos manuales. Además, deben ser instaladas en estructuras de hormigón como alcantarillas (figura 6.21).



Figura 6.21 Foto de una alcantarilla con compuerta deslizante tipo guillotina (Fuente: elaboración propia).

6.8 Resumen de las intervenciones a realizar

Tabla 6.11. Intervenciones a realizar en cada cuenca (Fuente: elaboración propia).

Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geometricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P1	Canal abierto	C1. Tramo 1 a=1,2 h=1m	Hormigón	R1; 7522 m ³	0,5 m ³ /s
		Tramos 2,3 a=1,4 m h=1m			
		Tramo 4 a=1,4m h=1,2 m			
		Tramos 5, 6,7 a=1,8 m h=1,2 m			
		Tramo 8 a=2,1 m h=1,2 m			
P2	Dos canales abiertos	C2. Tramo 1. a=1m, h=1m	Hormigón	R2; 12600 m ³	0,5 m ³ /s
		Tramo 2. a=1m, h=1,2m			
		Tramo 3. a=1,2m, h=1,2m			
		Tramo 4. a=1,2m, h=1,2m			
		C3. Tramo1. a=0,8m, h=1m			
		Tramo2. a=1m, h=1m			
P3	Conducto circular enterrado	Cto 1. Tramo 1. d=1,2m	Hormigón	R3; 8680 m ³	0,5 m ³ /s
		Tramo 2 y 3. d=1,9m			
P4	Canal abierto	C4. Tramo 1,2y 3 . a=1,2m y h=1m	Hormigón	R4; 9400 m ³	0,5 m ³ /s
P5	Canal abierto	C5. Tramo 1 a= 1 m y h= 1m	Hormigón	-	2 m ³ /s
		Tramo 2 a=2 m y h= 1m			
P6	Tres canales abiertos	C6. Tramo 1.a=1,8m, h=1,2m	Hormigón	R5; 16300 m ³	0,3 m ³ /s
		Tramo 2. a=2m, h=1,2m			
		C7. Tramo 1. a=1,2, h=1m			
		Tramo 2. a=1,2, h=1m			
		C8. Tramo 1. a=1,6m, h= 1,2m			
P7	Canal abierto	C9. Tramo 1,2 . a=1,4m y h=1,2m	Hormigón	R6; 16900 m ³	0,3 m ³ /s
H1	Al ser muy pequeña la cuenca se propone una solución por zanjás cunetas que drenen hacia el reservorio ubicado en la misma		Sin revestir	R1; 7522 m ³	0,5 m ³ /s
H2	Canal abierto	C10. Tramo 1. a=1,6m, h=1,6m	Hormigón	R7; 13391 m ³	0,25 m ³ /s
H3	Zanjás cunetas		Sin revestir	R8; 4507 m ³	0,25 m ³ /s
H4	Dos canales abiertos	C11. Tramo1. a=0,9m, h=0,8	Hormigón	R9; 4082 m ³	0,5 m ³ /s
		Tramo 2. a=1,2, h=1,1m			
		Tramo 3. a=1,2m, h= 1,1m			
		C12. Tramo1. a=1,2m, h=1,1m			

Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geometricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
H5	Canal abierto	C13. Tramo1. a=0,6m, h=0,6m	Hormigón	R9; 4082 m3	0,5 m3/s
		Tramo2. a=1m, h=0,8m			
		Tramo3. a=1m, h=1m			
		C14. Tramo4. a=1,6m, 1,4m			
H6	Canal abierto	C15. Tramo 1. a=1,2m, h=1,2m	Hormigón	-	-
		Tramo2. a=1,4m, h=1,2m			
		Tramo3. a=1,4m, h=1,2m			
H7	Canal abierto	C16. Tramo1. a=1,4m, h=1,4m	Hormigón	-	-
		Tramo2. a=1,4m, h=1,4m			
H8	Canal abierto	C17. Tramo1. a=1m, h=1m	Hormigón	-	-
H9	Se propone drenaje a nivel de terreno debido a que en esa zona no se encuentra desarrollada la traza urbana y no hay poblacion			-	-

CAPÍTULO 7

Recomendaciones

7.1. Introducción

En el presente capítulo se propondrán una serie de recomendaciones para garantizar el mantenimiento y funcionamiento eficiente de las soluciones planteadas en el capítulo anterior. Junto a éstas, se adjuntan sugerencias a tener en cuenta para la realización del proyecto ejecutivo como también para la expansión de la ciudad y uso de determinadas áreas.

7.2. Plan de mantenimiento y limpieza del sistema pluvial

Es de suma importancia el mantenimiento y la limpieza periódica de los canales (2 veces al mes y 3 en épocas de lluvia), a fin de lograr la correcta conducción y disposición de la escorrentía generada por los excedentes pluviales.

El mantenimiento preventivo consiste en la extracción de sedimentos transportados por la propia escorrentía, como también los residuos sólidos generados por la actividad humana y que son arrastrados hacia los conductos. Dicha labor puede llevarse a cabo con operarios municipales equipados con ropa de trabajo adecuadas y con las herramientas necesarias para retirar la suciedad acumulada. Asimismo, se recomienda disponer de contenedores en determinados lugares de la ciudad, los cuales deberán ser vaciados regularmente (figura 7.1 y 7.2).

También se aconseja el enripiado de las calles con la finalidad de evitar la erosión de éstas. Debido al tipo de suelo arenoso que posee Paso de la Patria, los finos serán transportados por la escorrentía acumulándose y ocasionando la reducción de las secciones impidiendo el libre flujo de las aguas en estos.

Además, se debe realizar el perfilado y mantenimiento de las cunetas de tierra, a fin de asegurar la sección y la pendiente hacia los canales para el transporte de la escorrentía proveniente de cada frente de manzana.

En cuanto a los reservorios, se deberá asegurar su capacidad de almacenamiento evitando la acumulación de basura en ellos, dado que un cambio en el volumen podría provocar al anegamiento de zonas urbanas para una lluvia con menor tiempo de recurrencia que la de diseño. Asimismo, se debe mantener la entrada y salida de estos libres de todo obstáculo u obstrucciones, debiéndose realizar una limpieza periódica, ya que en estas zonas se producen importantes reducciones de velocidad, que facilitan la sedimentación.

Por último, se contempla la necesidad de evaluar la limpieza del arroyo Huajó, a fin de reducir la rugosidad del mismo (disminuyendo el valor del coeficiente de Manning), aumentando su capacidad de conducción.



Figura 7.1. Presencia de residuos sólidos en las alcantarillas de Paso de la Patria (Fuente: Elaboración propia)



Figura 7.2. Uno de los pocos contenedores que se encuentran disponibles en la costa de Paso de la Patria (Fuente: Elaboración propia)

7.3. Sugerencias en el planeamiento urbano

Las medidas a tener en cuenta en el código de planeamiento urbano de la localidad de Paso de la Patria son las siguientes:

- Impedir la construcción de viviendas en las áreas bajas cercanas al Huajó que no se encuentran protegidas por la defensa, las que en épocas de crecientes se mantienen anegables durante largos periodos.
- Fomentar el crecimiento de la ciudad hacia el sur del arroyo Huajó, las cuales se encuentran fuera del valle de inundación del Paraná, siendo estos los lugares óptimos para el emplazamiento de barrios de viviendas, escuelas, oficinas y hospitales, dado que no sufren de problemas de anegamientos tanto fluvial como pluvial y, a su vez, presentan fácil acceso.
- Destinar las zonas bajas que funcionan como reservorios para distintos usos en épocas de estiaje. Dichos usos podrían ser lugares de recreación: canchas de fútbol, plazas, anfiteatros, zonas de picnic y/o pistas de patinetas, entre otras. De esta forma se lograrán la integración sostenible de las obras de ingeniería con la traza urbana generando un enriquecimiento visual, estético y social (figuras 7.3 y 7.4).
- Las trazas de los canales atraviesan muchas zonas transitadas, por lo cual se optó por seguridad taparlos con losetas. Es por ello que se recomienda, dado su ancho, el aprovechamiento de estos espacios como bicisendas, fomentando el uso de transportes ecológicos. Un claro ejemplo sería la traza del canal de la cuenca P-1, la cual rodea la costa de la ciudad, siendo una potencial atracción turística (figura 7.5).
- Se puede utilizar la tierra sobrante del movimiento de suelo de los canales para generar desniveles en parques que se puedan utilizar como juegos infantiles, gradas, dando una estética adecuada con criterio paisajista al lugar (figura 7.6 y 7.7).



Figura 7.3. Fotos ilustrativas de canchas de fútbol en áreas bajas. (Fuente: www.cdn.plataformaurbana.cl)



Figura 7.4. Pistas de skateboard que son utilizadas como potenciales reservorios (Fuente: www.static.panoramio.com)

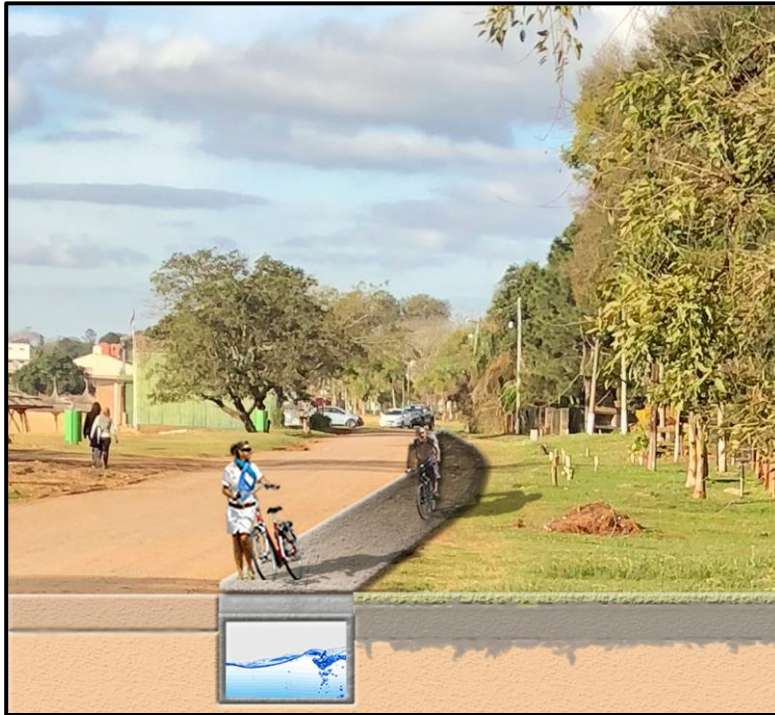


Figura 7.5. Esquema de la biciesenda sobre el canal tapado (Fuente: Elaboración Propia)



Figuras 7.6 y 7.7. Parques con desniveles (Fuente: www.rubi.cat)

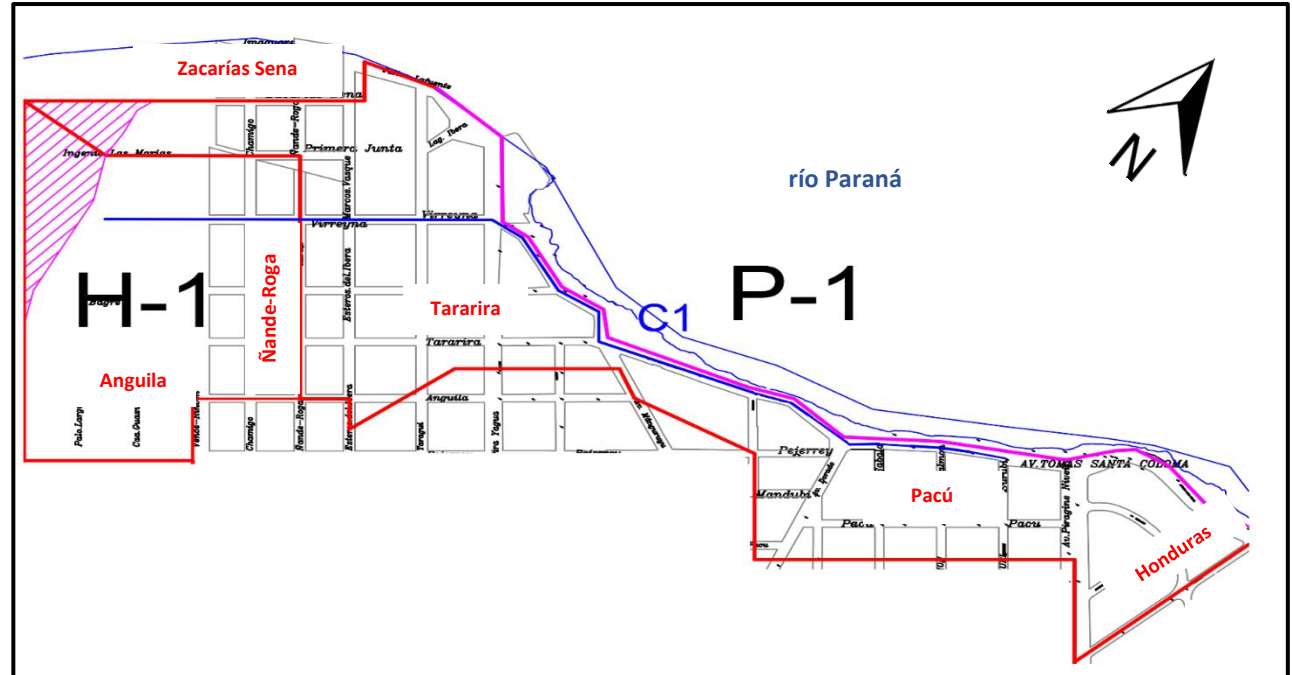
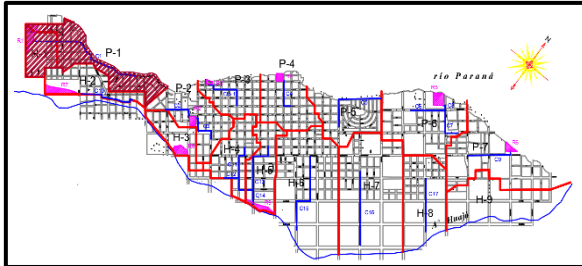
7.4. Criterios a tener en cuenta en la realización del proyecto ejecutivo

Como se explicó en los capítulos 2 y 6, es conveniente contar con estudios topográficos de mejor detalle a la hora de plantear los proyectos ejecutivos para cada cuenca. En particular, las ubicadas en la zona este de la ciudad, cercanas al Huajó, son las que precisan más datos. Es conveniente también la actualización periódica de las cotas medidas sobre las calles, ya que gran parte de estas no se encuentran pavimentadas, sino que son de tierra, por lo cual son propensas a sufrir variaciones en su altimetría a lo largo del tiempo.

Asimismo, se recomienda realizar un relevamiento topográfico de la traza correspondiente al cauce del arroyo Huajó y las zonas que se encuentra al sur de éste. Esto se debe a que se dispone pocos datos precisos de estas últimas, siendo zonas prometedoras para fomentar la expansión de la ciudad, debiéndose considerar la posibilidad también de que las cuencas de aporte de ese sector descarguen en el arroyo.

Esta claro que al realizar los proyectos ejecutivos es probable que los mismos difieran con las soluciones propuestas en este plan director, pero sin afectar los lineamientos generales del mismo.

Cuencas P1-H1

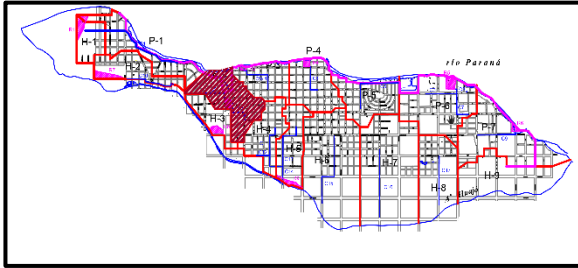


Área P1 (ha) = 43,43

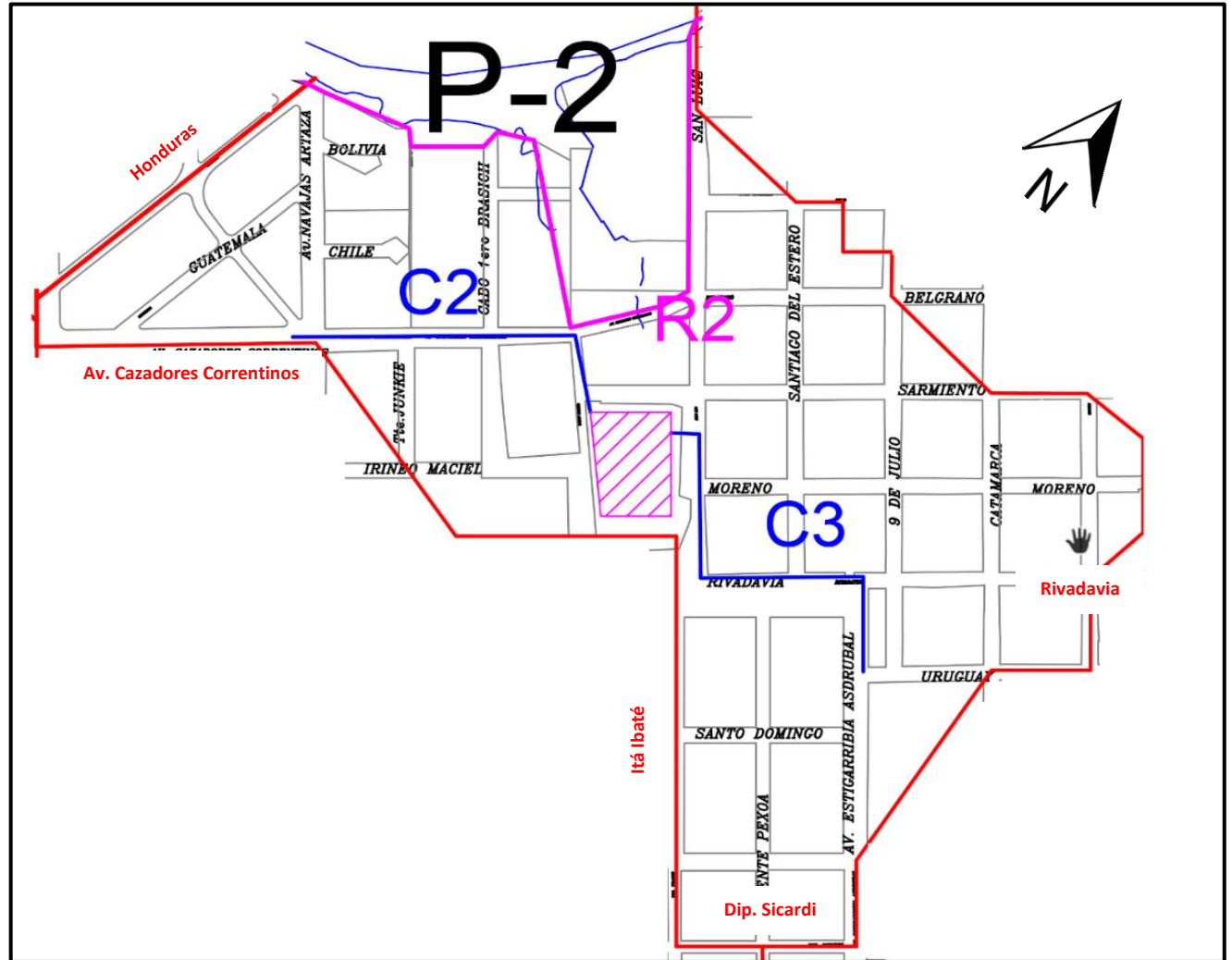
Área H1 (ha) = 22,34

Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P1	Canal abierto	C1. Tramo 1 a=1,2 h=1m	Hormigón	R1; 7522 m3	0,5 m3/s
		Tramos 2,3 a=1,4 m h=1m			
		Tramo 4 a=1,4m h=1,2 m			
		Tramos 5, 6,7 a=1,8 m h=1,2 m			
		Tramo 8 a=2,1 m h=1,2 m			
H1	Al ser muy pequeña la cuenca se propone una solución por zanjas cunetas que drenen hacia el reservorio ubicado en la misma		Sin revestir	R1; 7522 m3	0,5 m3/s

Cuenca P2

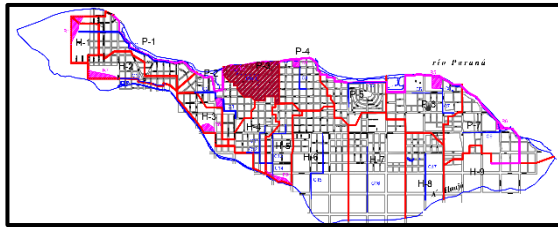


Área (ha) = 49,59

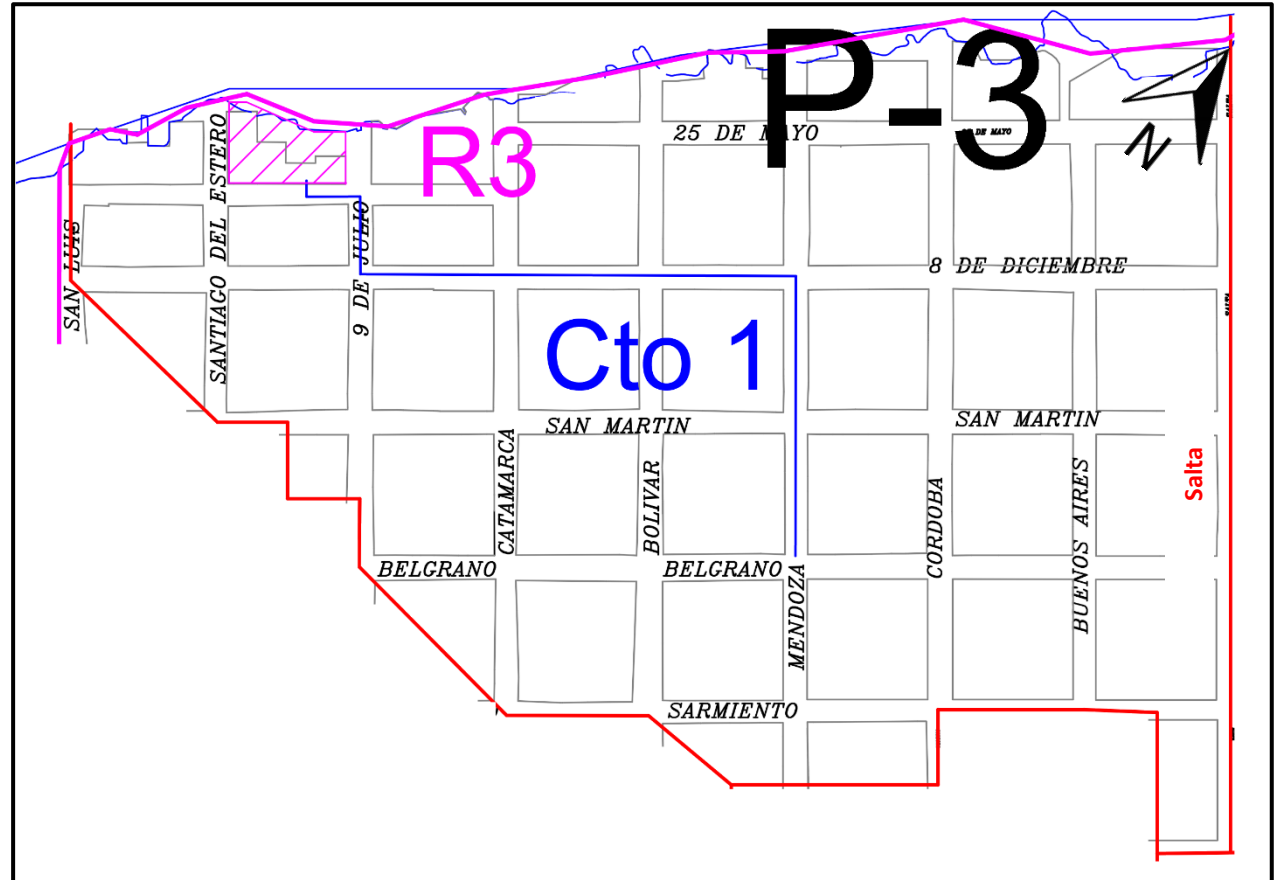


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P2	Dos canales abiertos	C2. Tramo 1. a=1m, h=1m	Hormigón	R2; 12600 m3	0,5 m3/s
		Tramo 2. a=1m, h=1,2m			
		Tramo 3. a=1,2m, h=1,2m			
		Tramo 4. a=1,2m, h=1,2m			
		C3.Tramo1. a=0,8m, h=1m			
		Tramo2. a=1m, h=1m			

Cuenca P3

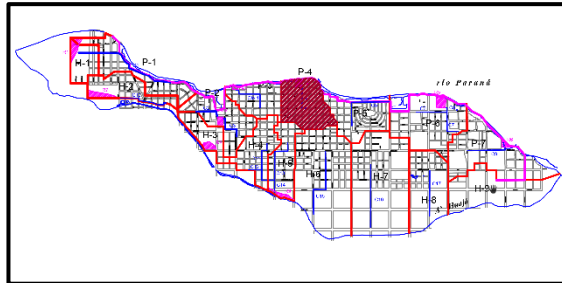


Área (ha) = 34,43

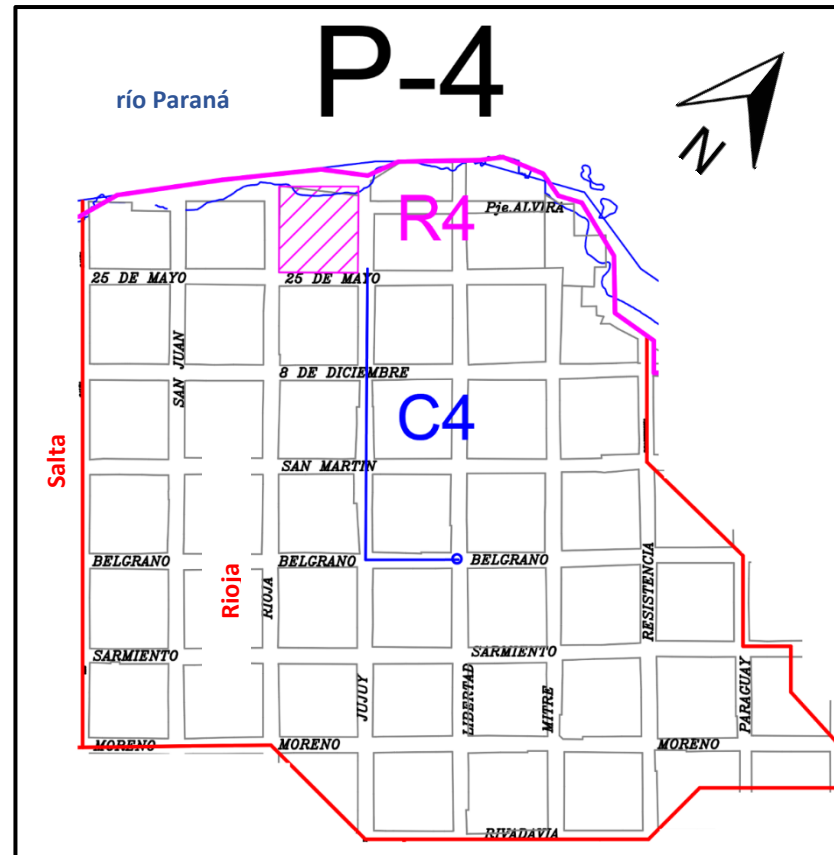


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P3	Conducto circular enterrado	Cto 1. Tramo 1. d=1,2m Tramo 2 y 3. d=1,9m	Hormigón	R3; 8680 m3	0,5 m3/s

Cuenca P4

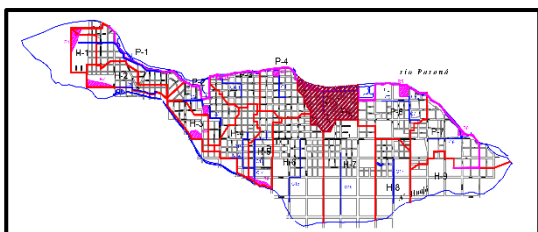


Área (ha) = 45,61

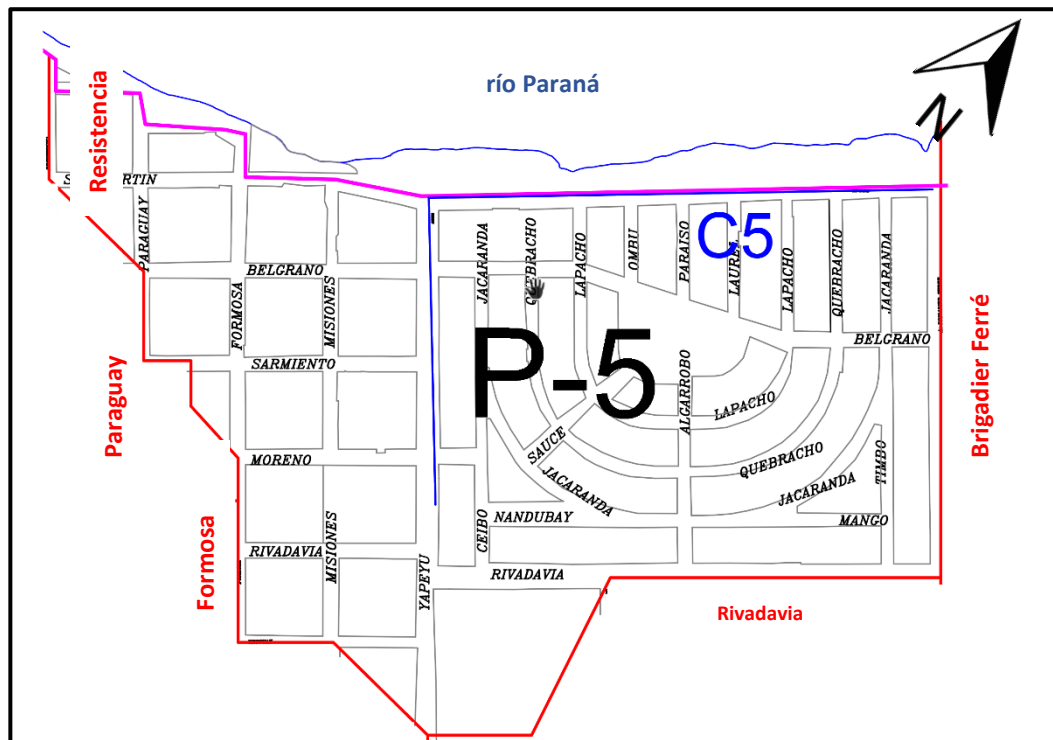


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P4	Canal abierto	C4. Tramo 1,2y 3 . a=1,2m y h=1m	Hormigón	R4; 9400 m3	0,5 m3/s

Cuenca P5

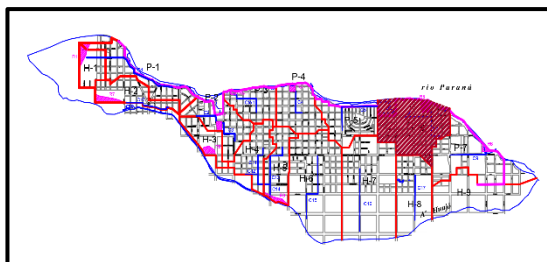


Área (ha) = 46,45

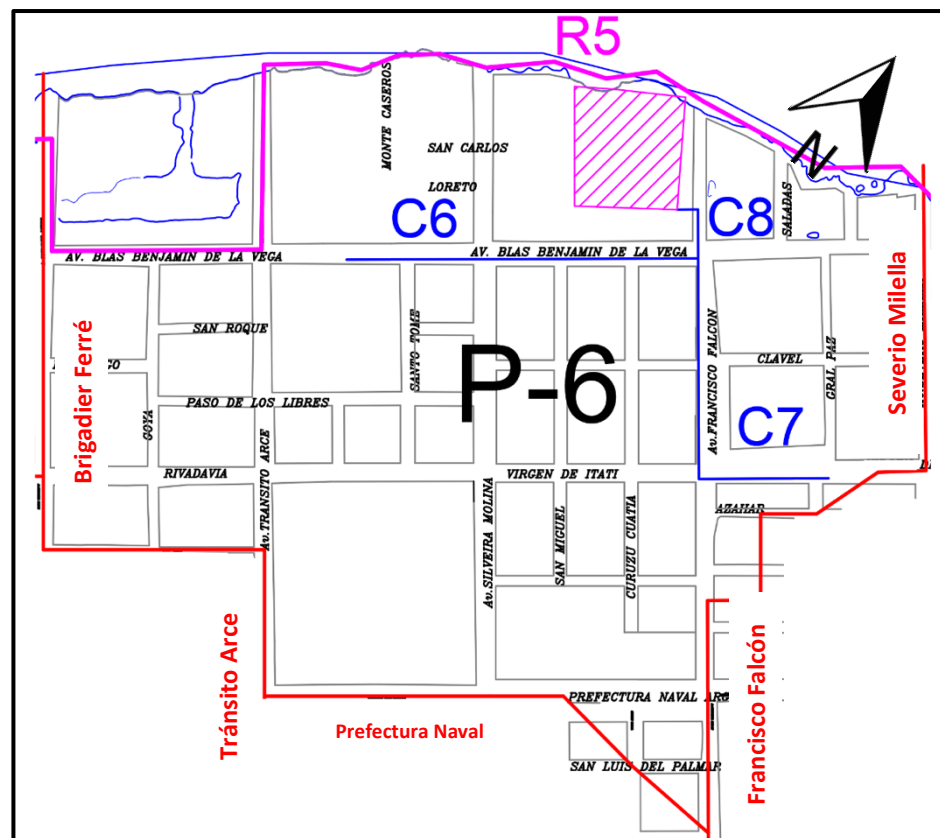


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P5	Canal abierto	C5. Tramo 1 a= 1 m y h= 1m	Hormigón	-	2 m3/s
		Tramo 2 a=2 m y h= 1m			

Cuenca P6

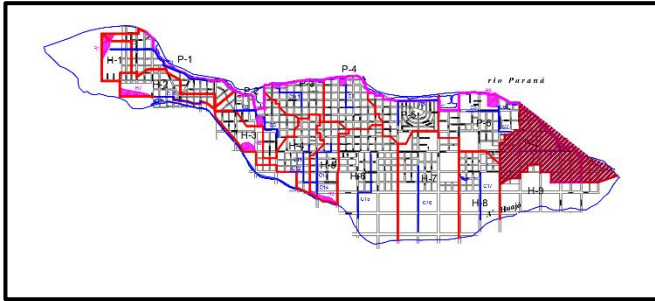


Área (ha) = 79,07

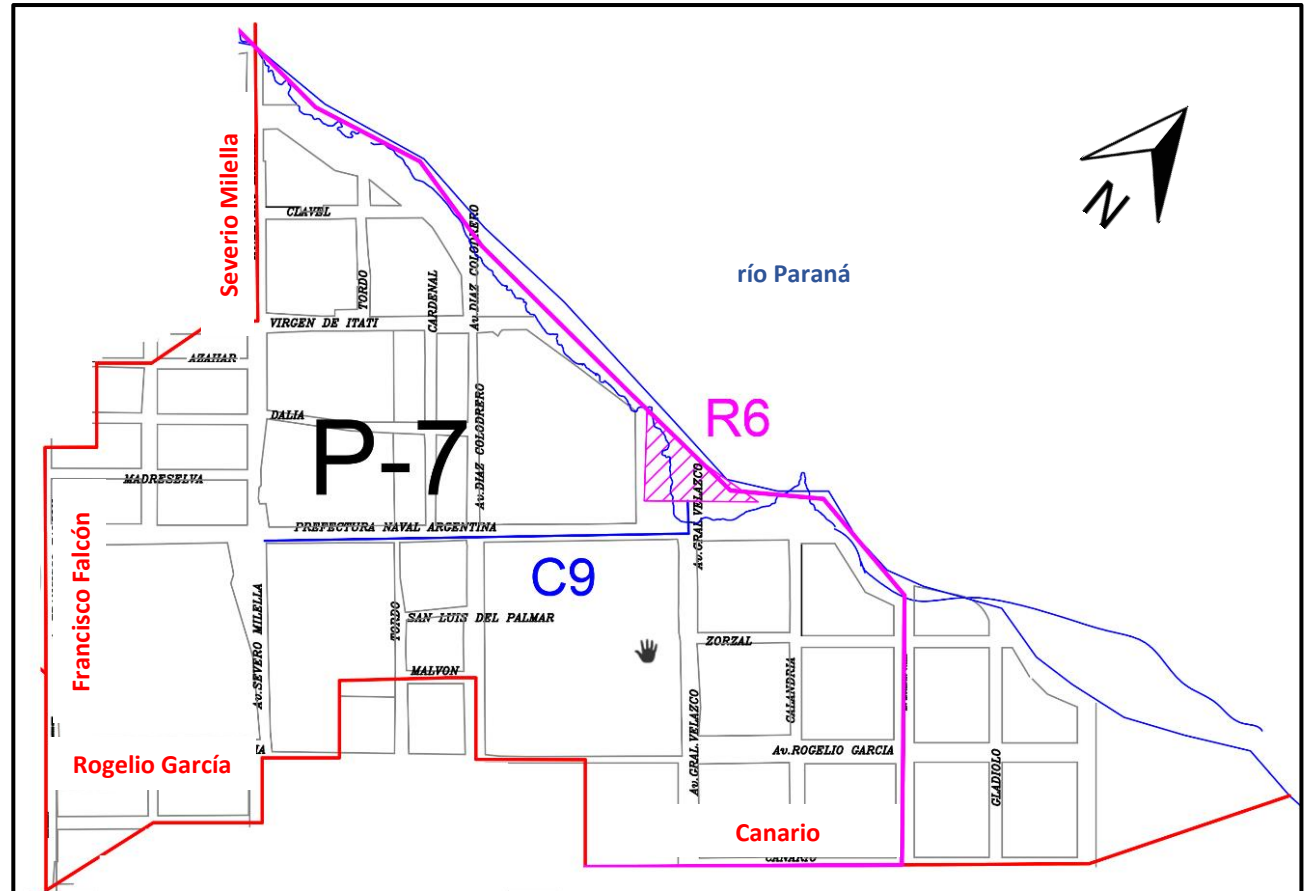


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P6	Tres canales abiertos	C6. Tramo 1. a=1,8m, h=1,2m	Hormigón	R5; 16300 m3	0,3 m3/s
		Tramo 2. a=2m, h=1,2m			
		C7. Tramo 1. a=1,2, h=1m			
		Tramo 2. a=1,2, h=1m			
		C8. Tramo 1. a=1,6m, h= 1,2m			

Cuenca P7

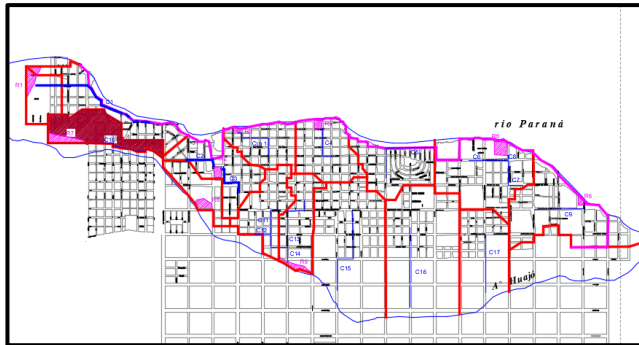


Área (ha) = 81,80

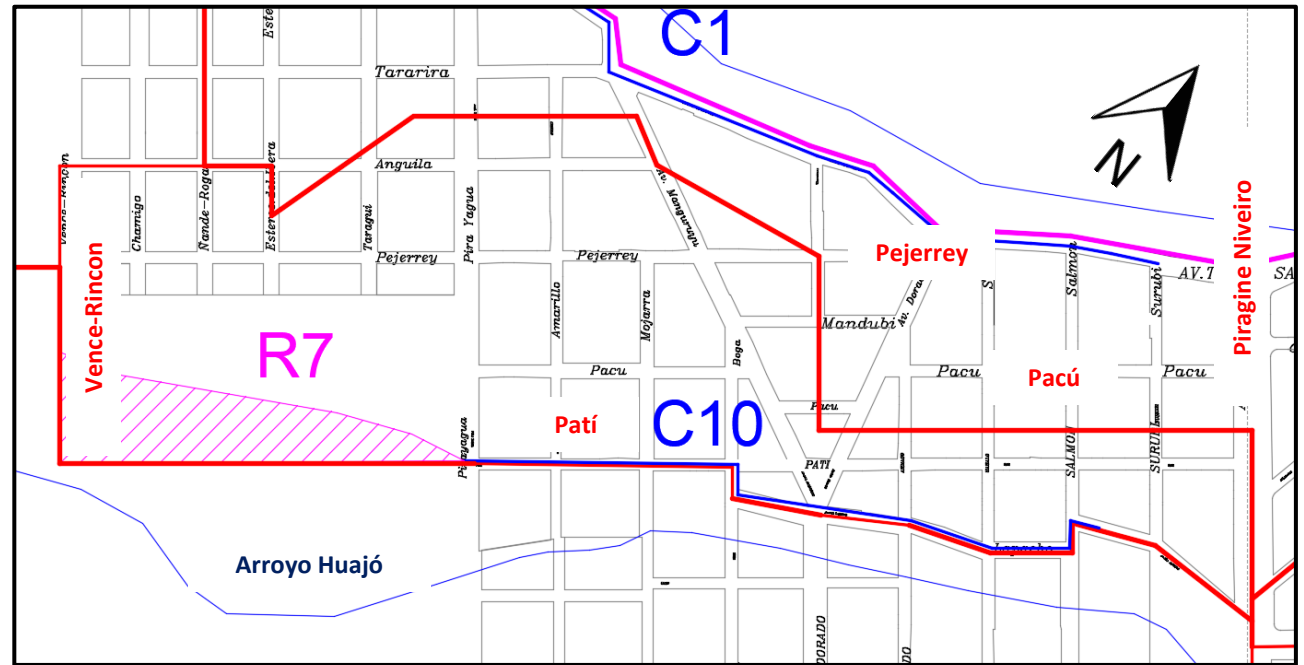


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
P7	Canal abierto	C9. Tramo 1,2 . a=1,4m y h=1,2m	Hormigón	R6; 16900 m3	0,3 m3/s

Cuenca H2

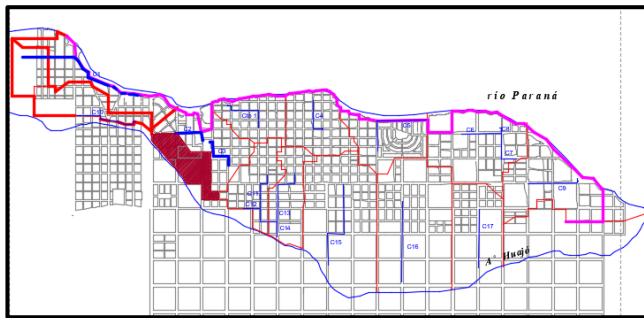


Área (ha) = 35,91

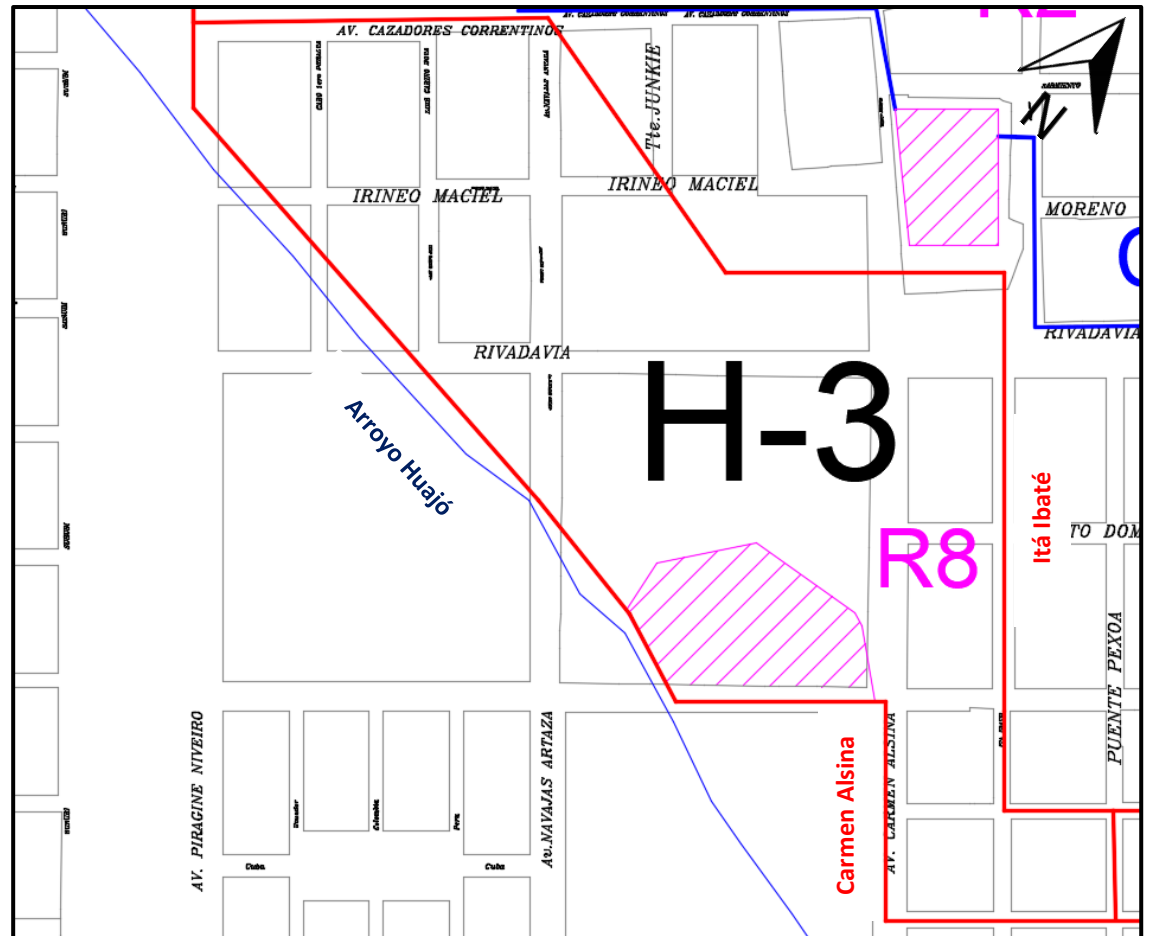


Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
H2	Canal abierto	C10. Tramo 1. a=1,6m, h=1,6m	Hormigón	R7; 13391 m ³	0,25 m ³ /s

Cuenca H3



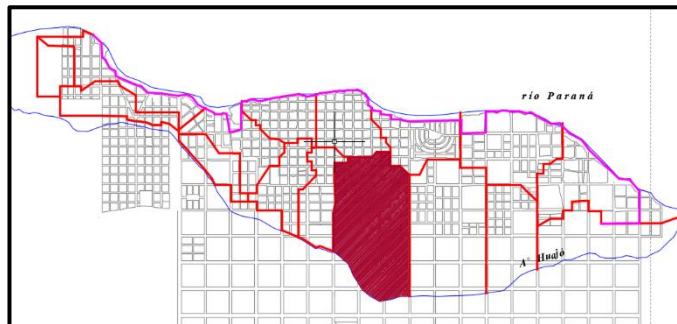
Área (ha) = 45,55



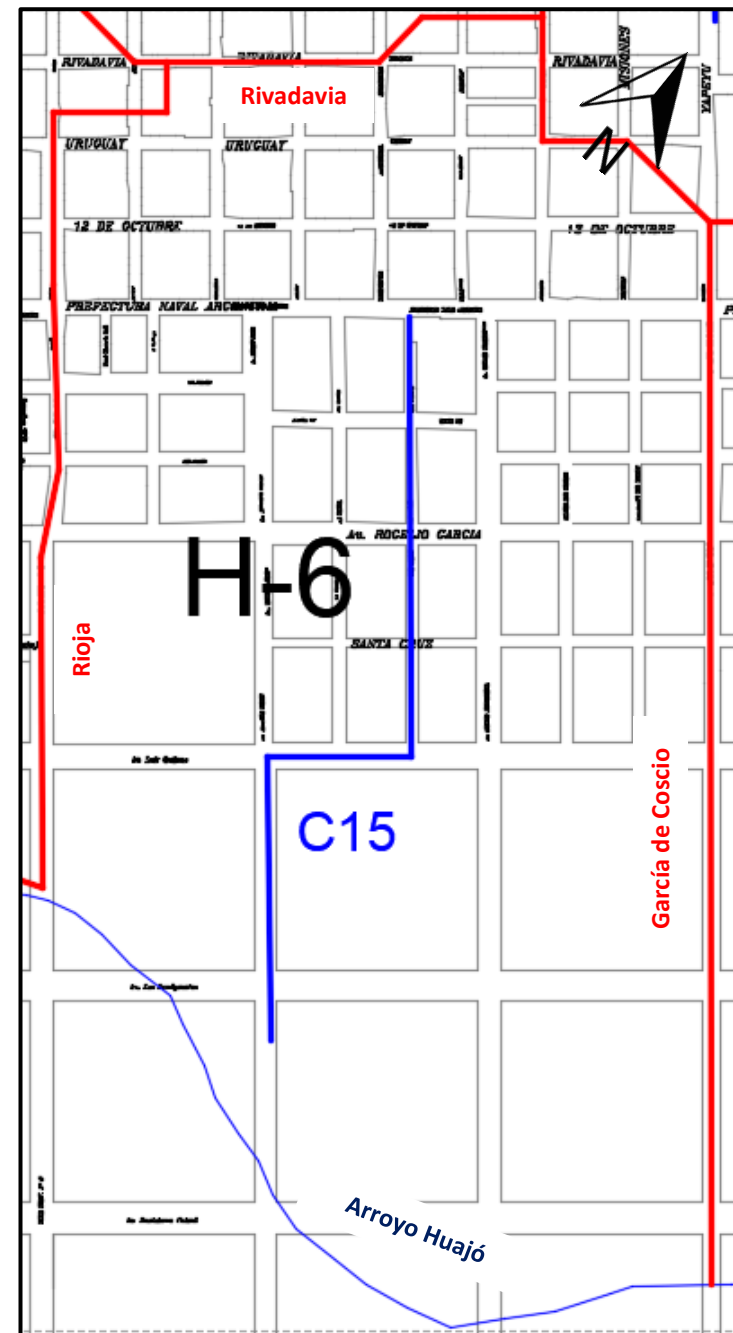
Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geometricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
H3	Zanjas cunetas		Sin revestir	R8; 4507 m3	0,25 m3/s

Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento	Reservorio	Bombeo
H4	Dos canales abiertos	C11. Tramo1. a=0,9m, h=0,8	Hormigón	R9; 4082 m3	0,5 m3/s
		Tramo 2. a=1,2, h=1,1m			
		Tramo 3. a=1,2m, h= 1,1m			
		C12. Tramo1. a=1,2m, h=1,1m			
H5	Canal abierto	C13. Tramo1. a=0,6m, h=0,6m	Hormigón	R9; 4082 m3	0,5 m3/s
		Tramo2. a=1m, h=0,8m			
		Tramo3. a=1m, h=1m			
		C14. Tramo4. a=1,6m, 1,4m			

Cuenca H6

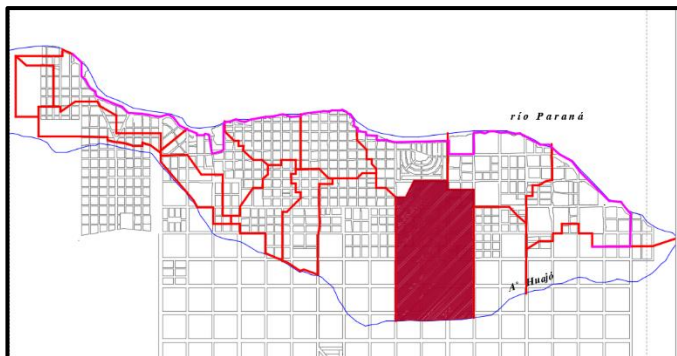


Área (ha) = 119,07



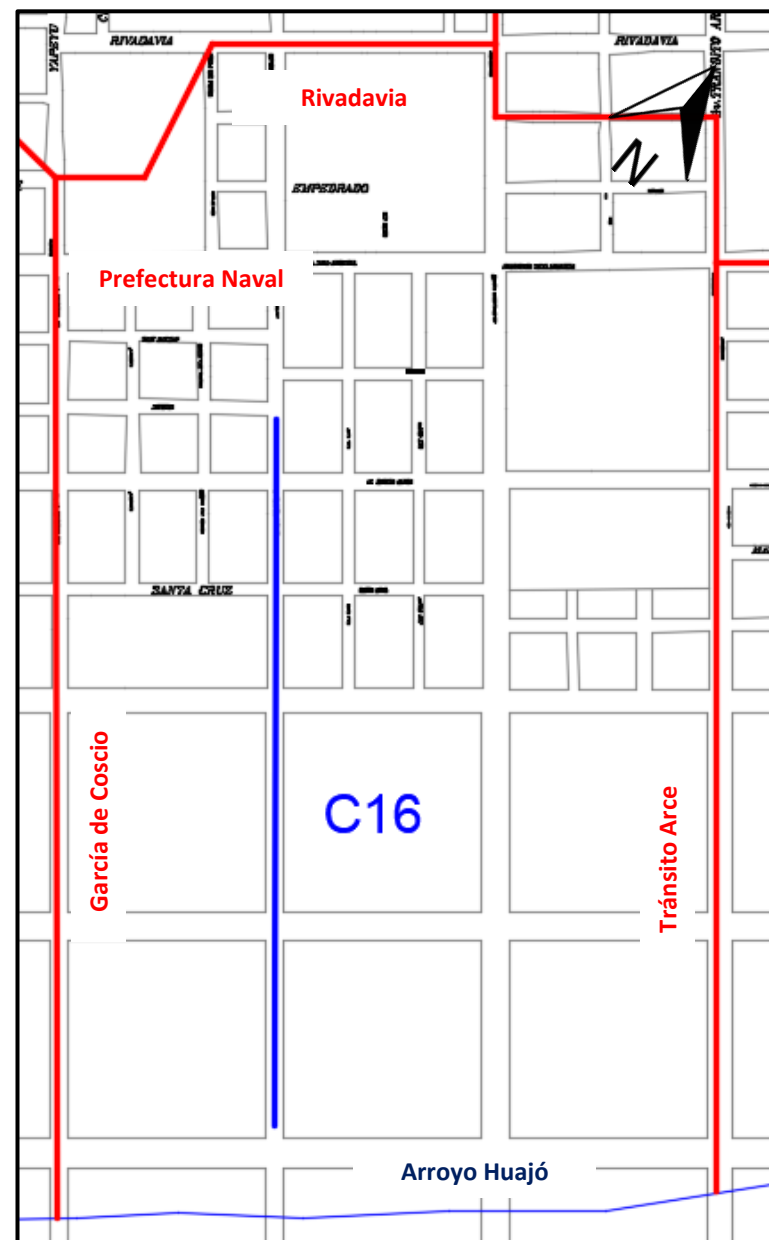
Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento
H6	Canal abierto	C15. Tramo 1. a=1,2m, h=1,2m	Hormigón
		Tramo2. a=1,4m, h=1,2m	
		Tramo3. a=1,4m, h=1,2m	

Cuenca H7

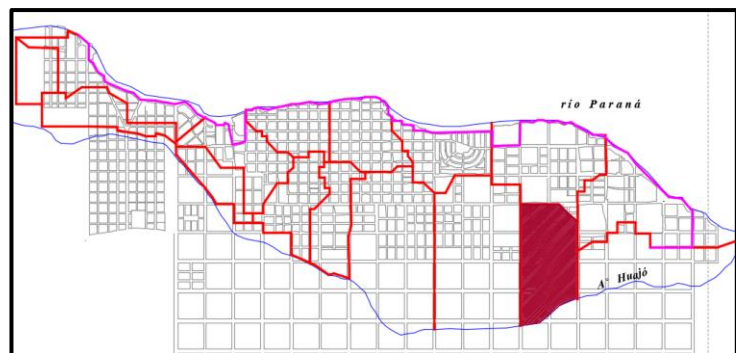


Área (ha) = 125,48

Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento
H7	Canal abierto	C16.Tramo1. a=1,4m, h=1,4m	Hormigón
		Tramo2. a=1,4m, h=1,4m	

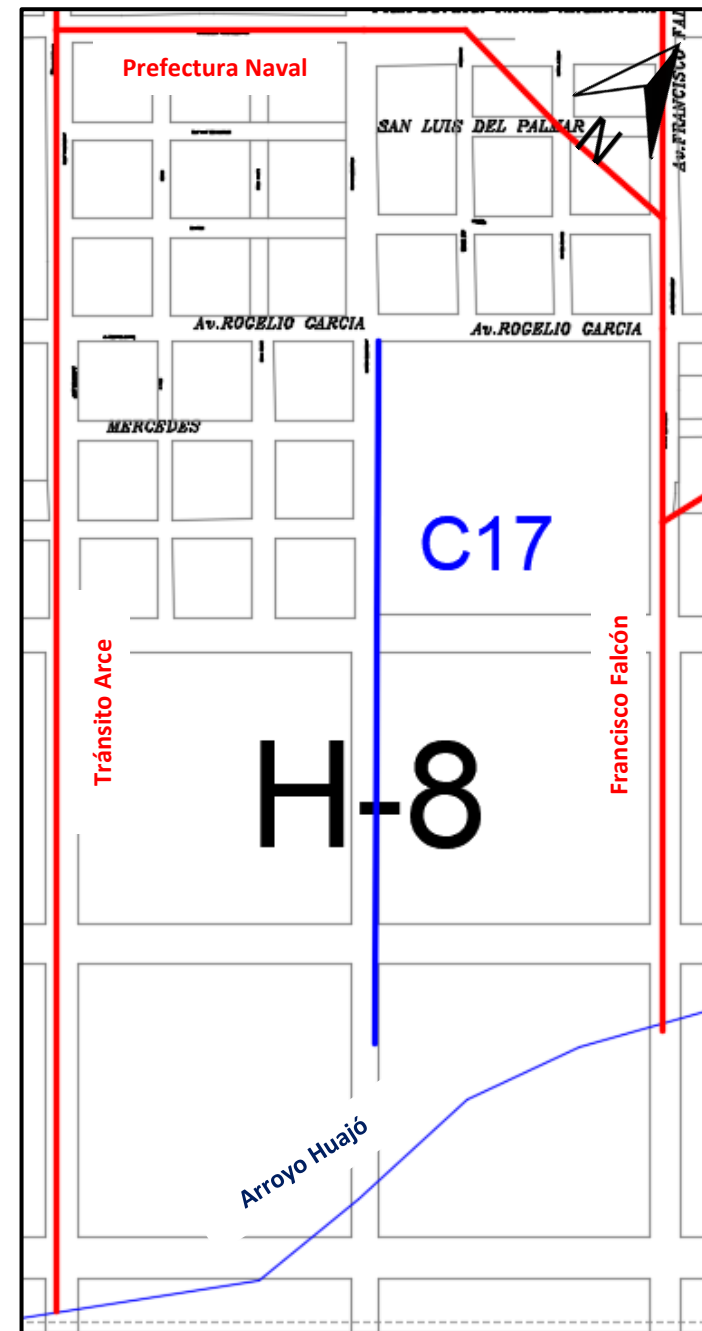


Cuenca H8

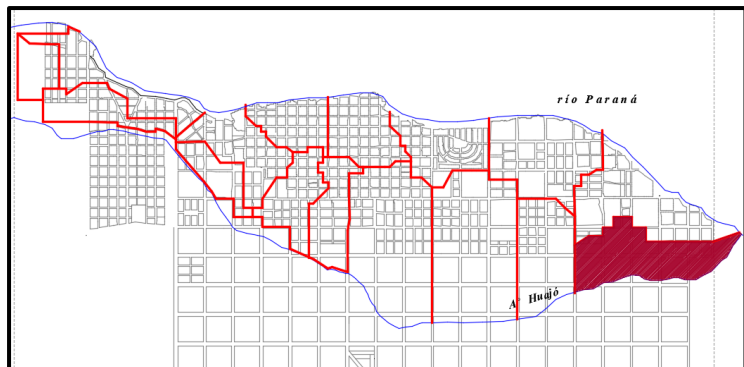


Área (ha) = 61,31

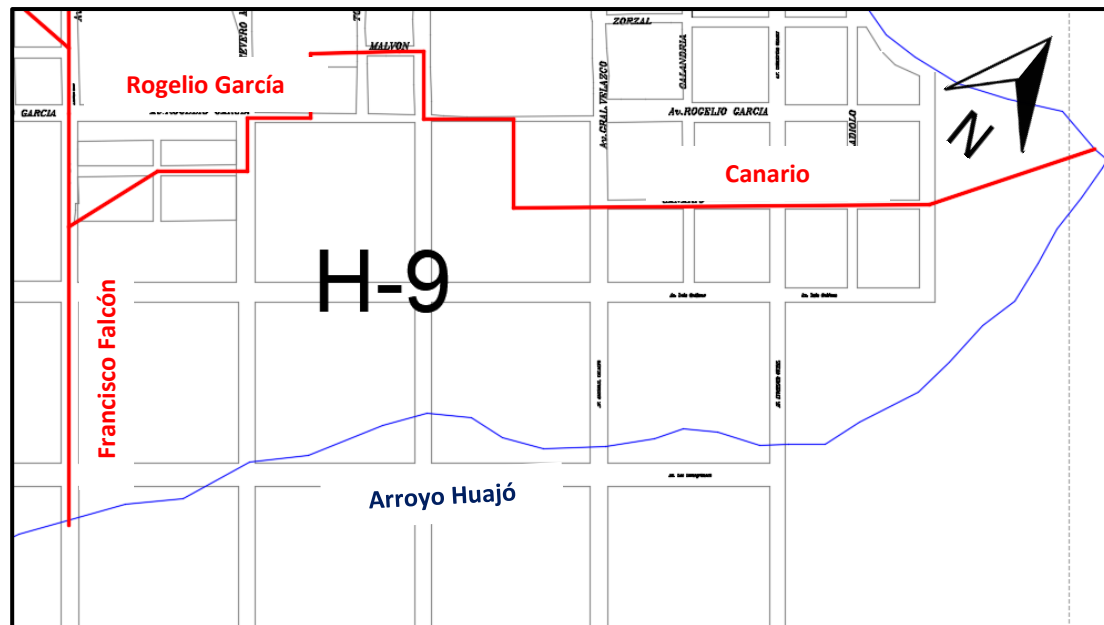
Cuenca	Tipo de Intervención a realizar	Dimensiones geométricas	Tipo de revestimiento
H8	Canal abierto	C17.Tramo1. a=1m, h=1m	Hormigón



Cuenca H9



Área (ha) = 68,09



Se propone drenaje a nivel de terreno debido a que en esa zona no se encuentra desarrollada la traza urbana y no hay población

TRABAJO FINAL

Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional del Nordeste



PLAN DIRECTOR DE DRENAJE URBANO DE PASO DE LA PATRIA, CORRIENTES

ANEXO DE TABLAS, GRÁFICOS, FICHAS Y PLANOS

Autores:

Aquino Rolón, Pablo

Goitia, Francisco

Sottile, Fabrizio Lucas

Tutor:

Dr. Ing. Pilar, Jorge V.

Año 2018

ANEXO DE TABLAS

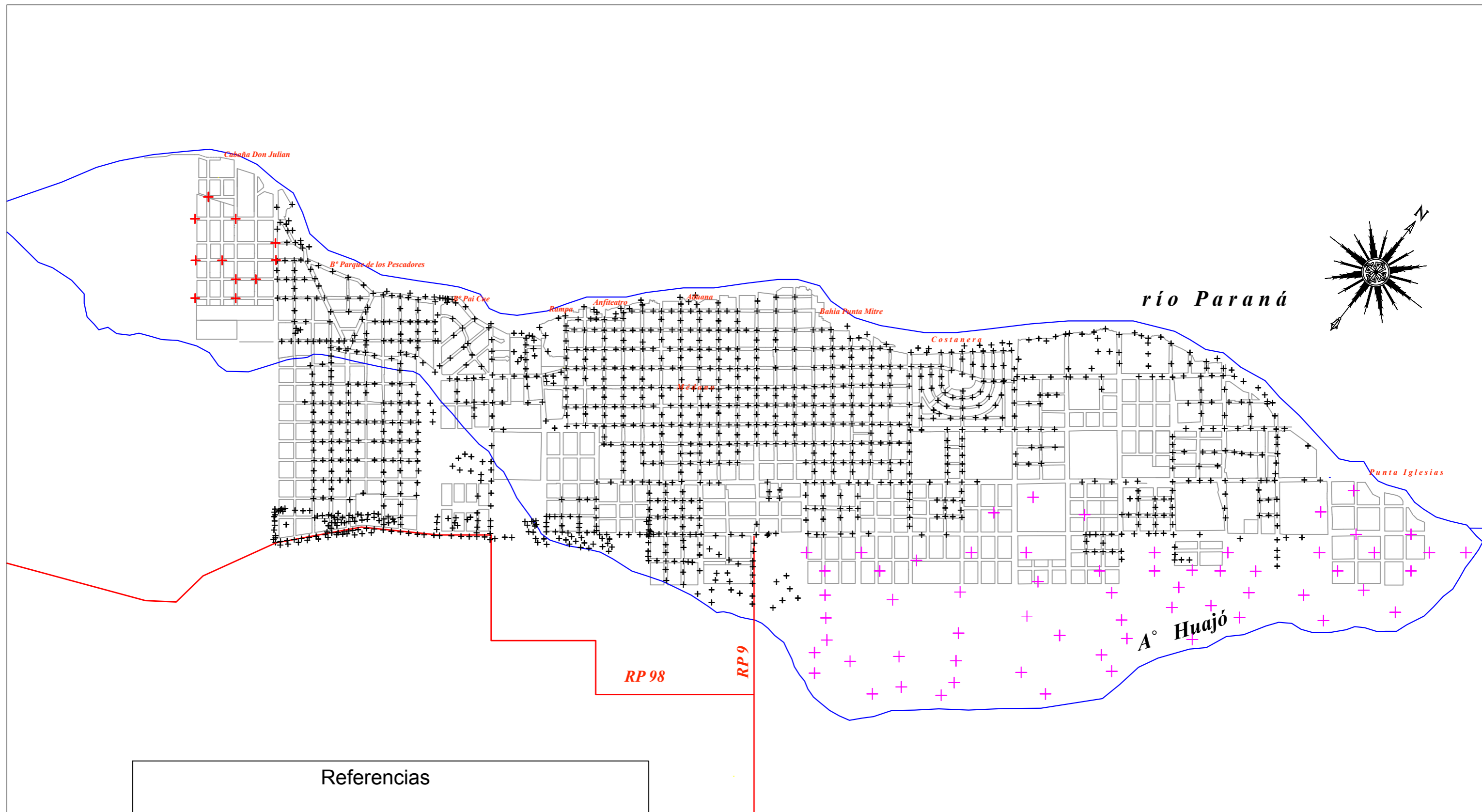
ANEXO DE GRÁFICOS

ANEXO DE FICHAS


ANEXO DE PLANOS

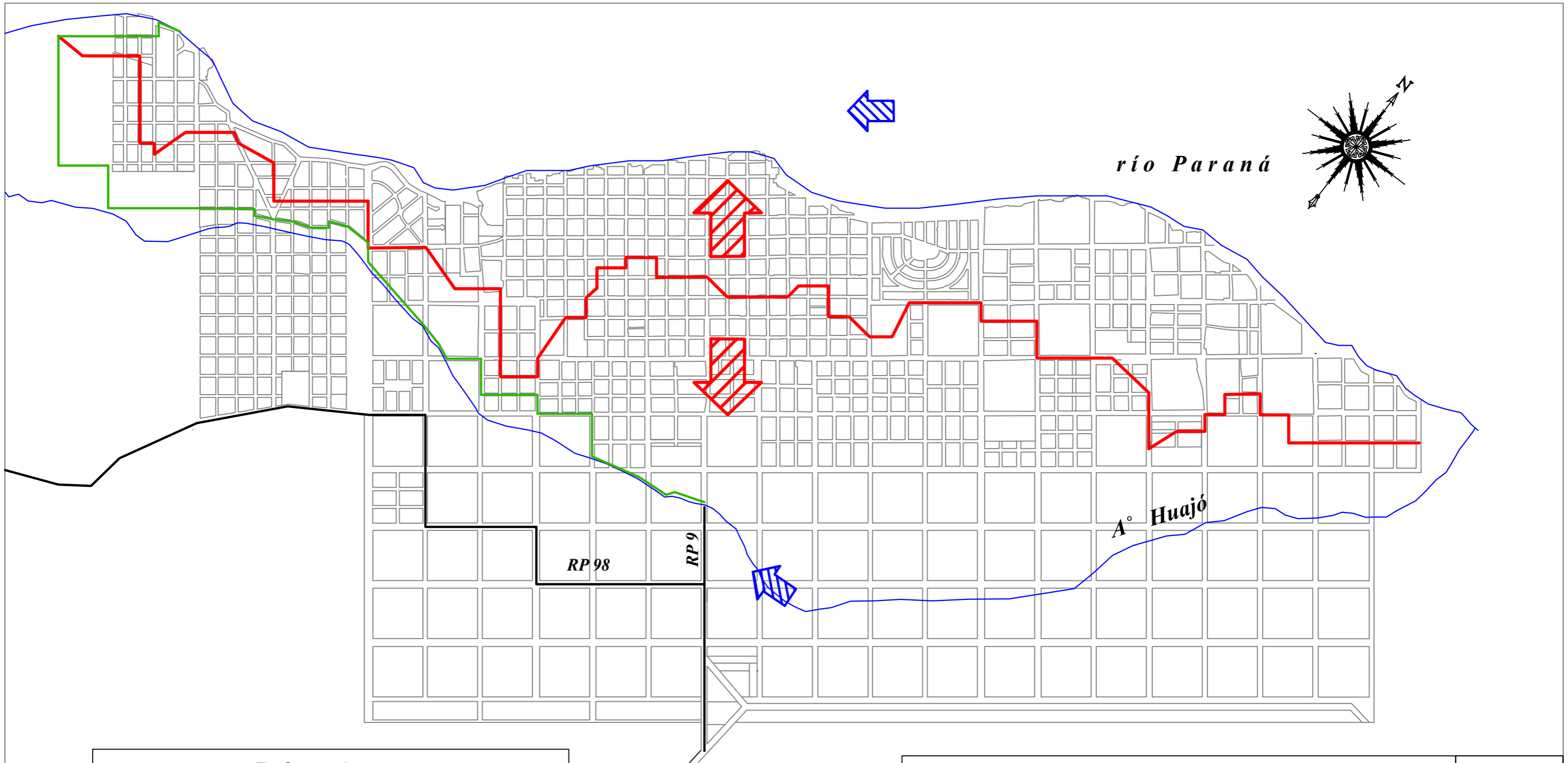
INDICE DE PLANOS

N° DE PLANO	CONTENIDO	ESCALA
1	Ubicación del área en estudio	Sin escala
2	Catastro de la ciudad de Paso de la Patria	1:10.000
3	Datos topográficos	1:20.000
4	Curvas de nivel	1:10.000
5	Sistemas de escurrimiento	1:20.000
6	Cuencas de la zona en estudio	1:20.000
7	Clasificación de usos del suelo	1:20.000
8	Defensa costera para un evento de TR=20 años	1:20.000
9	Áreas anegables para una tormenta de 5 años de TR	1:10.000
10	Canales y reservorios	1:20.000
11	Sección de canal tipo	1:20
12	Sección tipo de defensa	1:50



Referencias	
+	Puntos relevados por la Municipalidad de Paso de la Patria
+	Puntos extrapolados por el equipo
+	Puntos relevados por el equipo
—	Delimitación de la zona de estudio
—	Rutas principales

TRABAJO FINAL			
Plan director de drenaje urbano de Paso de la Patria, Corrientes			
Datos topográficos de Paso de la Patria			UNNE Facultad de Ingeniería
Aquino Rolón, Pablo Goitia, Francisco Sottile, Fabrizio Lucas		PLANO N° 3	
Julio 2018	Escala 1:20000		








río Paraná

A° Huajó

RP 98

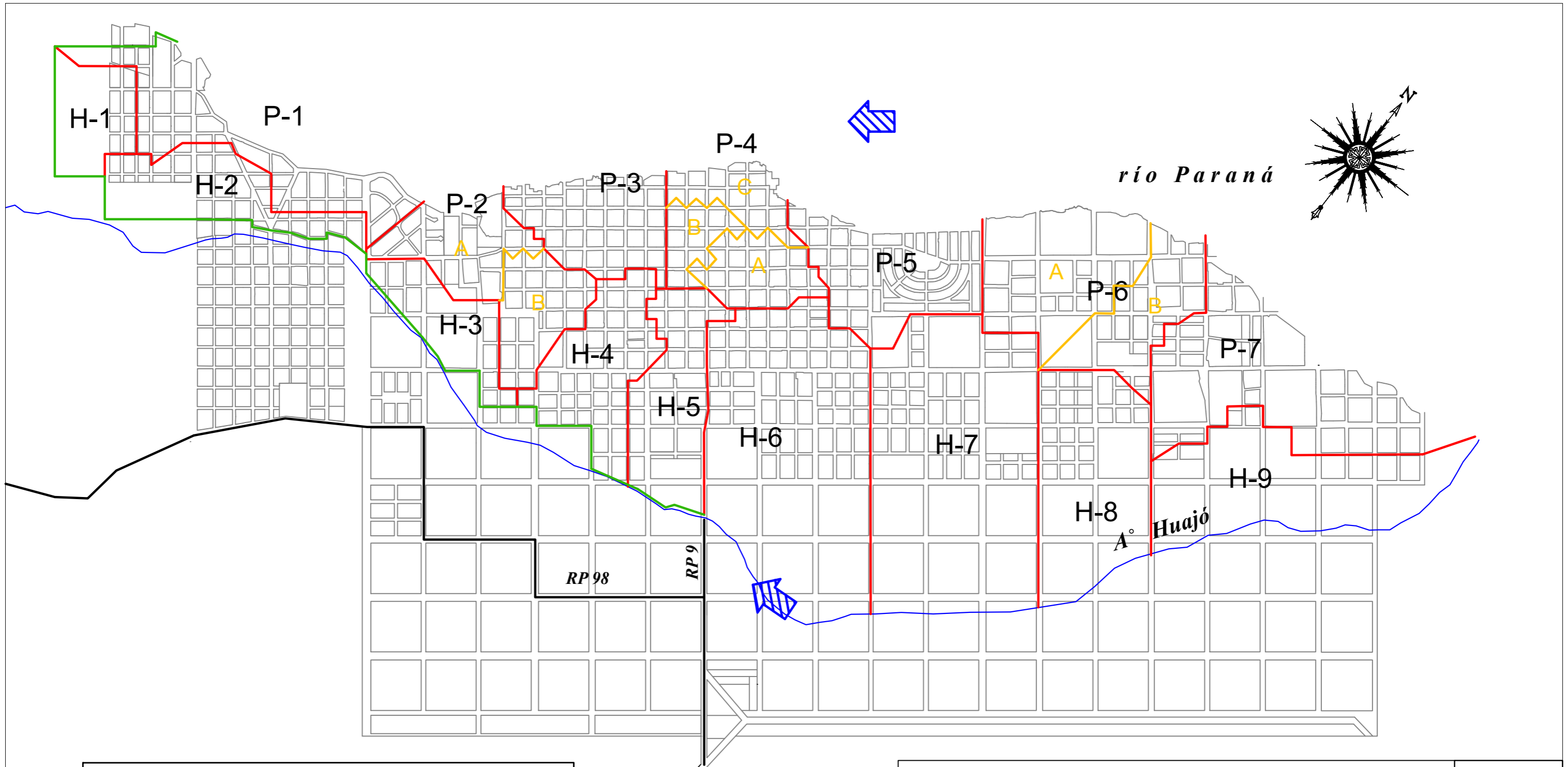
RP 9

Referencias	
	Divisoria de sistemas
	Arroyo Huajó / costa del río Paraná
	Rutas principales
	Defensa existente
	Sentido de escurrimiento

TRABAJO FINAL		
Plan director de drenaje urbano de Paso de la Patria, Corrientes		
Sistemas de escurrimiento		
Aquino Rolón, Pablo Goitia, Francisco Sottile, Fabrizio Lucas	PLANO N° 5	
	Julio 2018	Escala 1:20000




UNNE
Facultad de
Ingeniería

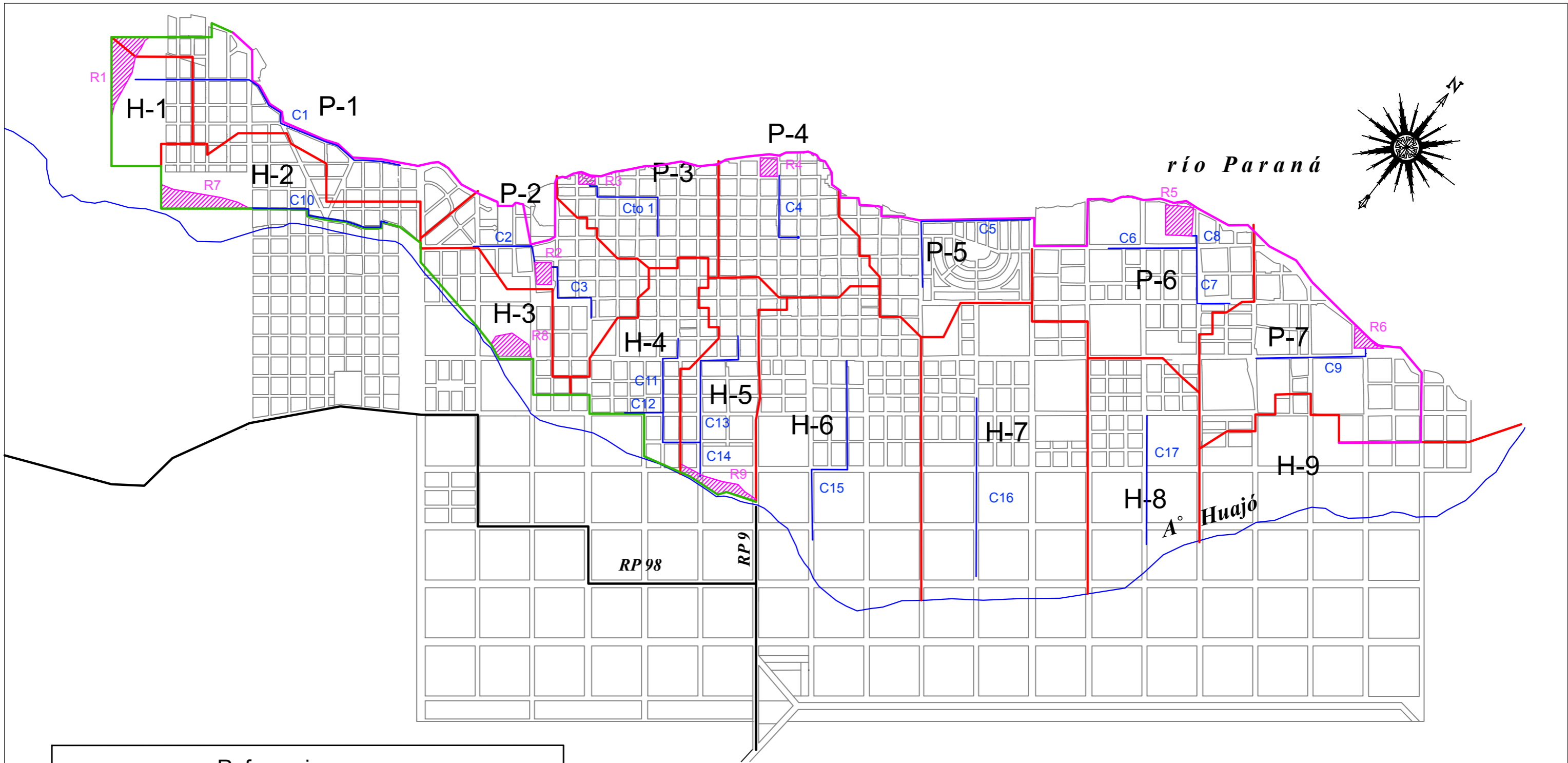


Referencias	
	Arroyo Huajó / costa río Paraná
	Divisoria de cuencas
	Divisoria de subcuencas
P-1	Denominación de cuenca
A	Denominación de subcuenca
	Sentido de escurrimiento
	Defensa existente

TRABAJO FINAL	
Plan director de drenaje urbano de Paso de la Patria, Corrientes	
Cuencas de la zona en estudio	
Aquino Rolón, Pablo Goitia, Francisco Sottile, Fabrizio Lucas	PLANO N° 6
	Julio 2018 Escala 1:20000




UNNE
Facultad de
Ingeniería



Referencias

- Canales / conductos
- Divisorias de cuencas
- Defensa existente
- Defensa propuesta
- Reservorios
- P-1 Denominación de cuenca
- R1 Denominación de reservorio
- C1 / Cto 1 Denominación de canal / conducto

TRABAJO FINAL		
Plan director de drenaje urbano de Paso de la Patria, Corrientes		
Canales y reservorios		
Aquino Rolón, Pablo Goitia, Francisco Sottile, Fabrizio Lucas	PLANO N° 10	
	Julio 2018	Escala 1:20000
		UNNE Facultad de Ingeniería

Índice de tablas

Tabla 1. Planilla de nivelación por rodeo N° 1.....	2
Tabla 2. Planilla de nivelación por rodeo N° 2.....	3
Tabla 3. Dimensionamiento de canales utilizando la fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN.....	4
Tabla 4. Dimensionamiento de conductos de cuenca P-3 utilizando la fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN.....	6
Tabla 5. Dimensionamiento de canales de la cuenca P-1 utilizando fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN.....	7

Índice de figuras

Figura 1. Hidrograma resultante de la cuenca H1 para un TR=5 años.....	8
Figura 2. Hidrograma resultante de la cuenca H1 para un TR=10 años.....	8
Figura 3. Hidrograma resultante de la cuenca H2 para un TR=5 años.....	9
Figura 4. Hidrograma resultante de la cuenca H2 para un TR=10 años.....	9
Figura 5. Hidrograma resultante de la cuenca H3 para un TR=5 años.....	10
Figura 6. Hidrograma resultante de la cuenca H3 para un TR=10 años.....	10
Figura 7. Hidrograma resultante de la cuenca H4 para un TR=5 años.....	11
Figura 8. Hidrograma resultante de la cuenca H4 para un TR=10 años.....	11
Figura 9. Hidrograma resultante de la cuenca H5 para un TR=5 años.....	12
Figura 10. Hidrograma resultante de la cuenca H5 para un TR=10 años.....	12
Figura 11. Hidrograma resultante de la cuenca H6 para un TR=5 años.....	13
Figura 12. Hidrograma resultante de la cuenca H6 para un TR=10 años.....	13
Figura 13. Hidrograma resultante de la cuenca H7 para un TR=5 años.....	14
Figura 14. Hidrograma resultante de la cuenca H7 para un TR=10 años.....	14
Figura 15. Hidrograma resultante de la cuenca H8 para un TR=5 años.....	15
Figura 16. Hidrograma resultante de la cuenca H8 para un TR=10 años.....	15
Figura 17. Hidrograma resultante de la cuenca H9 para un TR=5 años.....	16
Figura 18. Hidrograma resultante de la cuenca H9 para un TR=10 años.....	16
Figura 19. Hidrograma resultante de la cuenca P1 para un TR=5 años.....	17
Figura 20. Hidrograma resultante de la cuenca P1 para un TR=10 años.....	17
Figura 21. Hidrograma resultante de la cuenca P2 para un TR=5 años.....	18
Figura 22. Hidrograma resultante de la cuenca P2 para un TR=10 años.....	18
Figura 23. Hidrograma resultante de la cuenca P3 para un TR=5 años.....	19
Figura 24. Hidrograma resultante de la cuenca P3 para un TR=10 años.....	19
Figura 25. Hidrograma resultante de la cuenca P4 para un TR=5 años.....	20
Figura 26. Hidrograma resultante de la cuenca P4 para un TR=10 años.....	20
Figura 27. Hidrograma resultante de la cuenca P4A para un TR=10 años.....	21
Figura 28. Hidrograma resultante de la cuenca P4B para un TR=10 años.....	21
Figura 29. Hidrograma resultante de la cuenca P4C para un TR=10 años.....	22
Figura 30. Hidrograma resultante de la cuenca P5 para un TR=5 años.....	23
Figura 31. Hidrograma resultante de la cuenca P5 para un TR=10 años.....	23
Figura 32. Hidrograma resultante de la cuenca P6 para un TR=5 años.....	24
Figura 33. Hidrograma resultante de la cuenca P6 para un TR=10 años.....	24
Figura 34. Hidrograma resultante de la cuenca P7 para un TR=5 años.....	25
Figura 35. Hidrograma resultante de la cuenca P7 para un TR=10 años.....	25
Figura 36. Esquema del canal C-1 de las cuencas P-1 y H-1 en el programa EPA-SWMM.....	26
Figura 37. Esquema del perfil longitudinal de los canales para las cuencas P-1 y H-1 en el programa EPA-SWMM.....	26
Figura 38. Esquema de los canales para la cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM.....	27
Figura 39. Esquema del perfil longitudinal del canal C-2 para las cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM.....	27
Figura 40. Esquema del perfil longitudinal del canal C-3 para las cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM.....	28
Figura 41. Esquema de los conductos para la cuenca P-3 en el programa EPA-SWMM.....	28
Figura 42. Esquema del perfil longitudinal del conducto Cond-1 para las cuencas P-3 en el programa EPA-SWMM.....	29

Figura 43. Esquema del canal para la cuenca P-4 en el programa EPA-SWMM.....	29
Figura 44. Esquema del perfil longitudinal del canal C-4 para las cuenca P-4 en el programa EPA-SWMM.....	30
Figura 45. Esquema del canal para la cuenca P-5 en el programa EPA-SWMM.....	30
Figura 46. Esquema del perfil longitudinal del canal C-5 para las cuenca P-5 en el programa EPA-SWMM.....	31
Figura 47. Esquema de los canales para la cuenca P-6 en el programa EPA-SWMM.....	31
Figura 48. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-6 y C-8 para las cuencas P-6 en el programa EPA-SWMM.....	32
Figura 49. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-7 y C-8 para las cuencas P-6 en el programa EPA-SWMM.....	32
Figura 50. Esquema de los canales para la cuenca P-7 en el programa EPA-SWMM.....	33
Figura 51. Esquema del perfil longitudinal del canal C-9 para las cuencas P-7 en el programa EPA-SWMM.....	33
Figura 52. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-11, C-12, C-13 y C-14 para las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM.....	34
Figura 53. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-11 y C-14 para las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM.....	34
Figura 54. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-12 y C-14 para las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM.....	35
Figura 55. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-13 y C-14 para las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM.....	35

Índice de fichas

Cuencas H1 y P1.....	36
Cuenca P2.....	37
Cuenca P3.....	39
Cuenca P4.....	40
Cuenca P5.....	41
Cuenca P6.....	42
Cuenca P7.....	43
Cuenca H2.....	44
Cuenca H3.....	45
Cuencas H4 y H5.....	46
Cuenca H6.....	48
Cuenca H7.....	49
Cuenca H8.....	50
Cuenca H9.....	51

Tabla 1. Planilla de nivelación por rodeo N° 1 (Fuente: elaboración propia).

Estación	Punto	Hi	Hs	Parciales	Progresivas	Atrás	Adelante	Cotas Provisorias	Plano Visual	Cotas Corregidas
E1	PF1	1,165	2,135	0	0	1,65		52,64	54,29	52,64
	P1	0,925	2,045	209	209		1,485	52,81		52,80
E2	P1	0,835	1,76	92,5	301,5	1,295		52,81	54,1	
	P2	0,71	1,89	118	419,5		1,305	52,80		52,79
E3	P2	1,325	2,33	100,5	520	1,835		52,80	54,63	
	P3	2,31	3,4	109	629		2,85	51,78		51,77
E4	P3	-	0,54	95	724	0,065		51,78	51,845	
	P4	1,14	2,42	128	852		1,79	50,06		50,04
E5	P4	2,3	2,93	63	915	2,62		50,06	52,675	
	P5	-	0,77	118	1033		0,18	52,50		52,47
E6	P5	0,3	1,67	137	1170	0,99		52,50	53,485	
	P6	2,34	3,51	117	1287		2,925	50,56		50,53
E7	P6	1,54	2,84	130	1417	2,19		50,56	52,75	
	P7	-	1,9	210	1627		0,85	51,90		51,87
E8	P7	2,54	-	134	1761	3,21		51,90	55,11	
	PF1*	1,6	3,27	167	1928		2,43	52,68		52,64

Error	0,04	m
-------	------	---

Dtotal	1928	m
--------	------	---

Tabla 2. Planilla de nivelación por rodeo N° 2 (Fuente: elaboración propia).

Estación	Punto	Hi	Hs	Parciales	Progresivas	Atrás	Adelante	Cotas Provisorias	Plano Visual	Cotas Corregidas
E9	PF2	1,11	1,705	0	0	1,405		53,05	54,455	53,05
	P8	1,28	1,685	100	100		1,48	52,98		52,98
E10	P8	1,135	1,72	58,5	158,5	1,52		52,98	54,495	
	P9	0,98	1,64	66	224,5		1,31	53,19		53,19
E11	P9	1,22	1,97	75	299,5	1,6		53,19	54,785	
	P10	1,15	2,22	107	406,5		1,685	53,10		53,11
E12	P10	-	0,97	114	520,5	0,4		53,10	53,5	
	P11	0,71	2,34	163	683,5		1,53	51,97		51,99
E13	P11	2,5	3,965	146,5	830	2,73		51,97	54,7	
	PF2*	1,385	1,96	57,5	887,5		1,67	53,03		53,05

Error	-0,02	m
Dtotal	887,5	m

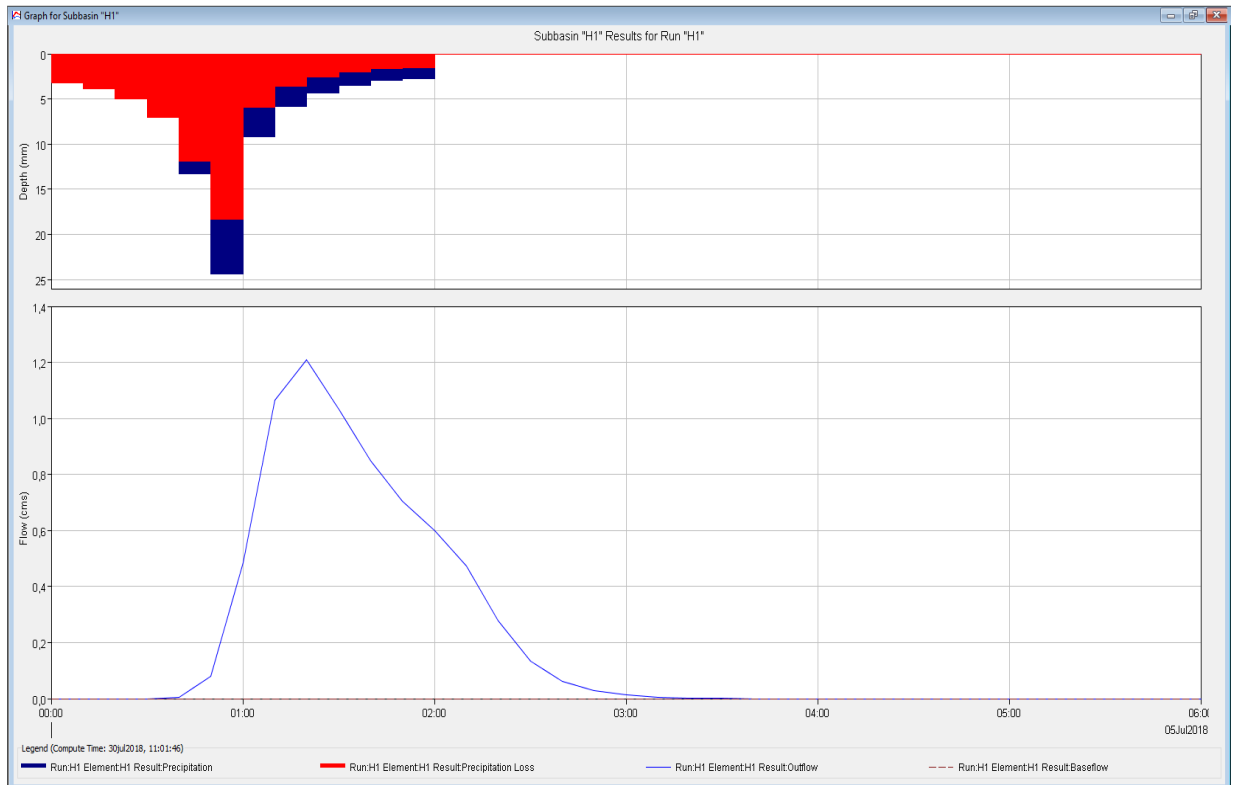


Figura 1. Hidrograma resultante de la cuenca H1 para un TR=5 años.

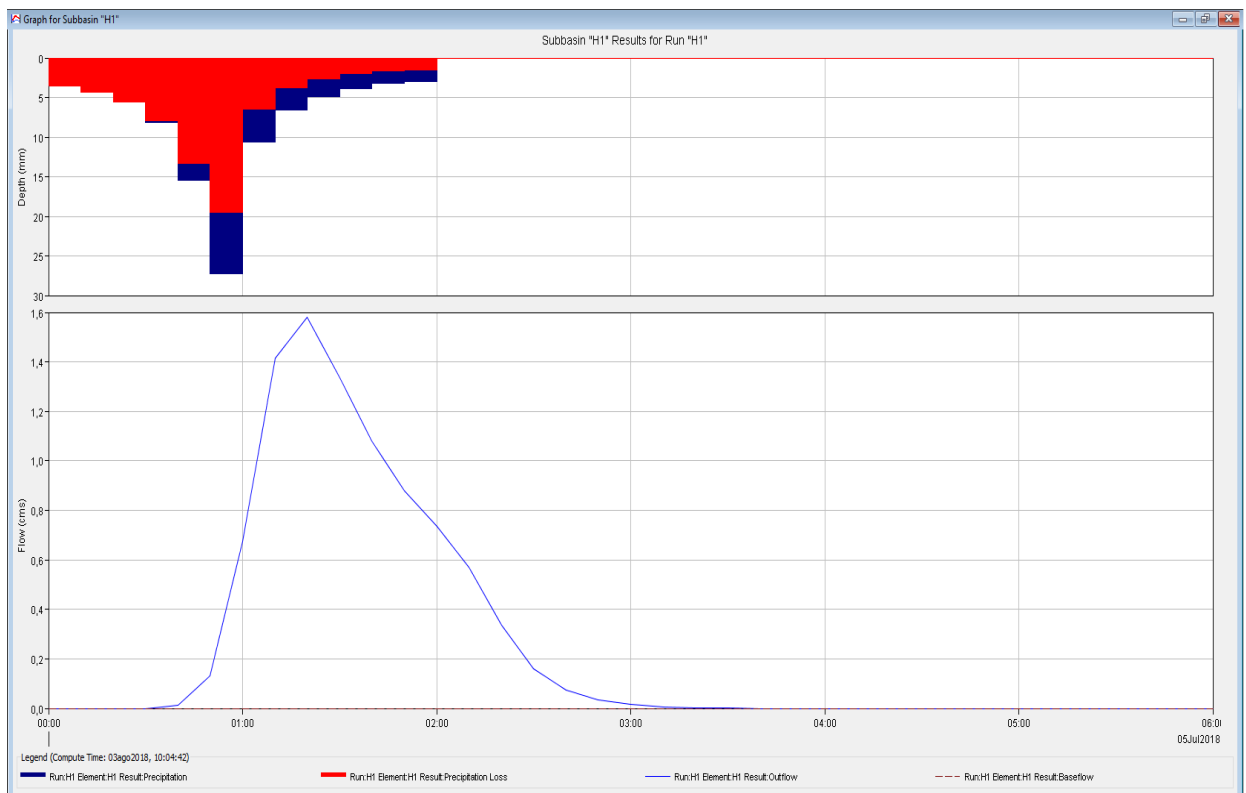


Figura 2. Hidrograma resultante de la cuenca H1 para un TR=10 años.

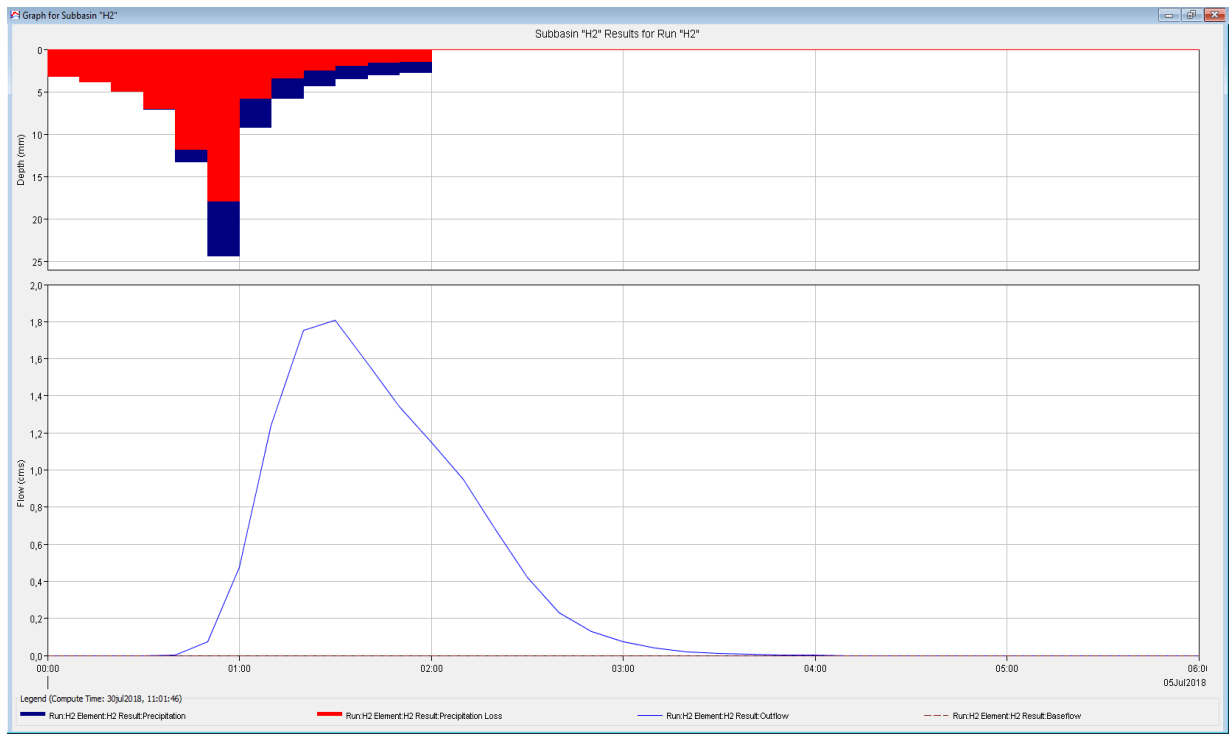


Figura 3. Hidrograma resultante de la cuenca H2 para un TR=5 años.

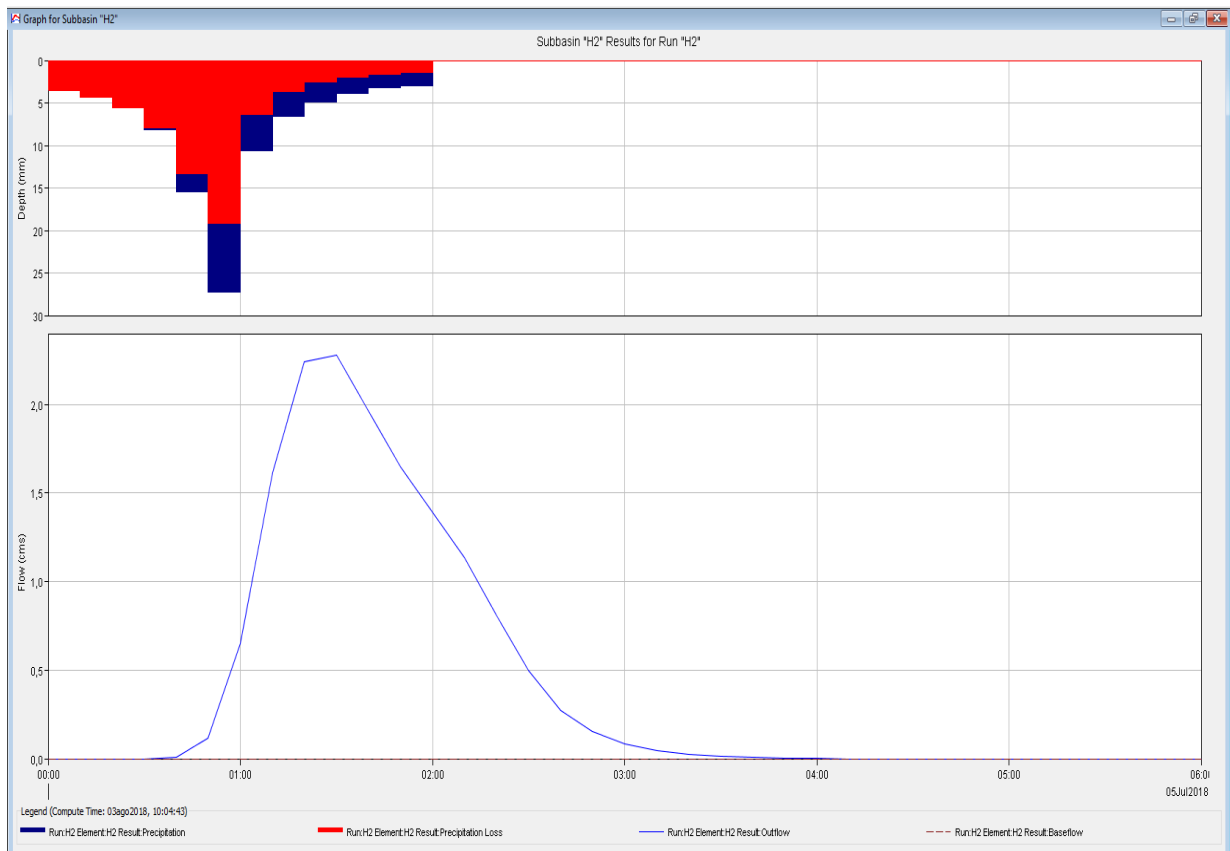


Figura 4. Hidrograma resultante de la cuenca H2 para un TR=10 años.

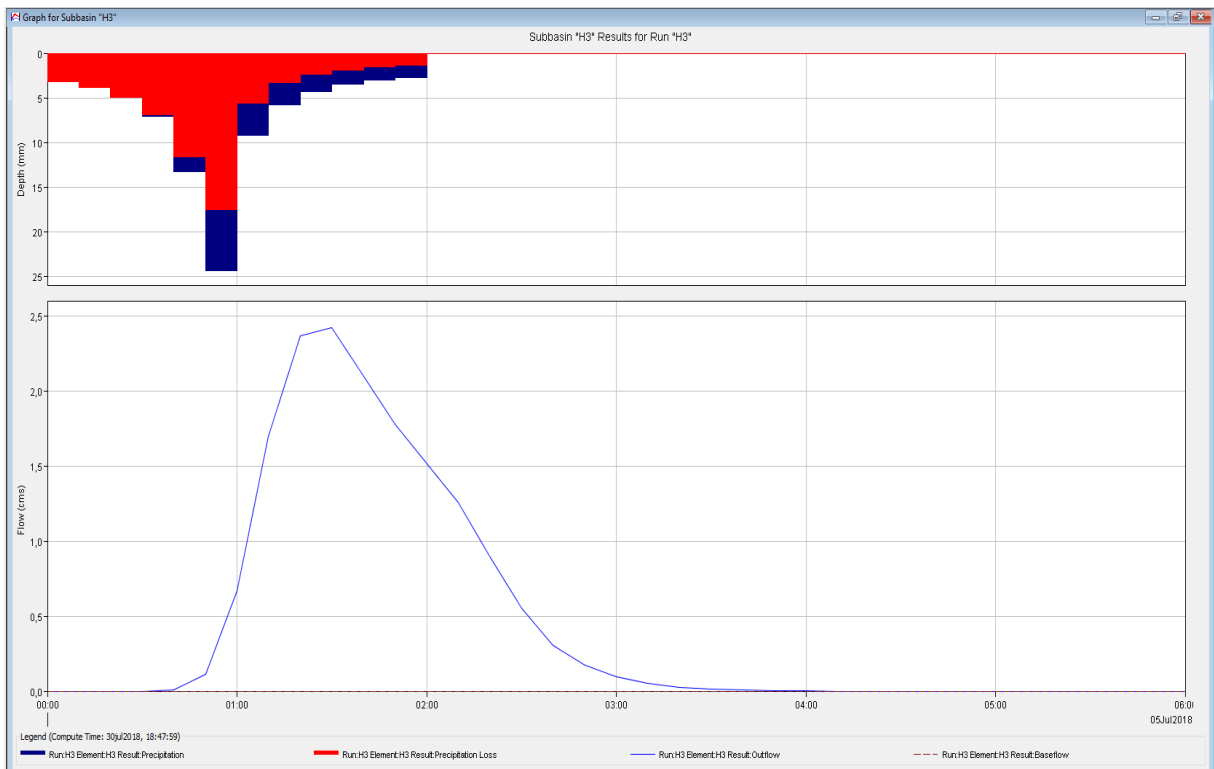


Figura 5. Hidrograma resultante de la cuenca H3 para un TR=5 años.

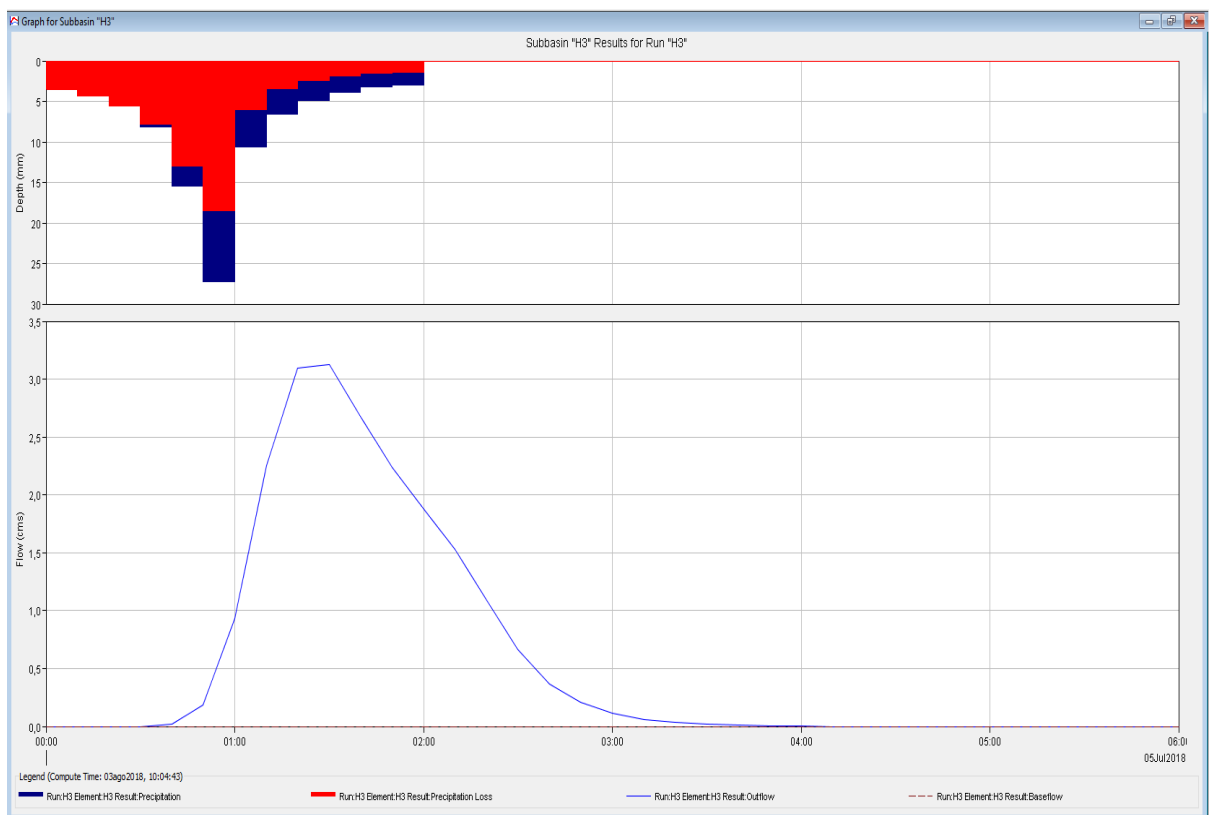


Figura 6. Hidrograma resultante de la cuenca H3 para un TR=10 años.

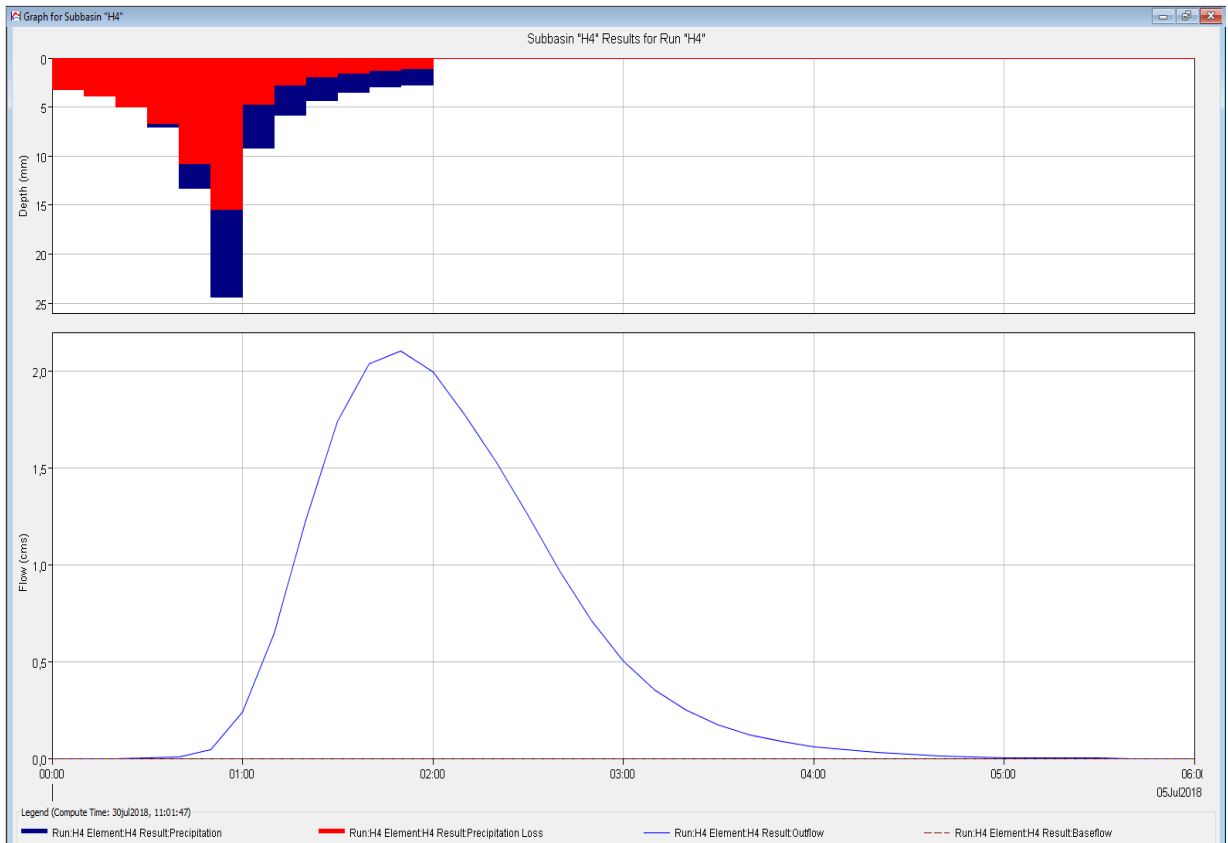


Figura 7. Hidrograma resultante de la cuenca H4 para un TR=5 años.

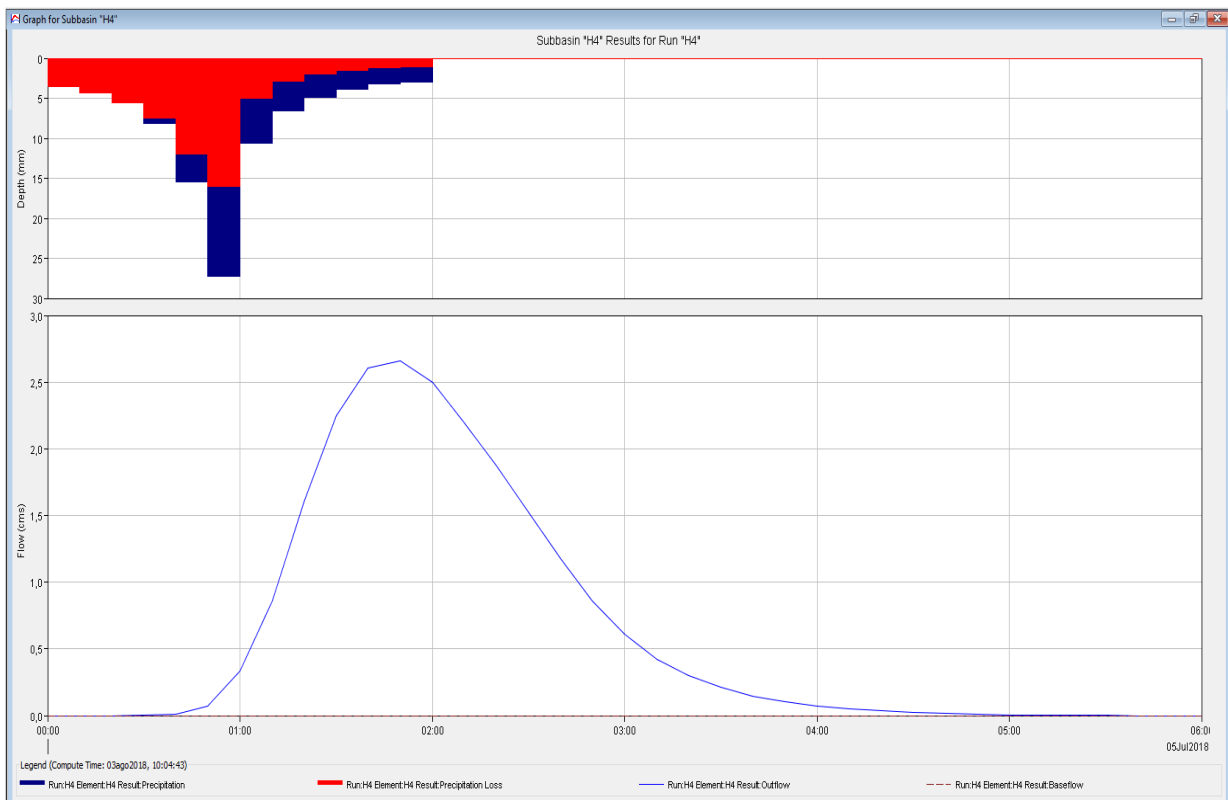


Figura 8. Hidrograma resultante de la cuenca H4 para un TR=10 años.

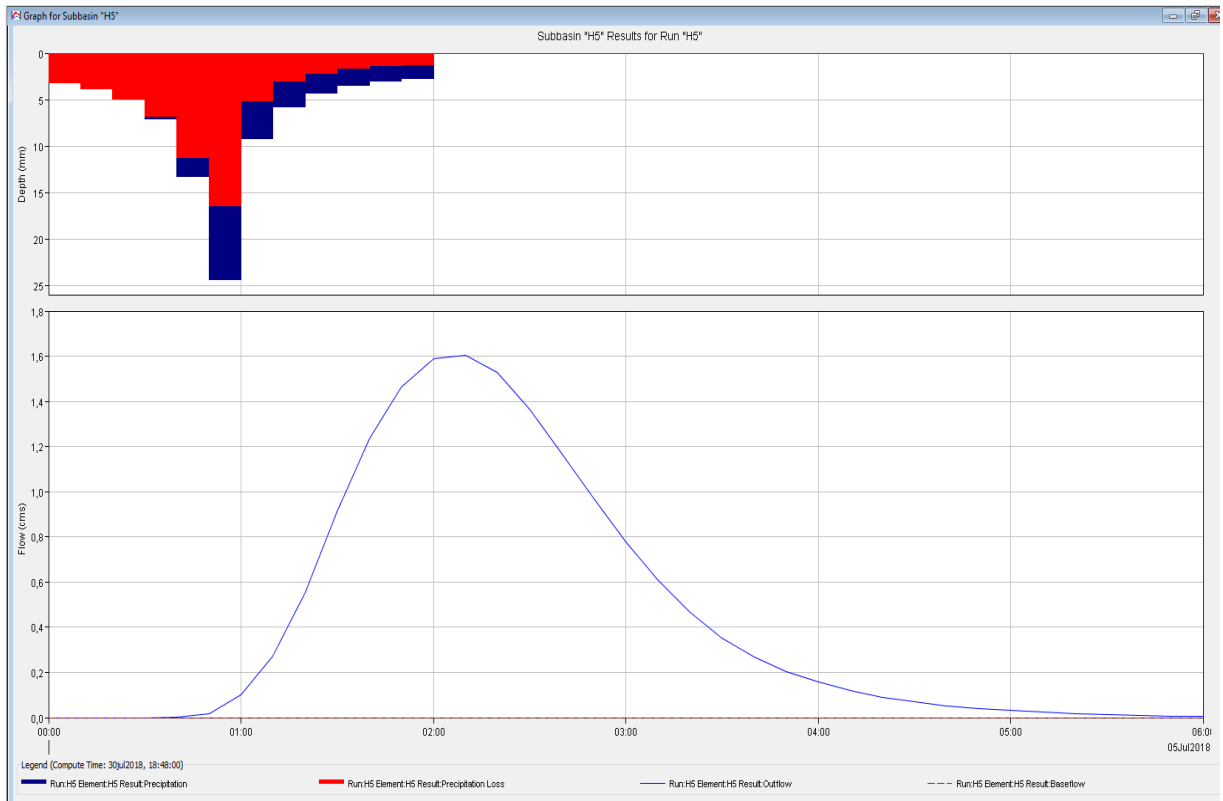


Figura 9. Hidrograma resultante de la cuenca H5 para un TR=5 años.

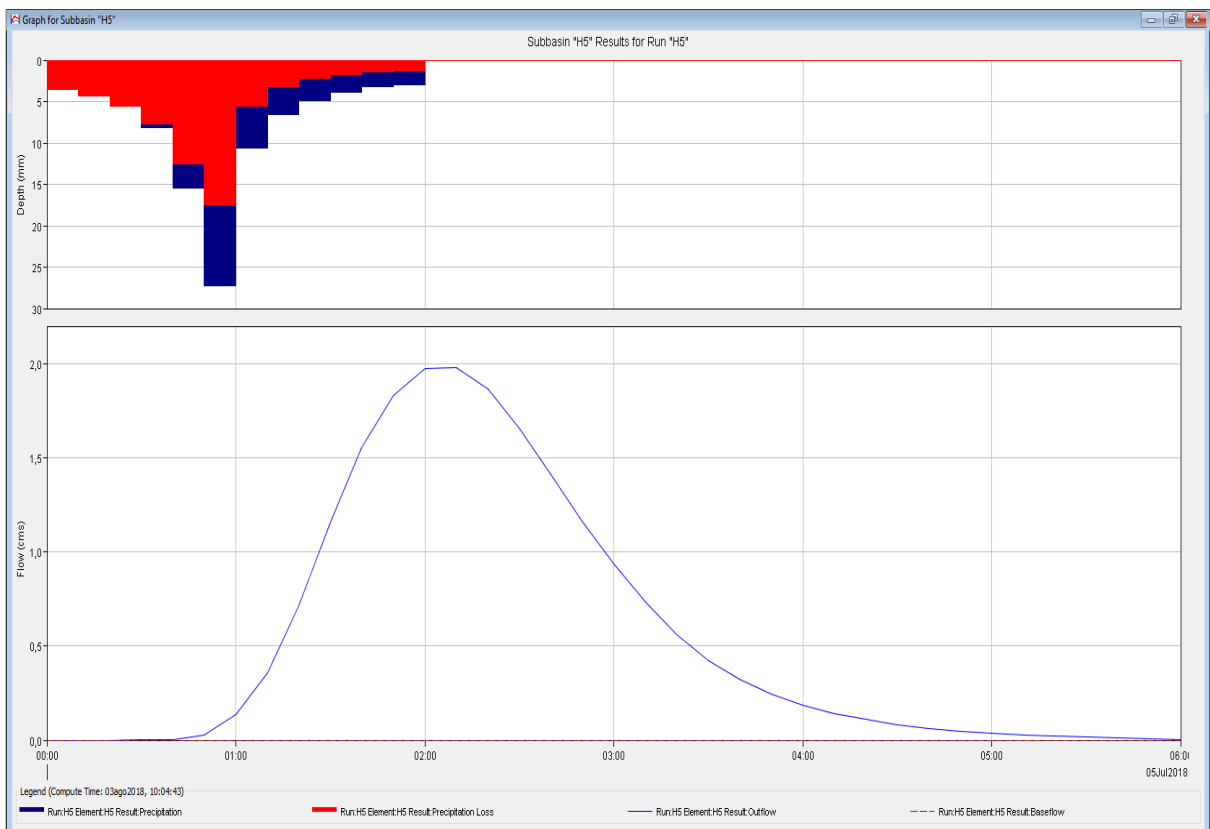


Figura 10. Hidrograma resultante de la cuenca H5 para un TR=10 años.

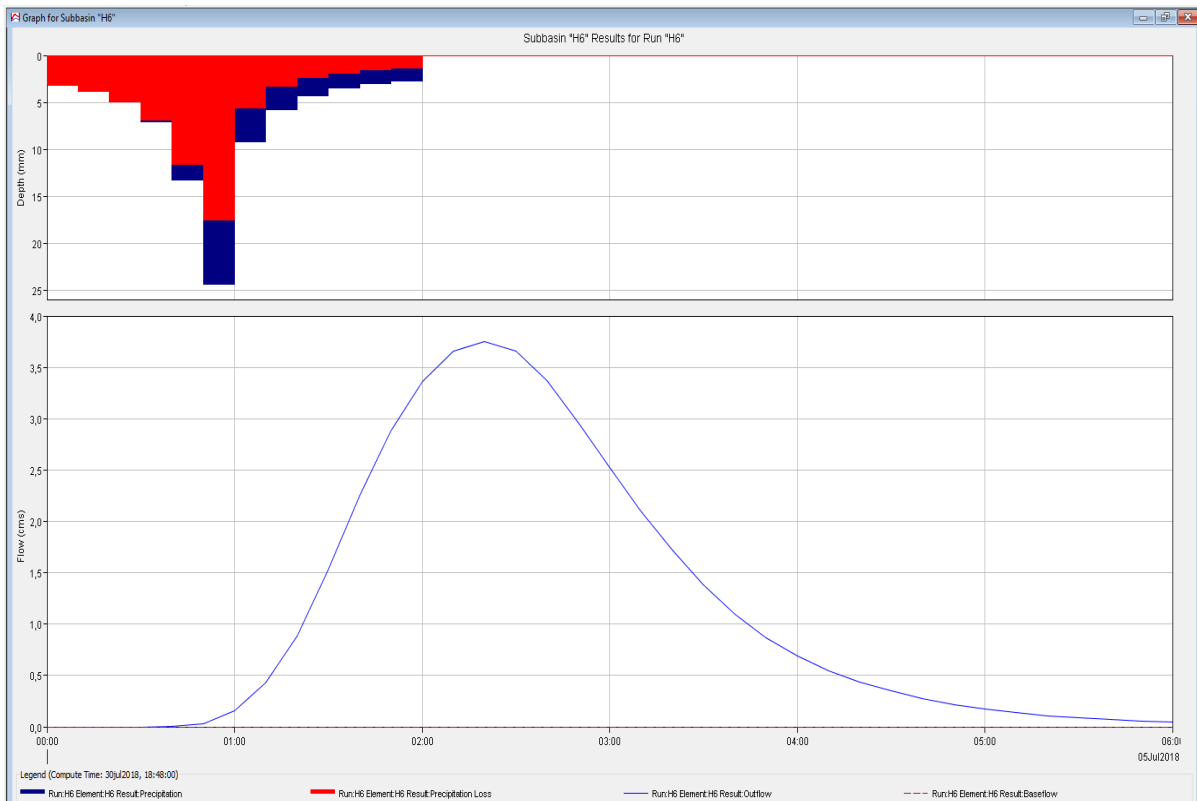


Figura 11. Hidrograma resultante de la cuenca H6 para un TR=5 años.

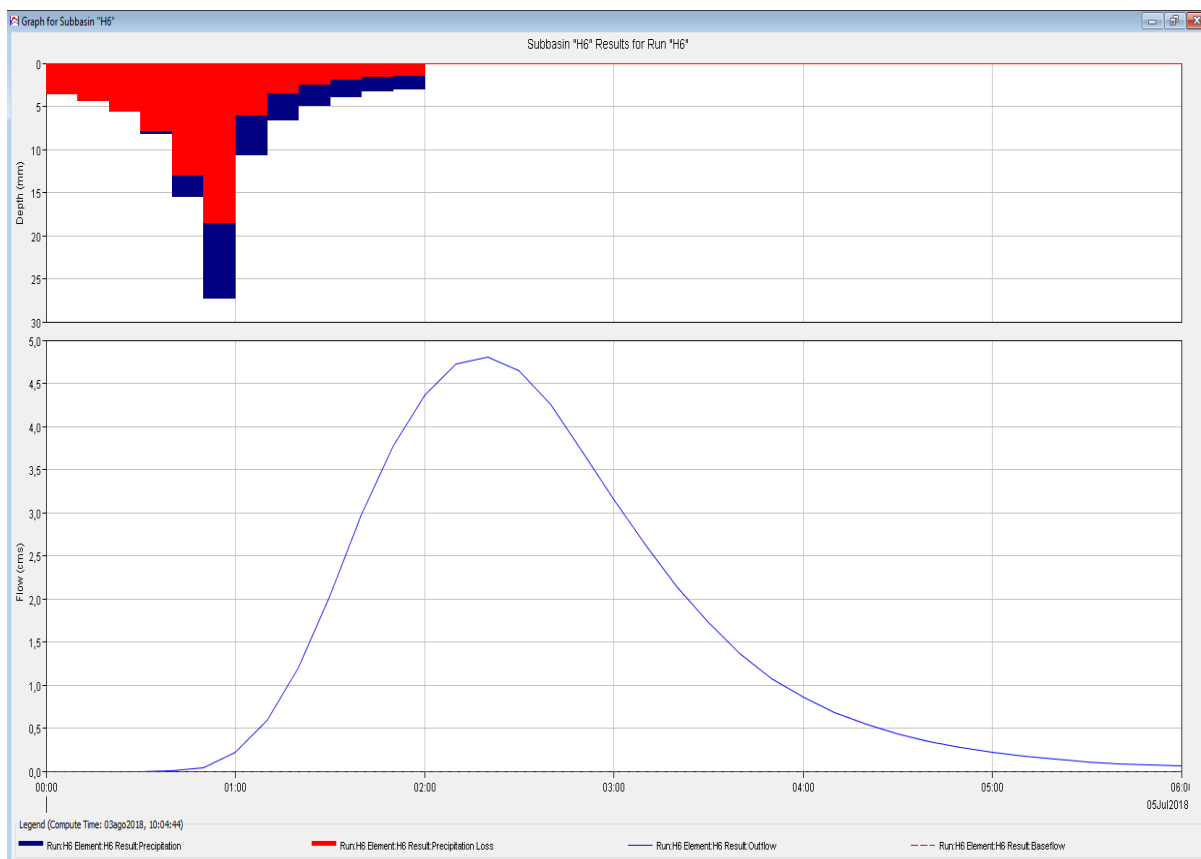


Figura 12. Hidrograma resultante de la cuenca H6 para un TR=10 años.

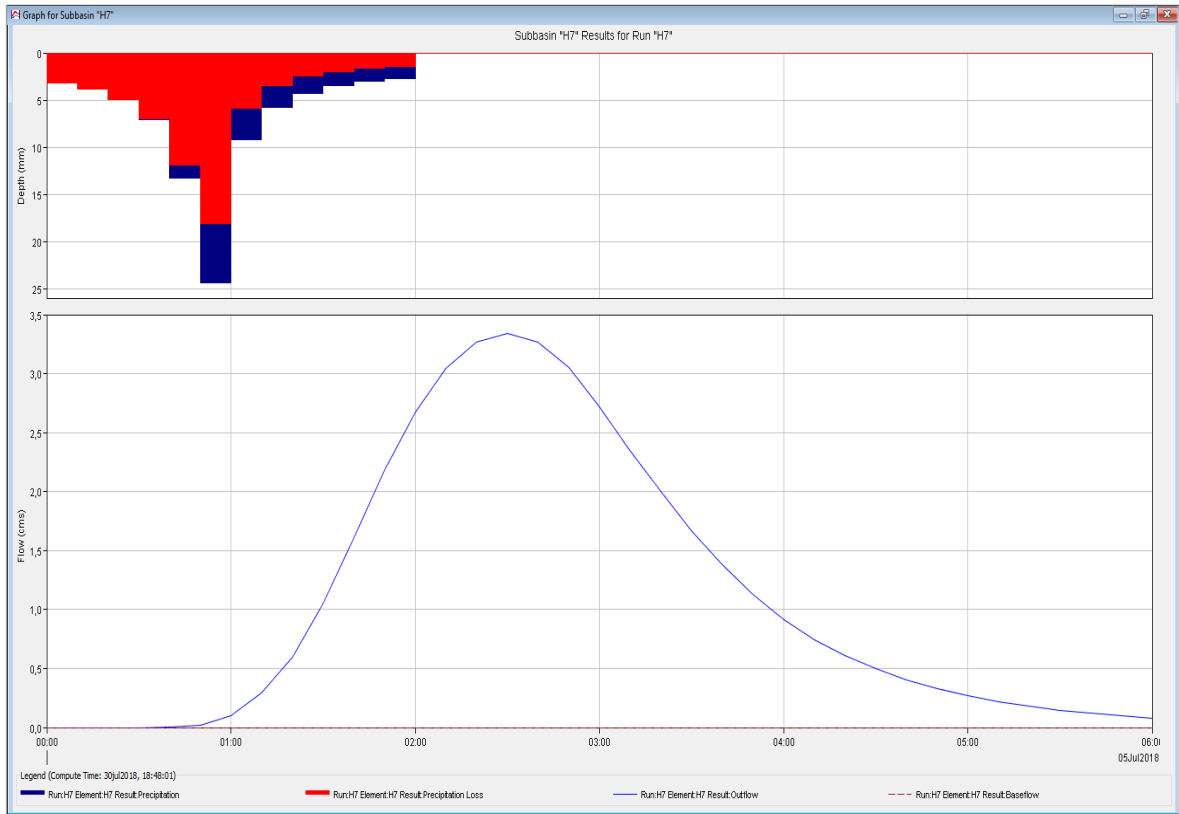


Figura 13. Hidrograma resultante de la cuenca H7 para un TR=5 años.

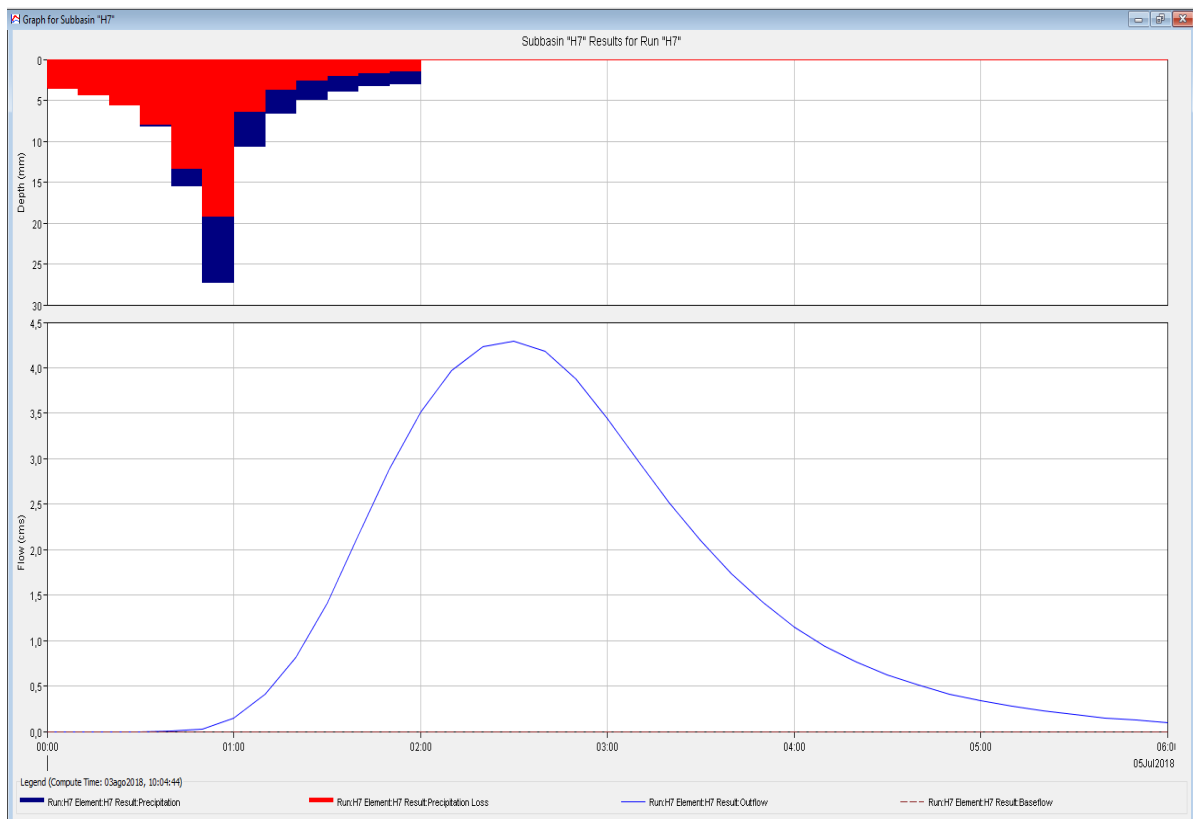


Figura 14. Hidrograma resultante de la cuenca H7 para un TR=10 años.

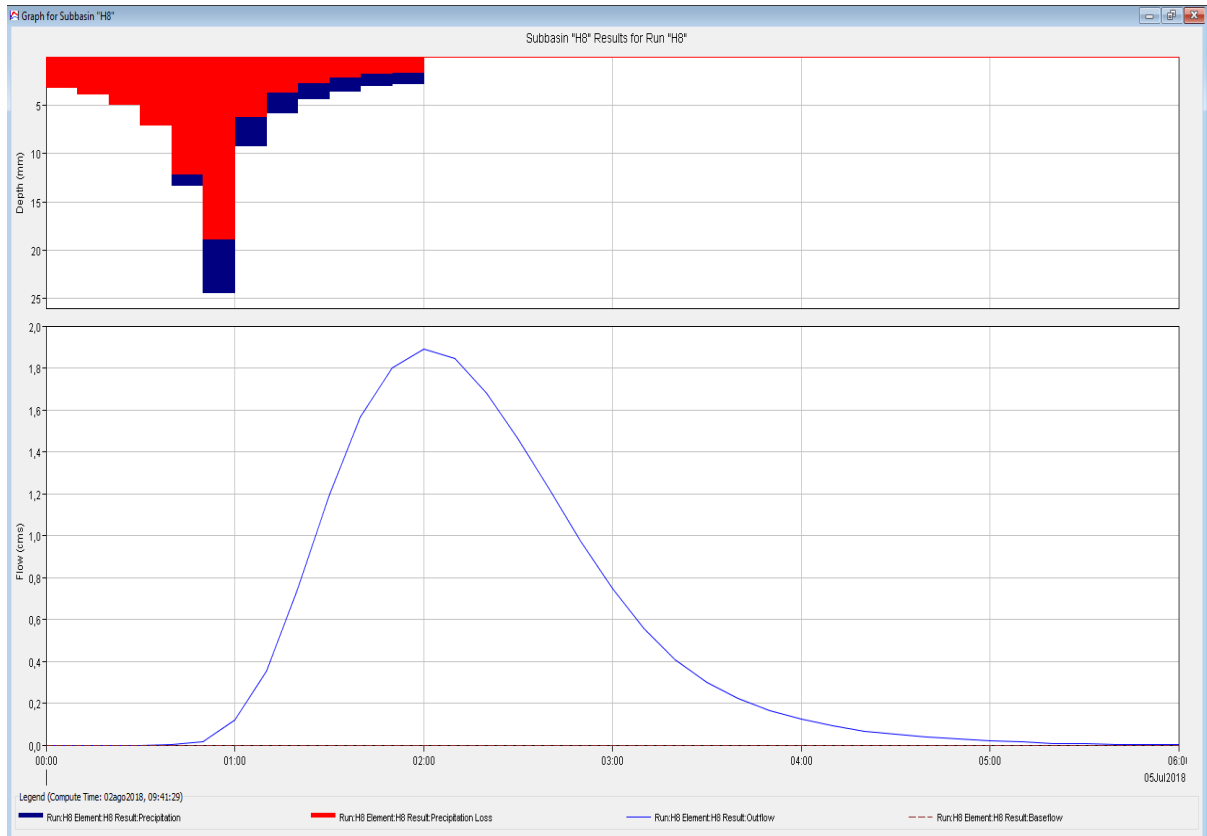


Figura 15. Hidrograma resultante de la cuenca H8 para un TR=5 años.

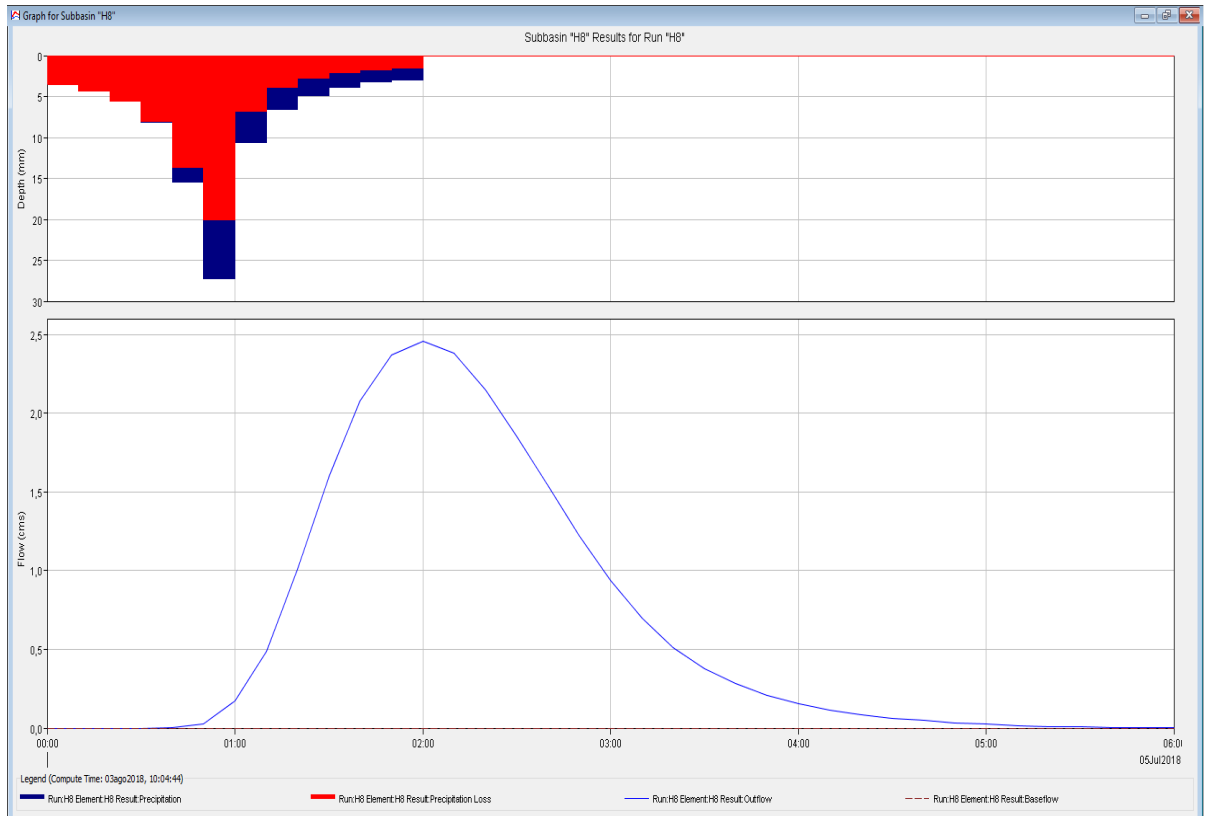


Figura 16. Hidrograma resultante de la cuenca H8 para un TR=10 años.

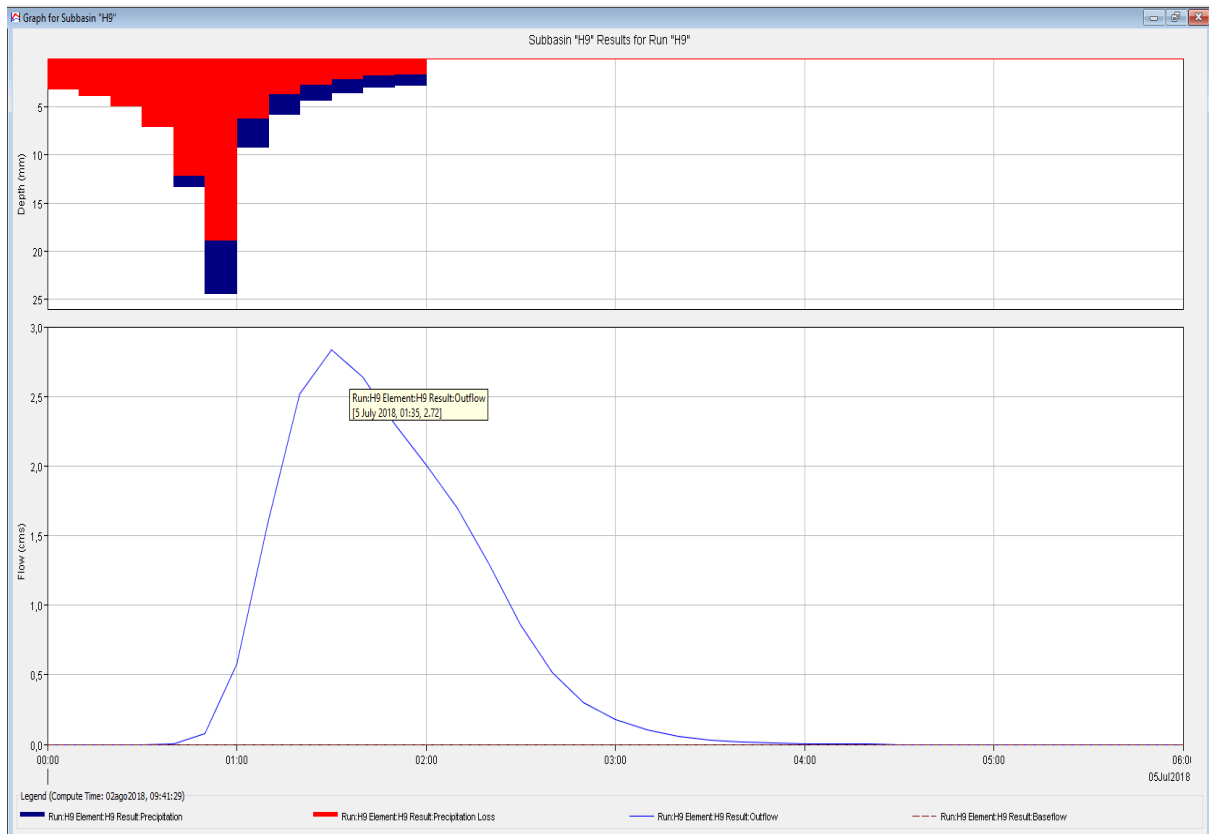


Figura 17. Hidrograma resultante de la cuenca H9 para un TR=5 años.

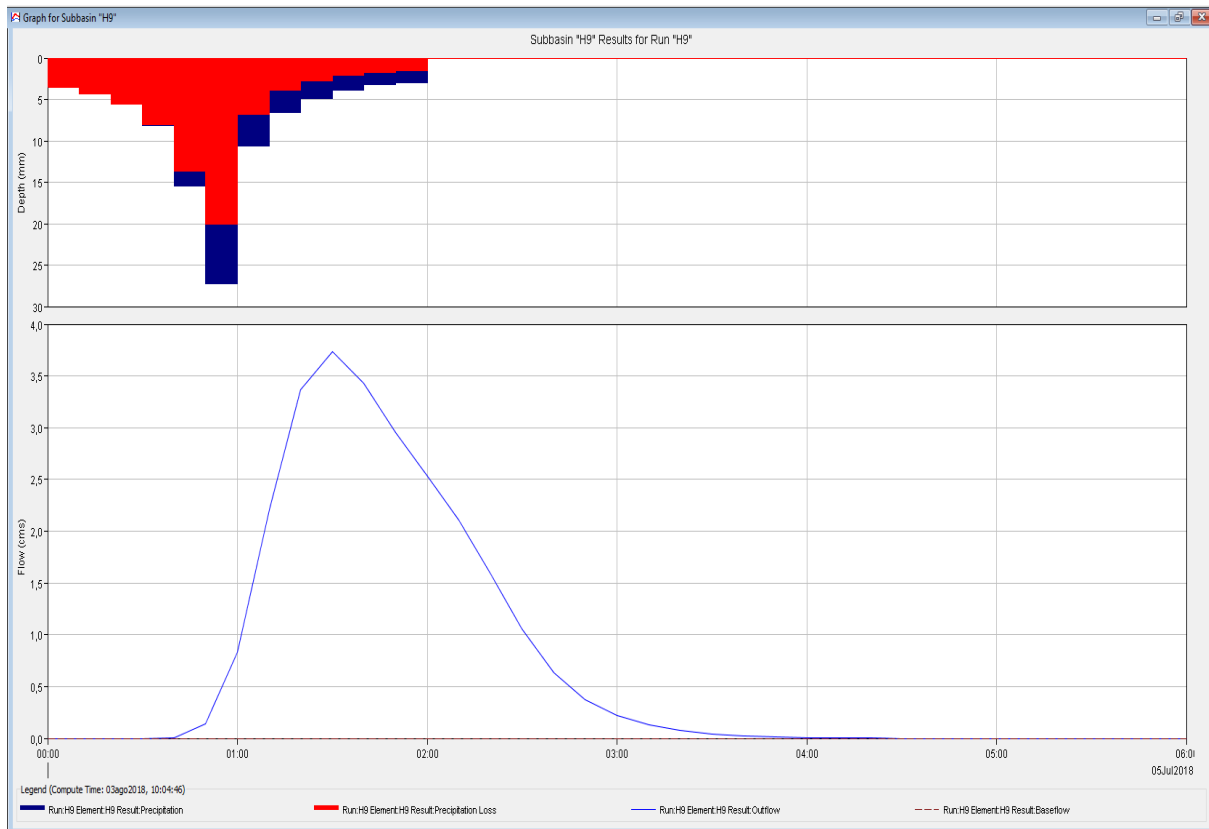


Figura 18. Hidrograma resultante de la cuenca H9 para un TR=10 años.

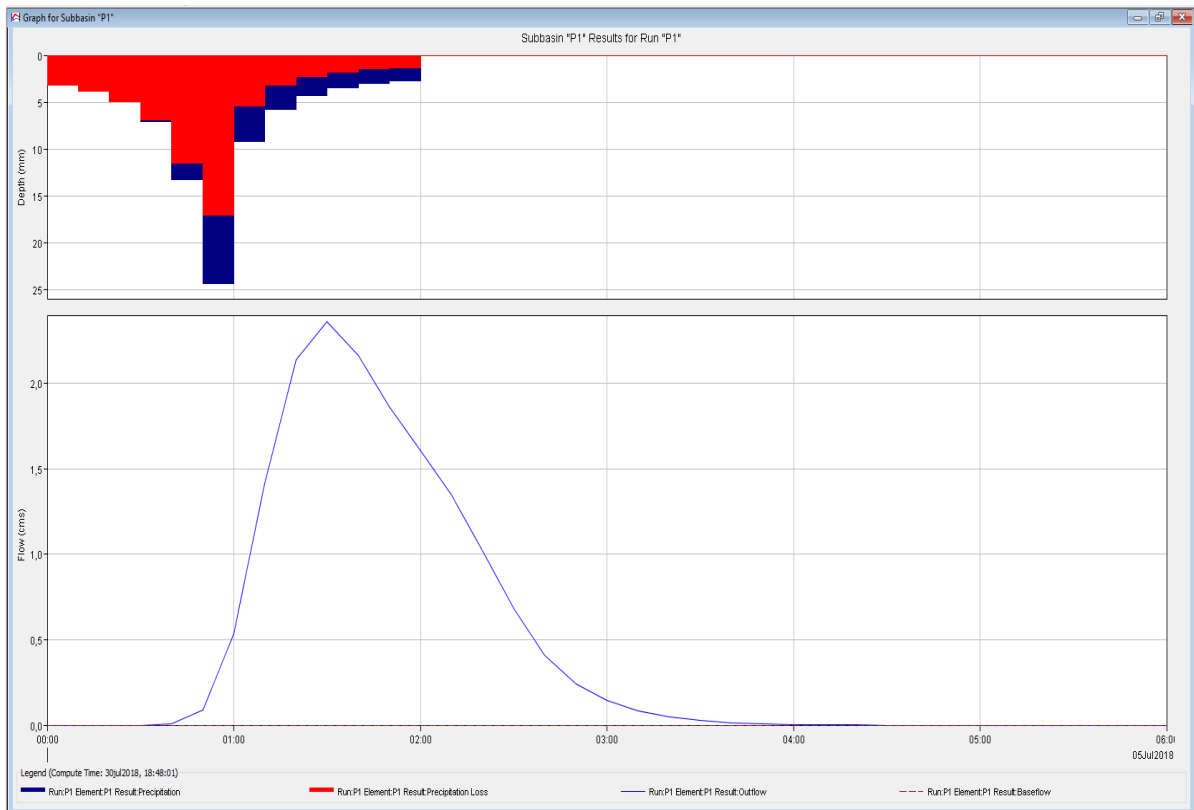


Figura 19. Hidrograma resultante de la cuenca P1 para un TR=5 años.

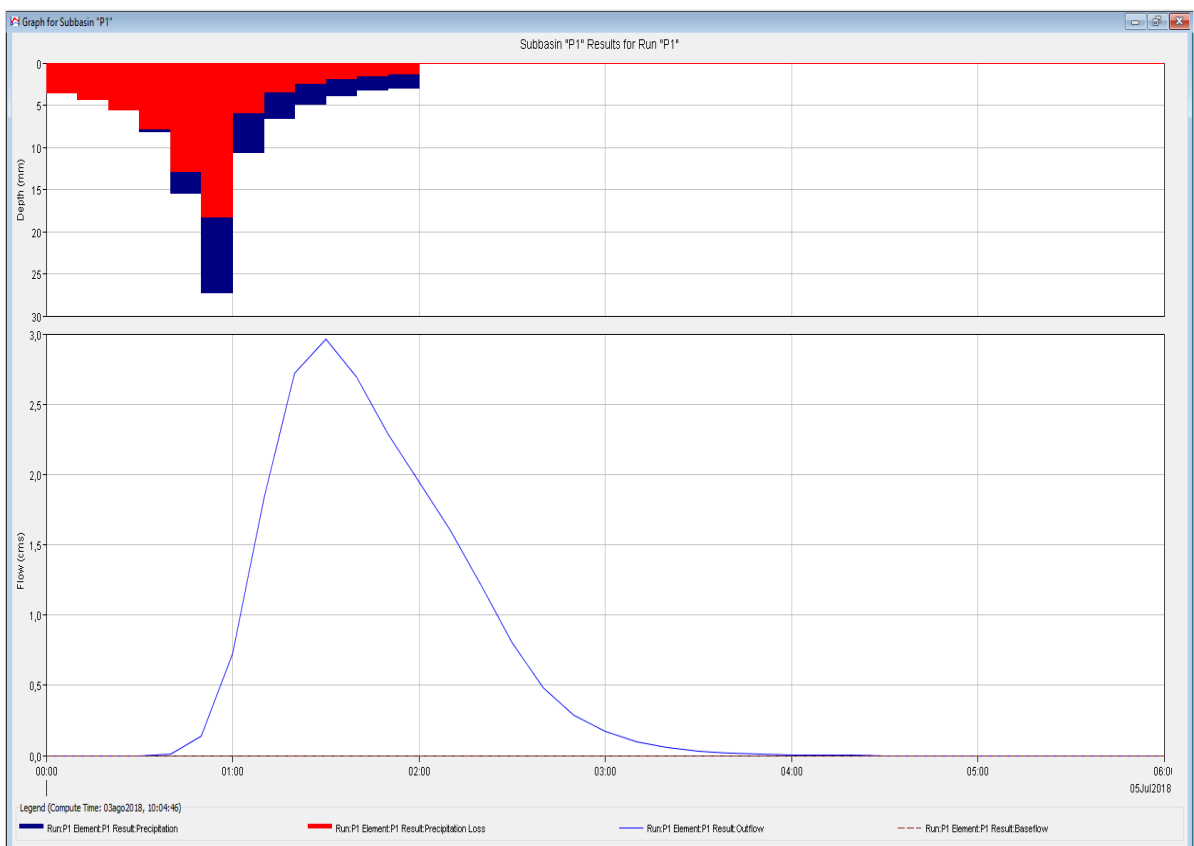


Figura 20. Hidrograma resultante de la cuenca P1 para un TR=10 años.

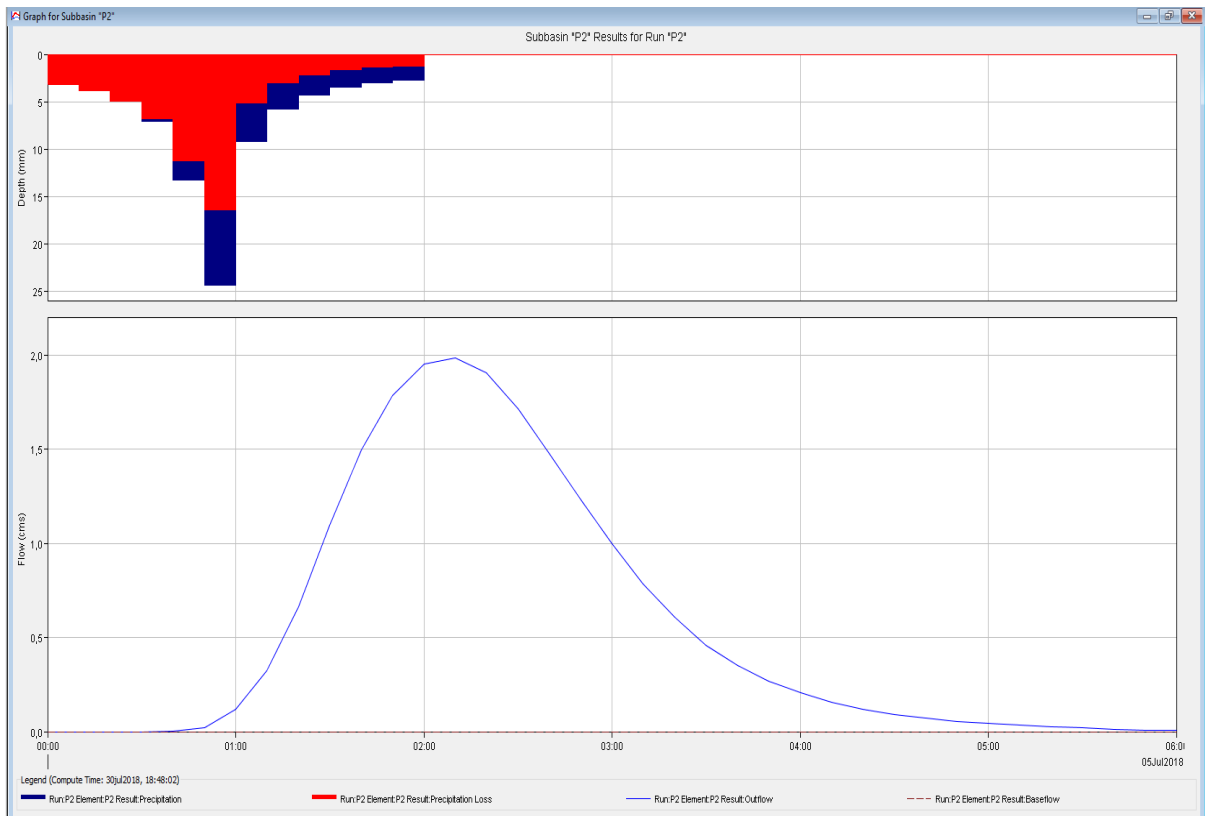


Figura 21. Hidrograma resultante de la cuenca P2 para un TR=5 años.

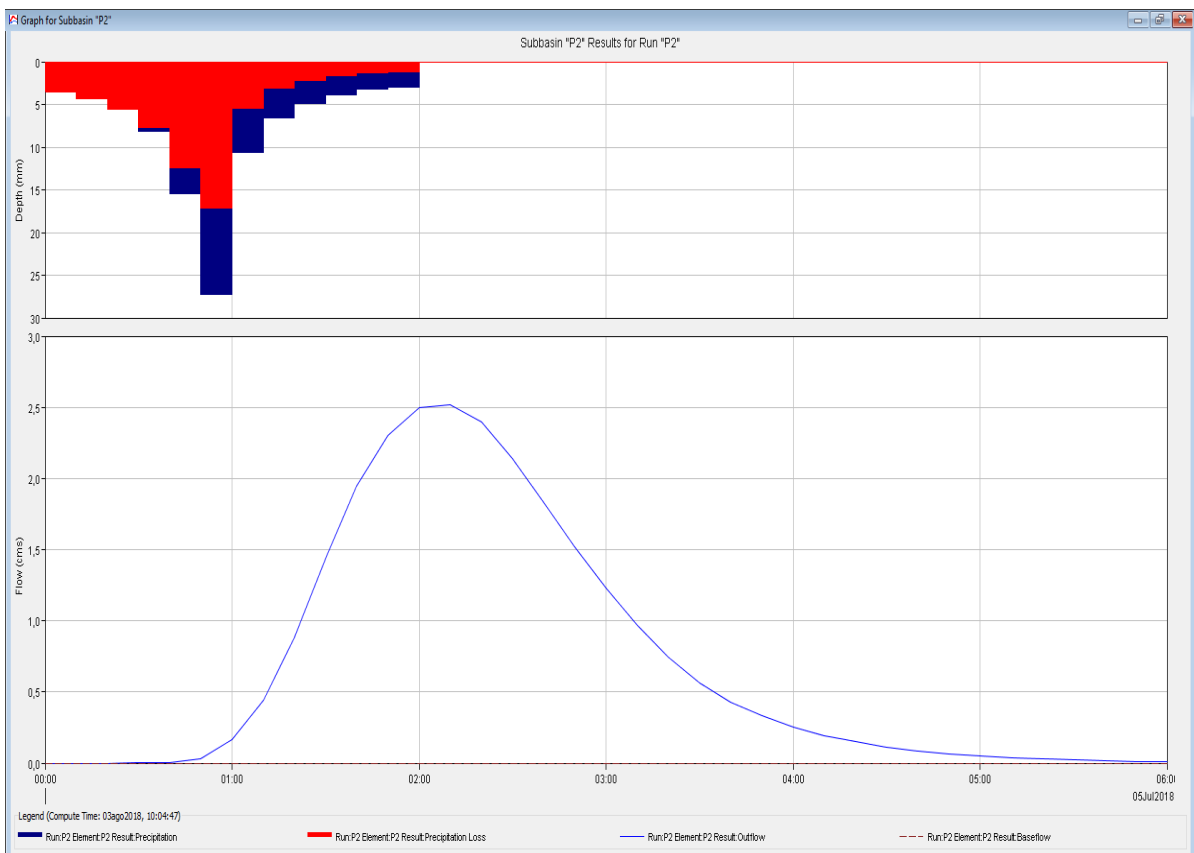


Figura 22. Hidrograma resultante de la cuenca P2 para un TR=10 años.

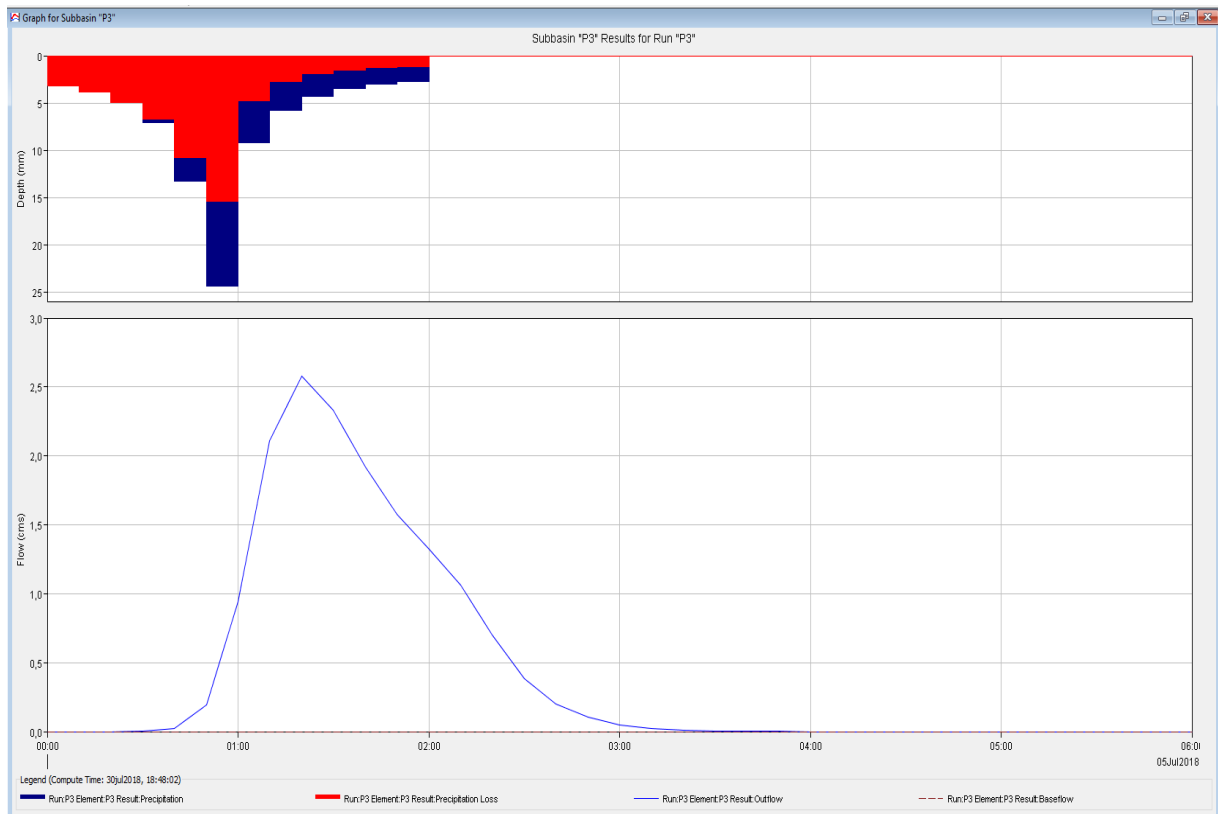


Figura 23. Hidrograma resultante de la cuenca P3 para un TR=5 años.

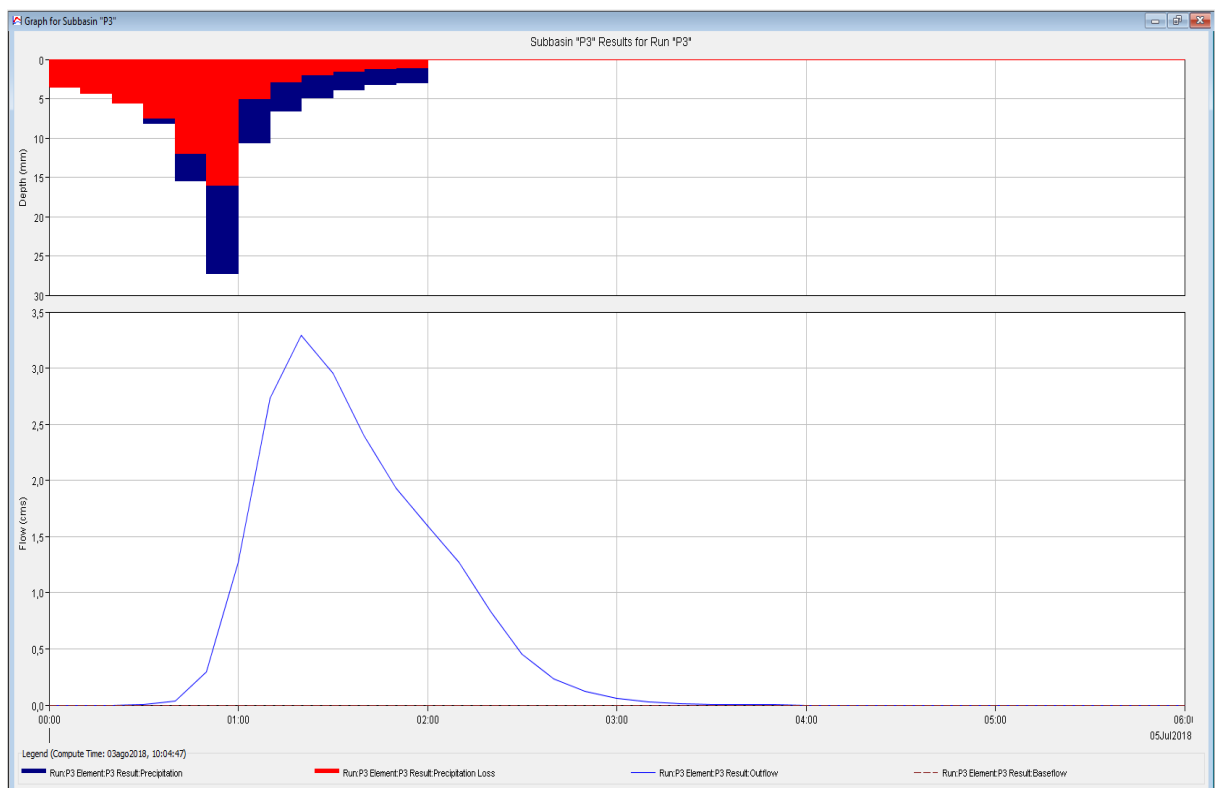


Figura 24. Hidrograma resultante de la cuenca P3 para un TR=10 años.

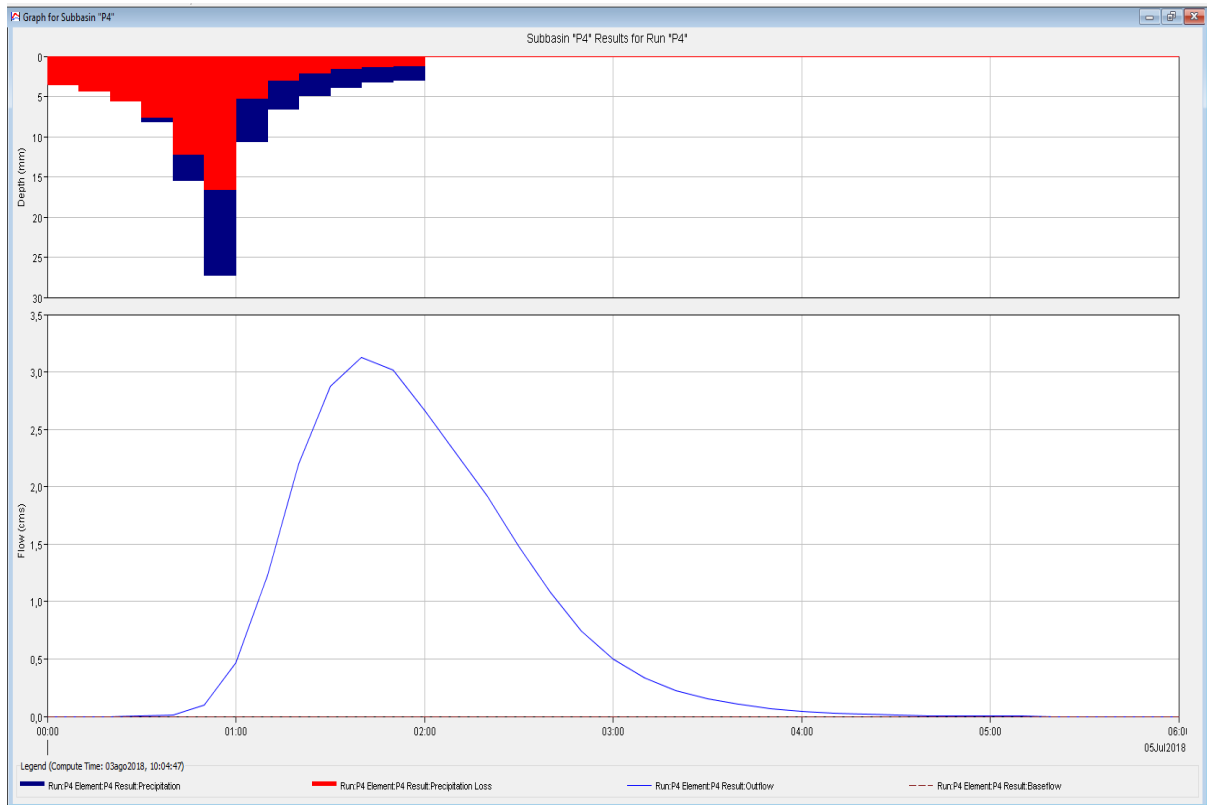


Figura 25. Hidrograma resultante de la cuenca P4 para un TR=5 años.

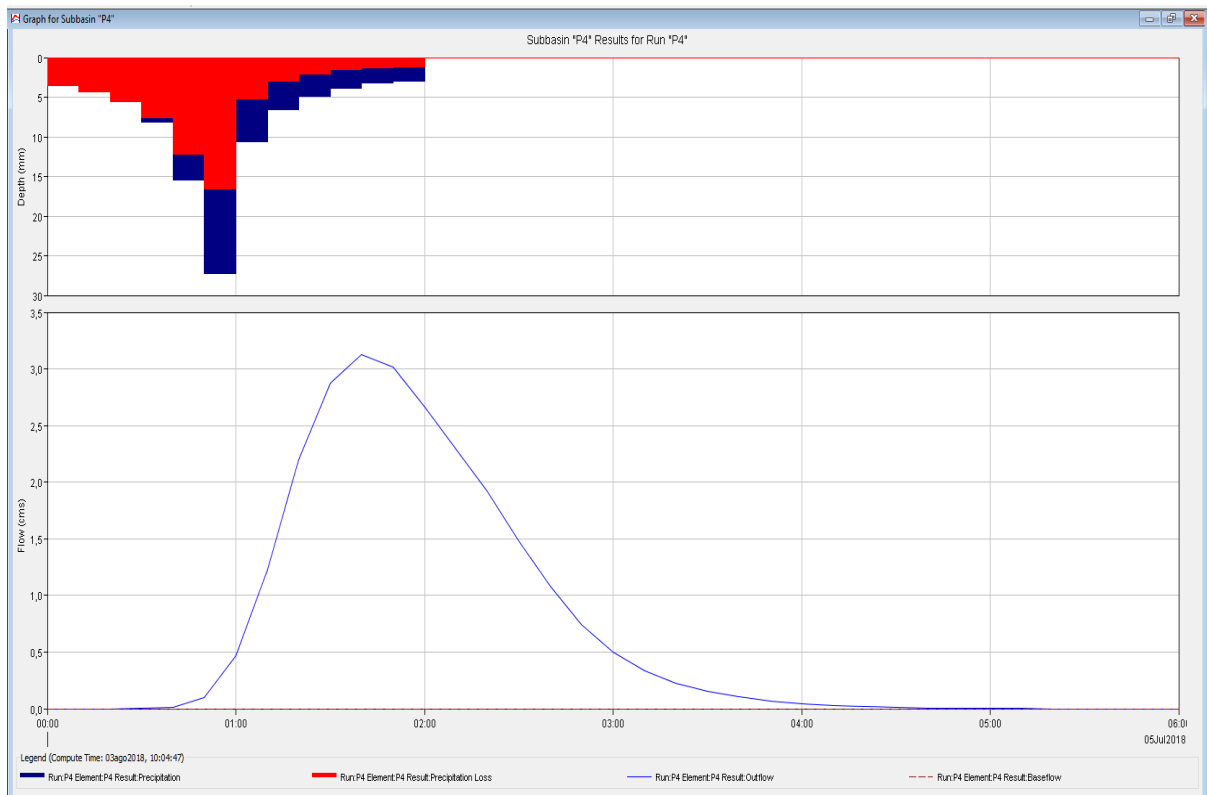


Figura 26. Hidrograma resultante de la cuenca P4 para un TR=10 años.

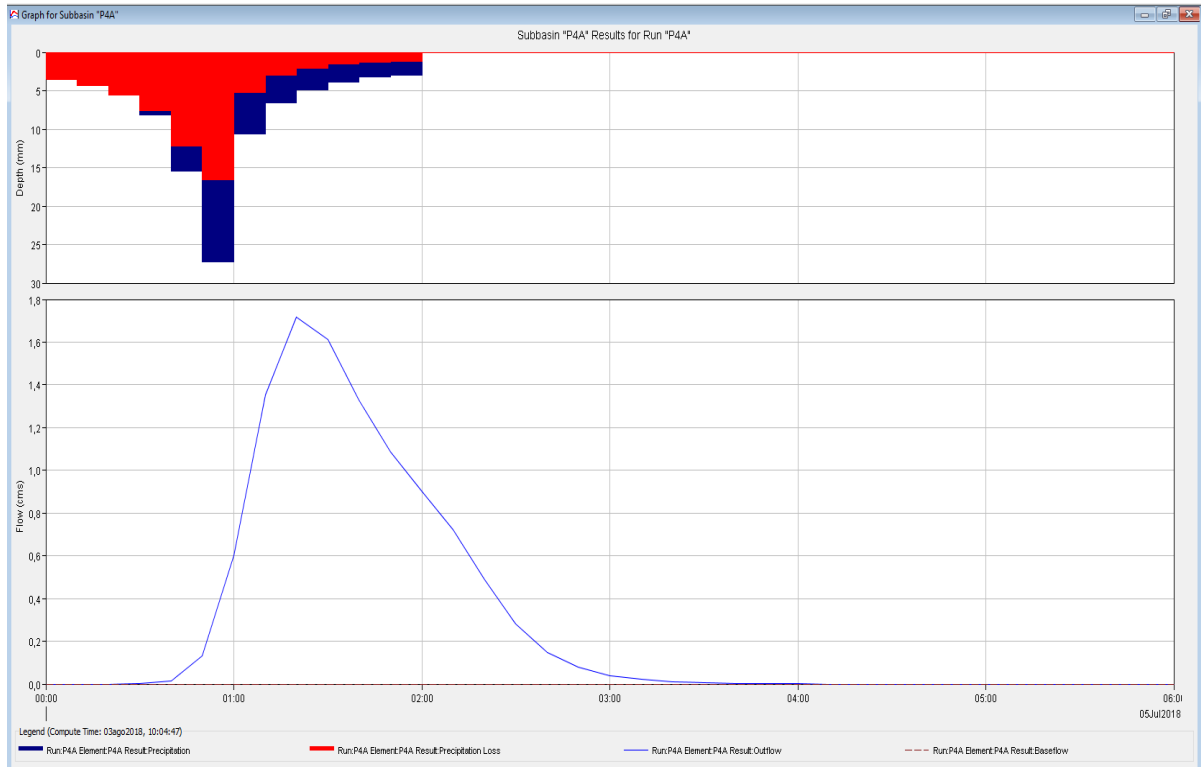


Figura 27. Hidrograma resultante de la cuenca P4A para un TR=10 años.

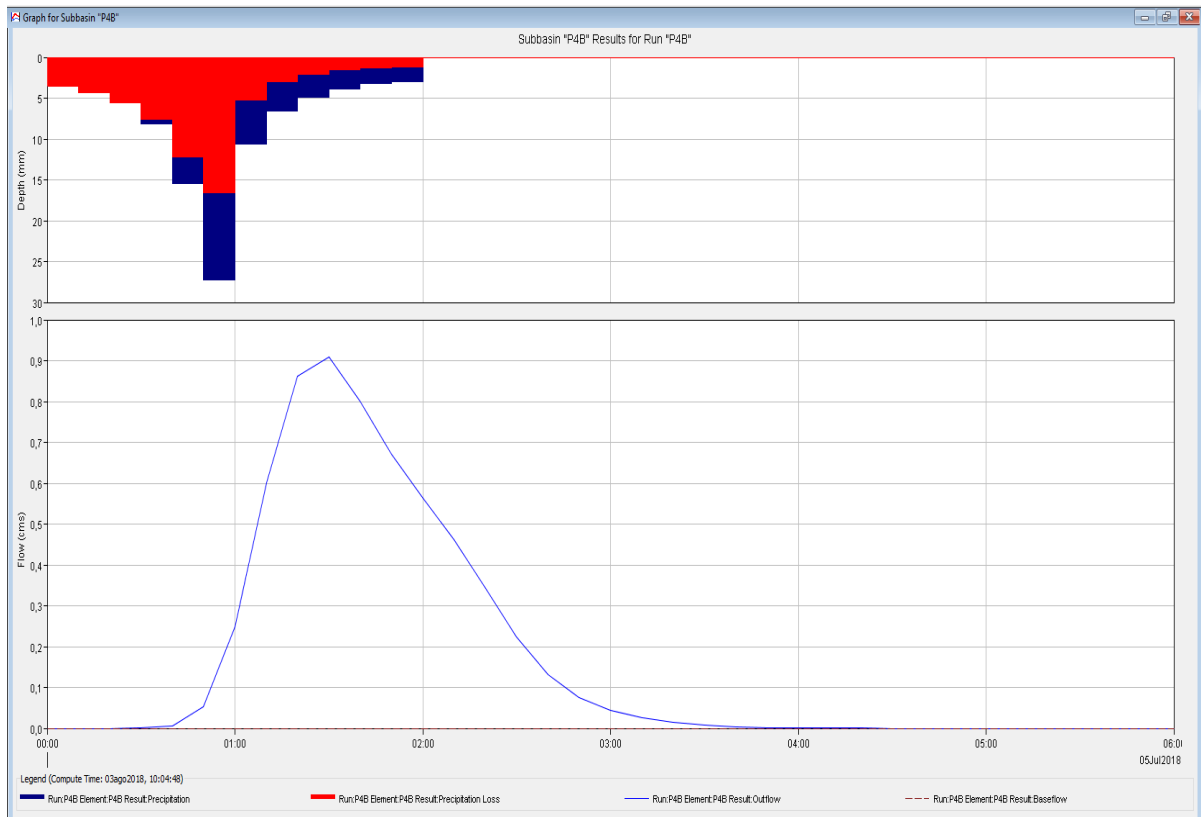


Figura 28. Hidrograma resultante de la cuenca P4B para un TR=10 años.

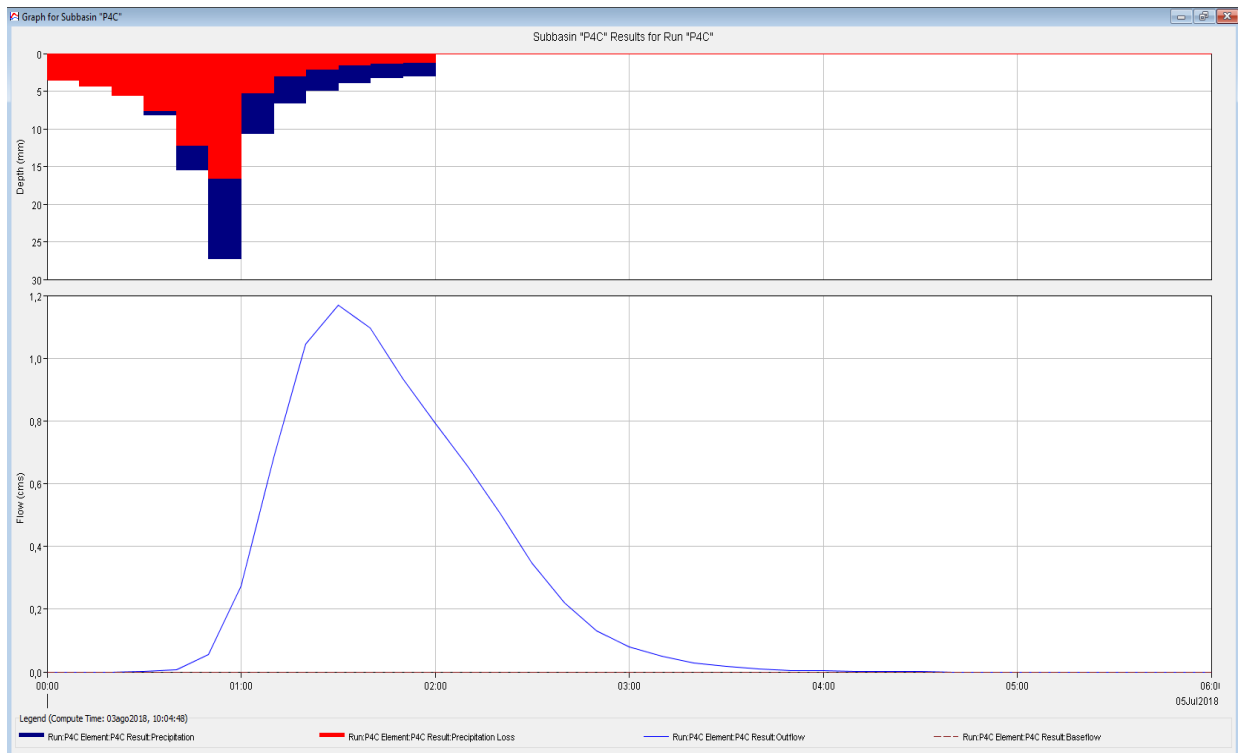


Figura 29. Hidrograma resultante de la cuenca P4C para un TR=10 años.

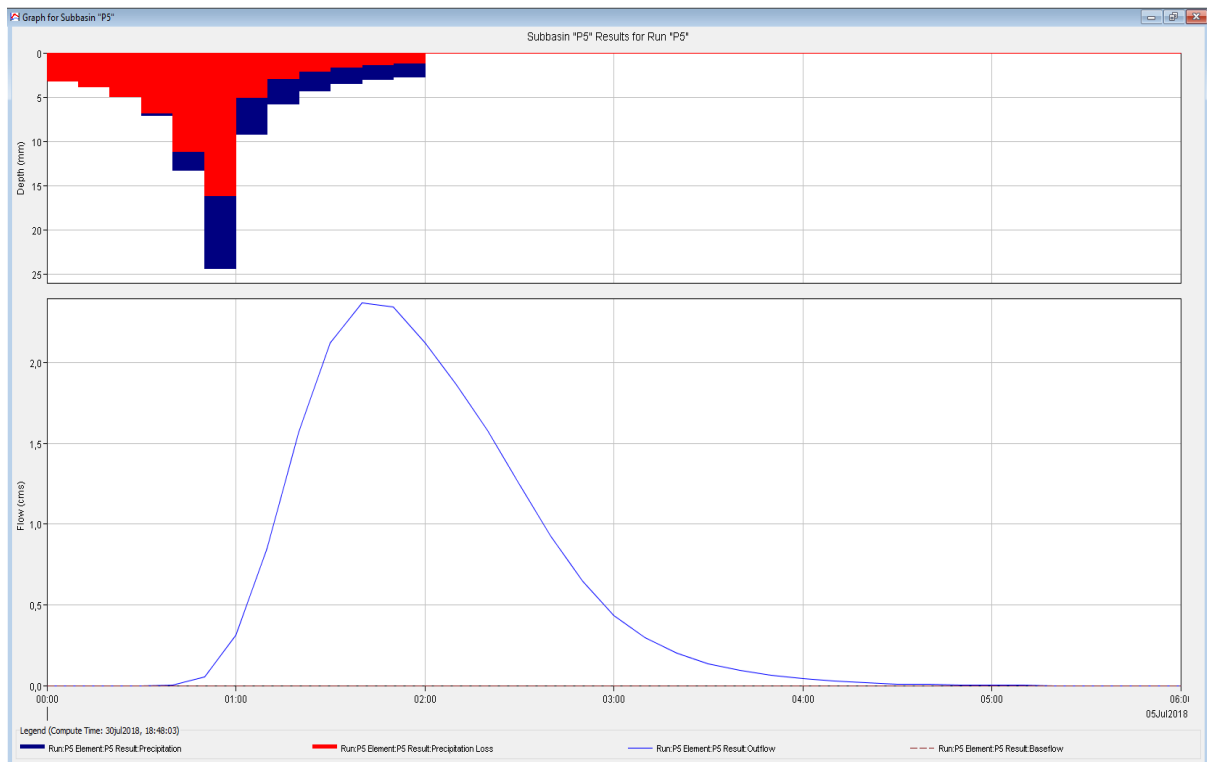


Figura 30. Hidrograma resultante de la cuenca P5 para un TR=5 años.

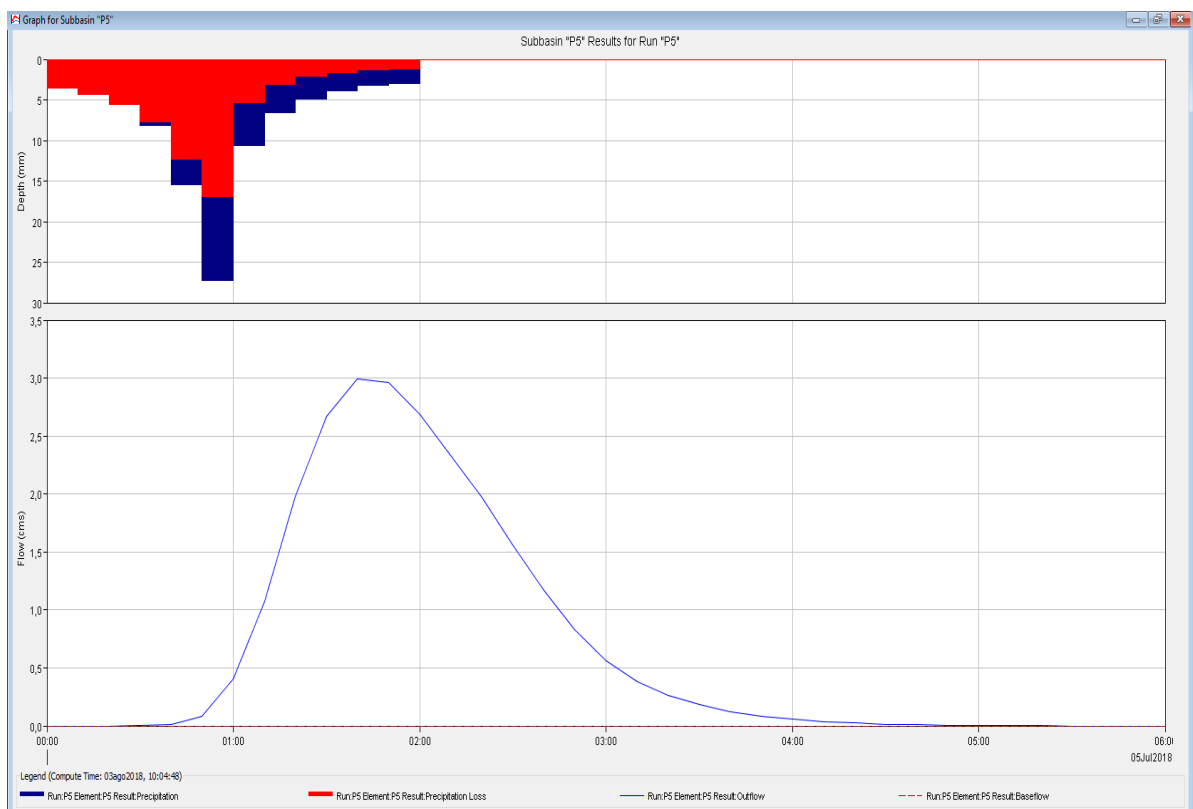


Figura 31. Hidrograma resultante de la cuenca P5 para un TR=10 años.

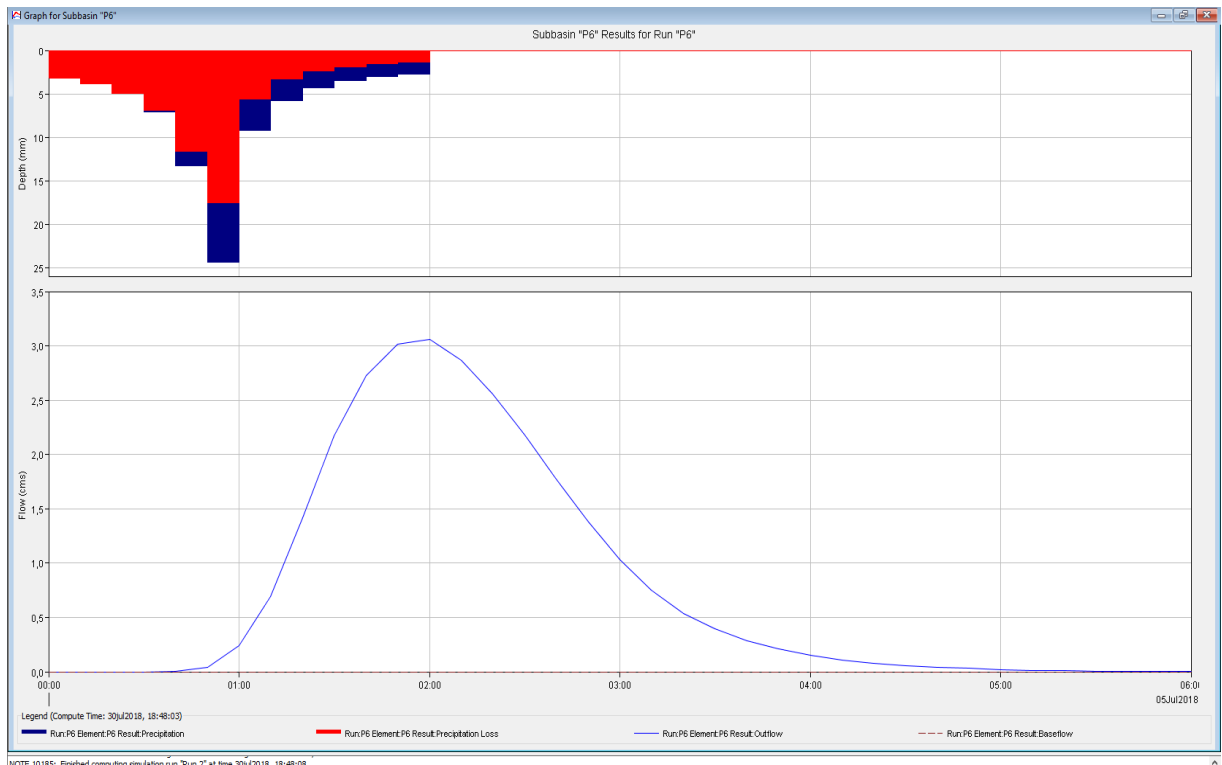


Figura 32. Hidrograma resultante de la cuenca P6 para un TR=5 años.

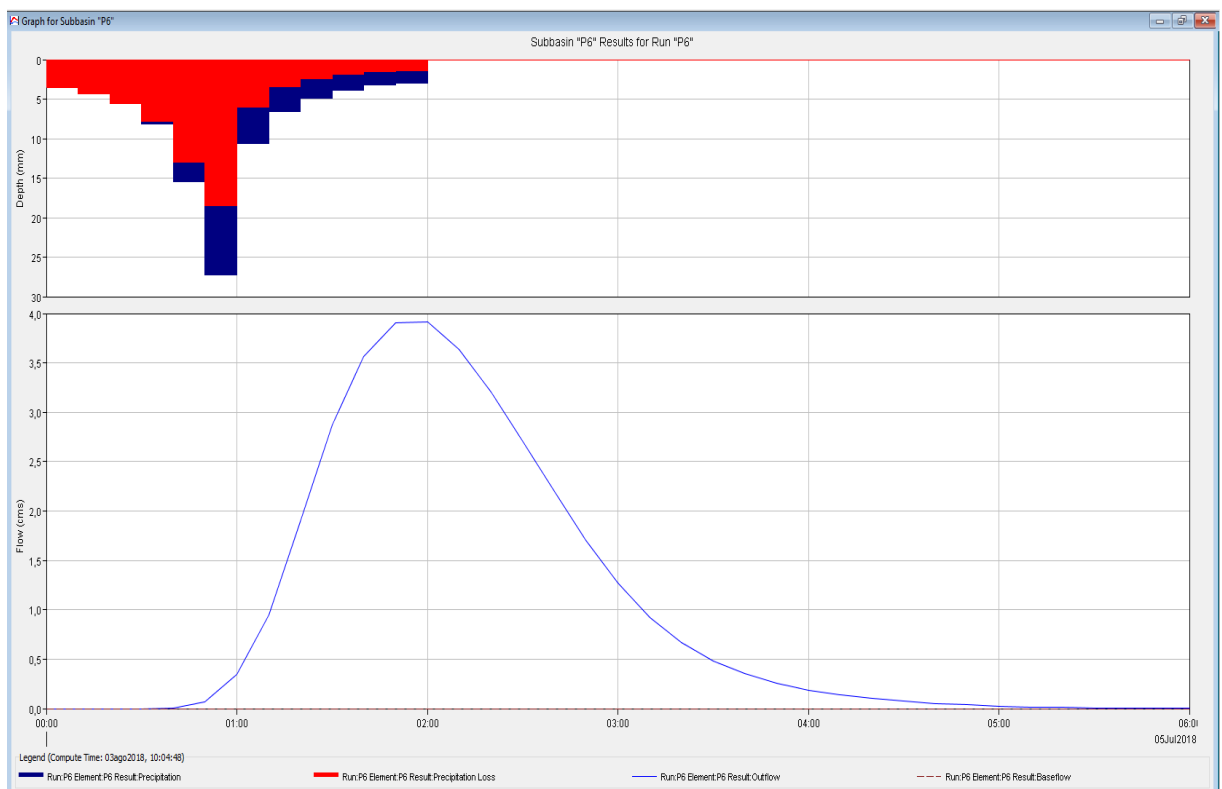


Figura 33. Hidrograma resultante de la cuenca P6 para un TR=10 años.

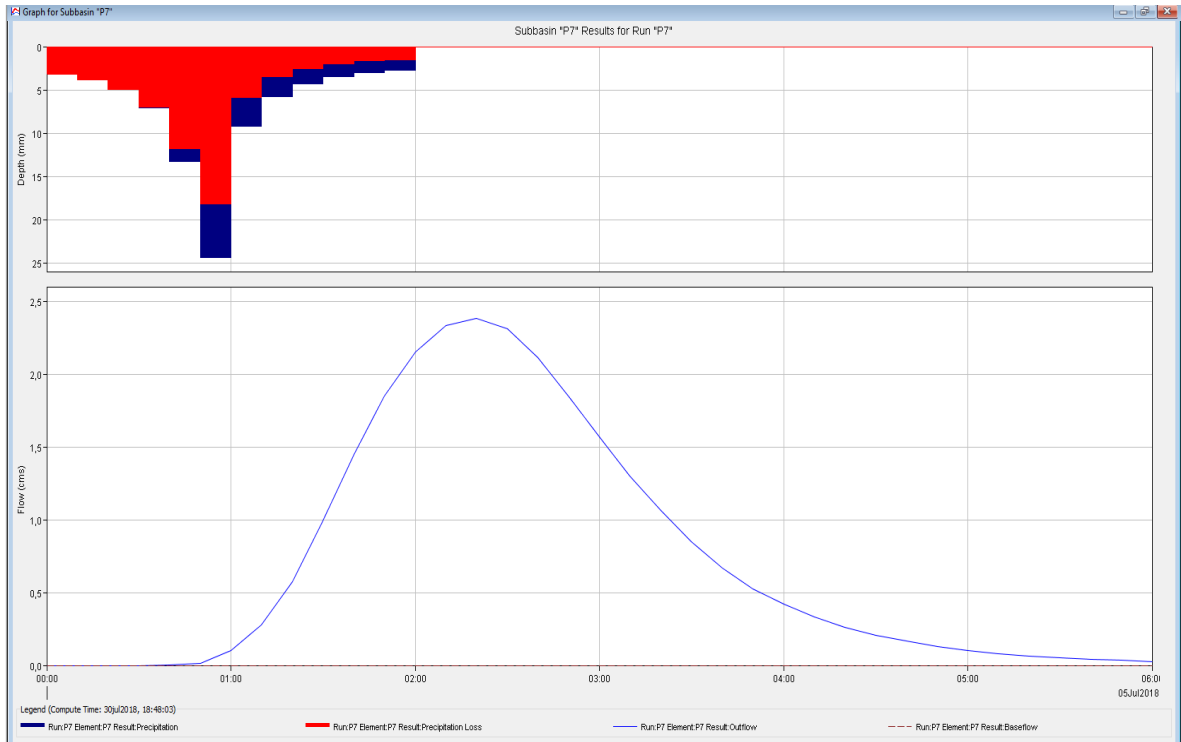


Figura 34. Hidrograma resultante de la cuenca P7 para un TR=5 años.

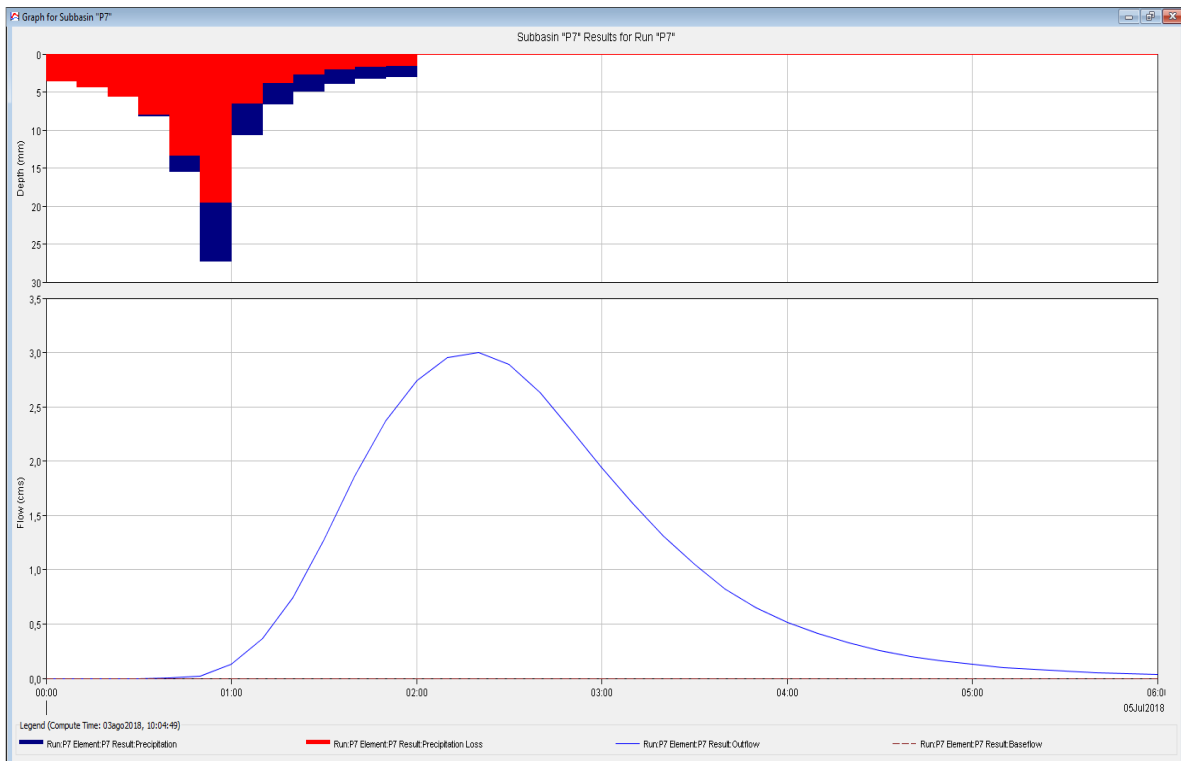


Figura 35. Hidrograma resultante de la cuenca P7 para un TR=10 años.

Tabla 3. Dimensionamiento de canales utilizando la fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN (Fuente: elaboración propia).

Cuenca	Canal	Tramo	Cota terreno		Desnivel adoptado	Cota fondo canal		Profundidad		Longitud	a	h	A	Pm	i	Rh	n	Q adm	Q requerido	
			Inicial	Final	m	Inicial	Final	Inicial	Final	m	m	m	m ²	m	m/m	m	Manning	m ³ /s	m ³ /s	
P2	2	1	51,15	51,48	0,05	50,15	50,10	1	1,38	104	1	1	1	3	0,000	0,333	0,015	0,703	0,46	
		2	51,48	51,06	0,26	50,10	49,84	1,38	1,22	173	1	1,2	1,2	3,4	0,002	0,353	0,015	1,549	0,86	
		3	51,06	51,00	0,1	49,84	49,74	1,22	1,26	158	1,2	1,2	1,44	3,6	0,001	0,400	0,015	1,311	1,1	
		4	51,00	50,94	0,05	49,74	49,69	1,26	1,25	60	1,2	1,2	1,44	3,6	0,001	0,400	0,015	1,504	1,1	
	3	1	52,01	50,68	1,33	51,01	49,68	1	1	300	0,8	1	0,8	2,8	0,004	0,286	0,015	1,540	0,9	
		2	50,68	50,94	0,1	49,68	49,58	1	1,36	85	1	1	1	3	0,001	0,333	0,015	1,099	0,9	
P4	4	1	52,77	52,85	0,15	51,67	51,52	1,1	1,33	200	1,2	1	1,2	3,2	0,001	0,375	0,015	1,139	1,0	
		2	52,85	51,36	1,49	51,52	50,03	1,33	1,33	100	1,2	1	1,2	3,2	0,015	0,375	0,015	5,078	1,6	
		3	51,36	50,51	0,85	50,03	49,18	1,33	1,33	114	1,2	1	1,2	3,2	0,007	0,375	0,015	3,592	2,4	
P5	5	1	52,95	51,26	1,69	51,85	50,16	1,1	1,1	342	1	1	1	3	0,005	0,333	0,015	2,253	1,0	
		2	51,26	50,63	0,63	50,16	49,53	1,1	1,1	563	2	1	2	4	0,001	0,500	0,015	2,810	1,4	
P6	6	1	49,82	50,94	0,05	48,62	48,57	1,2	2,37	170	1,8	1,2	2,16	4,2	0,000	0,514	0,015	1,585	1,42	
		2	50,94	50,65	0,1	48,57	48,47	2,37	2,18	280	2	1,2	2,4	4,4	0,000	0,545	0,015	2,019	1,63	
	7	1	50,47	50,69	0,05	49,47	49,42	2,18	1,27	168	1,2	1	1,2	3,2	0,000	0,375	0,015	0,718	0,44	
		2	50,69	50,65	0,55	49,42	48,87	1,27	1,78	286	1,2	1	1,2	3,2	0,002	0,375	0,015	1,824	1,22	
	8			50,65	50,19	0,2	48,87	48,67	1,78	1,52	63	1,6	1,2	1,92	4	0,003	0,480	0,015	4,421	2,85

Cuenca	Canal	Tramo	Cota terreno		Desnivel adoptado	Cota fondo canal		Profundidad		Longitud	a	h	A	Pm	i	Rh	n	Q adm	Q requerido
			Inicial	Final	m	Inicial	Final	Inicial	Final										
P7	9	1	50,28	50,53	0,1	49,28	49,18	1	1,35	280	1,4	1	1,4	3,4	0,000	0,412	0,015	0,976	0,90
		2	50,53	50,19	0,34	49,18	48,84	1,35	1,35	280	1,4	1	1,4	3,4	0,001	0,412	0,015	1,800	1,28
H2	10	1	51,03	50,61	0,42	49,43	49,01	1,6	1,6	950	1,6	1,6	2,56	4,8	0,000	0,533	0,015	2,360	1,00
H4	11	1	52,80	52,29	0,51	51,80	51,29	0,8	1	200	0,9	0,8	0,72	2,5	0,003	0,288	0,015	1,057	0,92
		2	52,29	52,38	0,2	51,09	50,34	1,2	2,04	300	1,2	1,1	1,32	3,4	0,001	0,388	0,015	1,209	1,07
		3	52,38	51,61	0,77	50,34	49,57	1,49	2,04	350	1,2	1,1	1,32	3,4	0,002	0,388	0,015	2,197	2,10
		12	1	51,44	52,38	0,1	50,44	50,34	1,1	2,04	200	1,2	1	1,2	3,2	0,001	0,375	0,015	0,930
H5	13	1	52,85	52,44	0,41	52,15	51,74	0,7	0,7	100	0,6	0,6	0,36	1,8	0,004	0,200	0,015	0,526	0,50
		2	52,44	52,34	0,1	51,44	51,34	1	1	200	1	0,8	0,8	2,6	0,001	0,308	0,015	0,544	0,50
		3	52,34	51,61	0,73	51,24	49,57	1,1	2,04	420	1	1	1	3	0,002	0,333	0,015	1,336	1,18
H4+H5	14	4	51,61	51,26	0,35	49,57	49,22	2,04	2,04	200	1,6	1,4	2,24	4,4	0,002	0,509	0,015	3,983	3,70
H6	15	1	52,94	51,69	1,25	51,74	50,49	1,2	1,2	560	1,2	1,2	1,44	3,6	0,002	0,400	0,015	2,462	2,30
		2	51,69	51,46	0,3	50,49	50,19	1,2	1,27	185	1,4	1,2	1,68	3,8	0,002	0,442	0,015	2,617	2,30
		3	51,46	50,18	1,28	50,19	48,91	1,27	1,27	363	1,4	1,2	1,68	3,8	0,004	0,442	0,015	3,860	3,8
H7	16	1	52,41	52,19	0,22	51,01	50,79	1,4	1,4	370	1,4	1,4	1,96	4,2	0,001	0,467	0,015	1,917	1,797
		2	52,19	50,19	2	50,79	48,79	1,4	1,4	551	1,4	1,4	1,96	4,2	0,004	0,467	0,015	4,736	3,300
H8	17	1	52,39	50,19	2,2	51,39	49,19	1	1	660	1,1	1	1,1	3,1	0,003	0,355	0,015	2,122	1,90

Tabla 4. Dimensionamiento de conductos de cuenca P-3 utilizando la fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN (Fuente: elaboración propia).

Tramo	Cota terreno		Desnivel adoptado (m)	Tapada (m)		Intradós		Diámetro (m)	Cota de fondo		Longitud (m)	i	A (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	n	Qadm (m ³ /s)	Qreq (m ³ /s)
1	54,26	52,38	1,88	1,2	1,2	53,06	51,18	1,2	51,86	49,98	200	0,0094	1,13	3,77	0,300	0,015	1,201	0,922
2	52,38	52,46	0,3	1,2	1,58	51,18	50,88	1,9	49,28	48,98	300	0,0010	2,83	5,97	0,475	0,015	1,956	1,921
3	52,46	51,97	0,49	1,58	1,58	50,88	50,39	1,9	48,98	48,49	100	0,0049	2,83	5,97	0,475	0,015	4,329	2,600

Tabla 5. Dimensionamiento de canales de la cuenca P-1 utilizando fórmula de Manning. Cotas referidas a sistema IGN (Fuente: elaboración propia).

Tramo	Cota terreno		Desnivel adoptado	Cota de fondo		Profundidad		Longitud	a	h	i	A	Pm	Rh	n	Qadm	Qreq
	Inicial	Final	m	Inicial	Final	Inicial	Final	m	m	m	m/m	m ²	m	m		m ³ /s	m ³ /s
1	50,90	50,94	0,1	49,904	49,804	1	1,14	100	1,2	1	0,0010	1,2	3,2	0,375	0,015	0,581	0,567
2	50,94	50,67	0,15	49,804	49,654	1,14	1,02	100	1,4	1	0,0015	1,4	3,4	0,412	0,015	0,955	0,680
3	50,67	50,88	0,05	49,654	49,604	1,02	1,28	50	1,4	1	0,0010	1,4	3,4	0,412	0,015	0,780	0,785
4	50,88	50,78	0,15	49,604	49,454	1,28	1,33	140	1,4	1,2	0,0011	1,68	3,8	0,442	0,015	1,078	0,967
5	50,78	50,97	0,1	49,454	49,354	1,33	1,62	250	1,8	1,2	0,0004	2,16	4,2	0,514	0,015	1,062	1,105
6	50,97	50,60	0,1	49,354	49,254	1,62	1,35	150	1,8	1,2	0,0007	2,16	4,2	0,514	0,015	1,371	1,220
7	50,60	50,02	0,45	49,254	48,804	1,35	1,22	150	1,8	1,2	0,0030	2,16	4,2	0,514	0,015	2,909	1,611
8	50,02	49,43	0,6	48,804	48,204	1,22	1,23	460	2,1	1,2	0,0013	2,52	4,5	0,560	0,015	2,543	2,400

Esquema del modelado de las cuencas P-1 y H-1 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal del canal de las mismas.

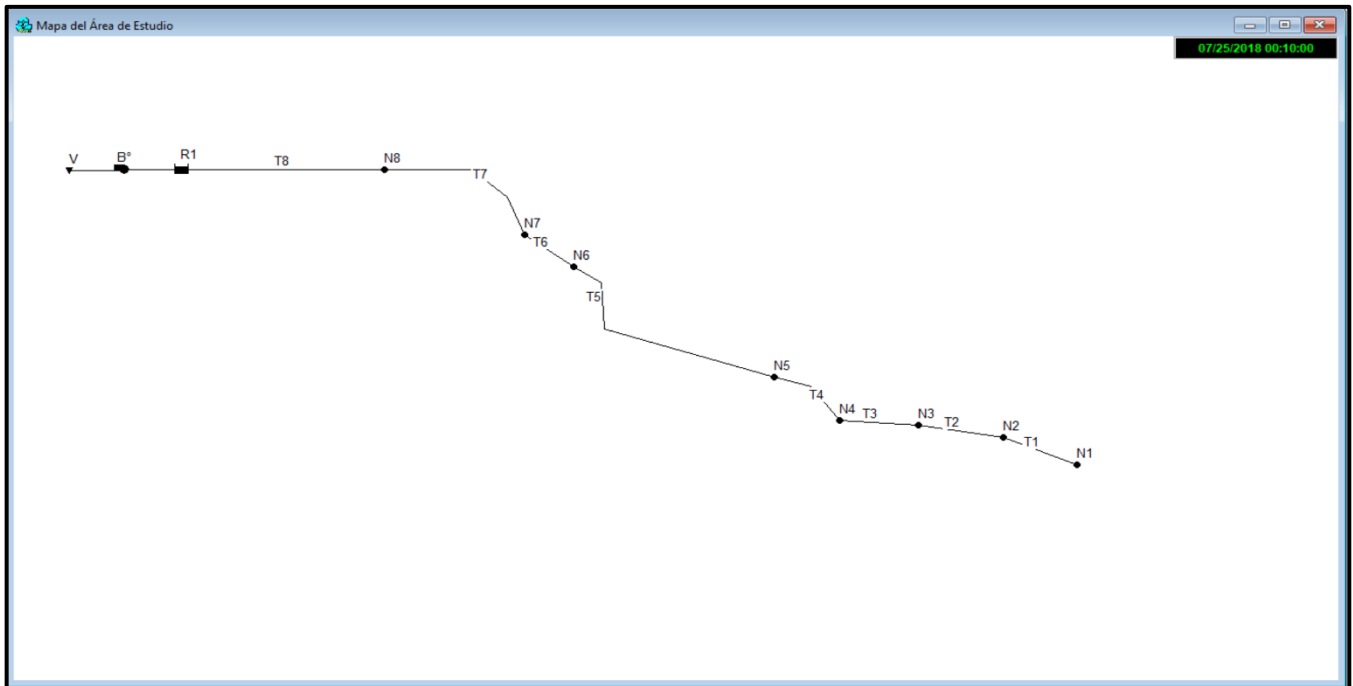


Figura 36. Esquema del canal C-1 de las cuencas P-1 y H-1 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

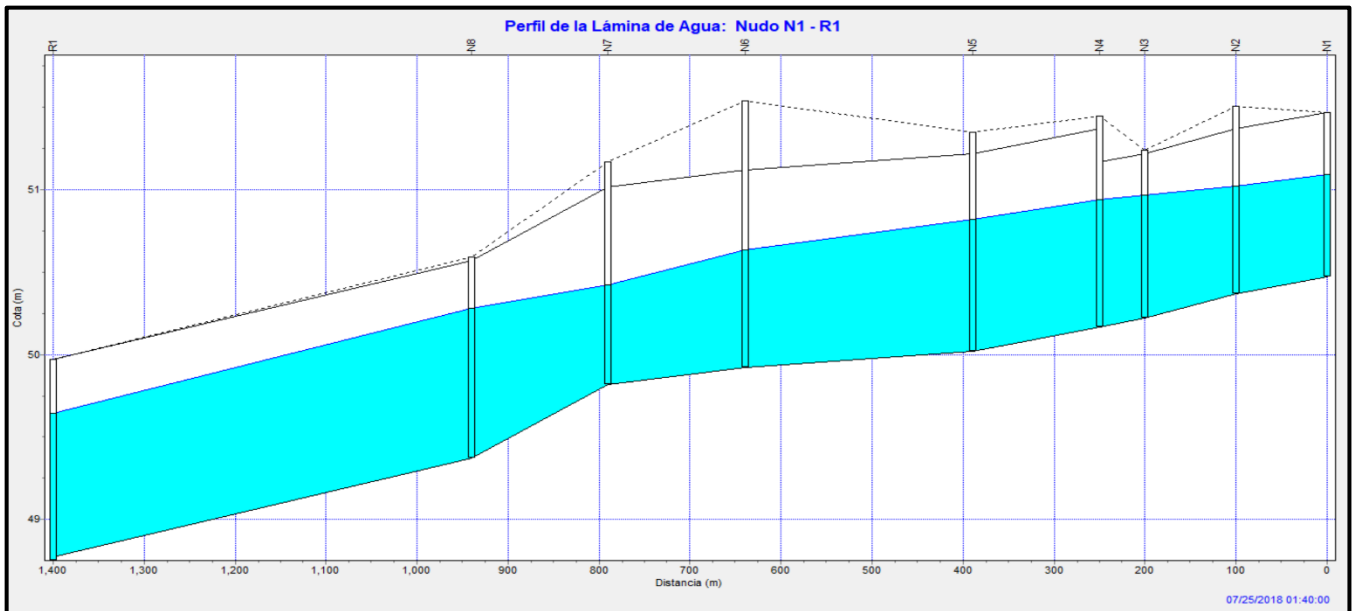


Figura 37. Esquema del perfil longitudinal del canal para las cuencas P-1 y H-1 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-2 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal de los canales de la misma.

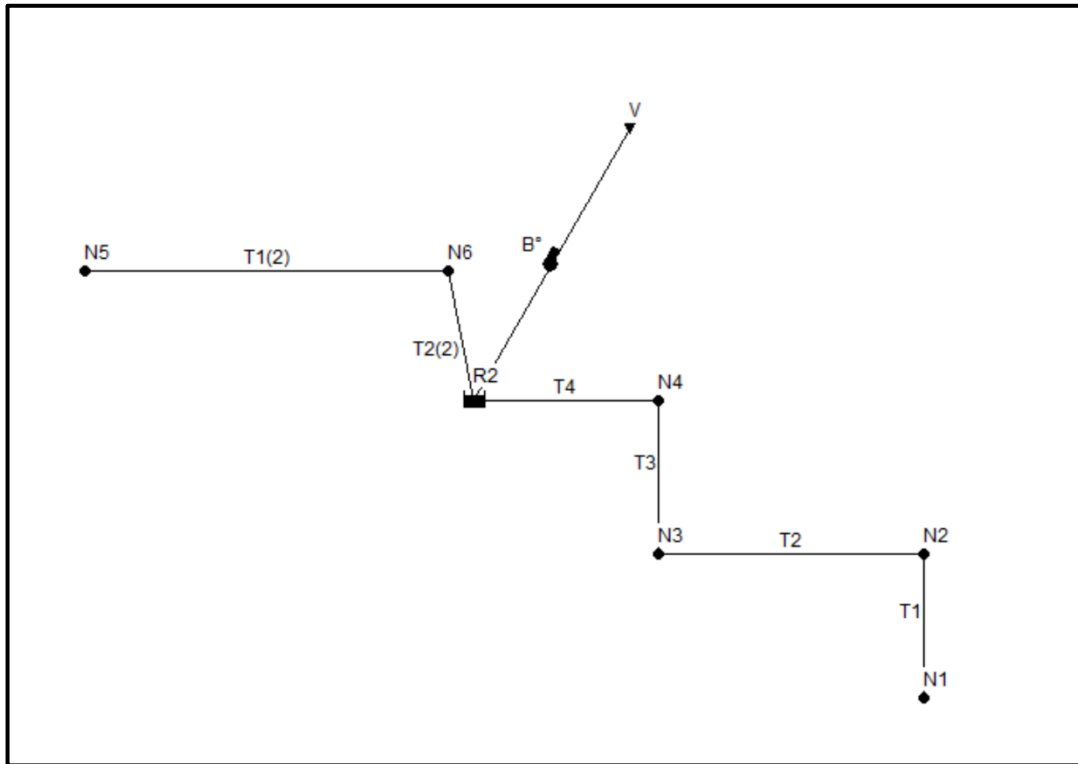


Figura 38. Esquema de los canales para la cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

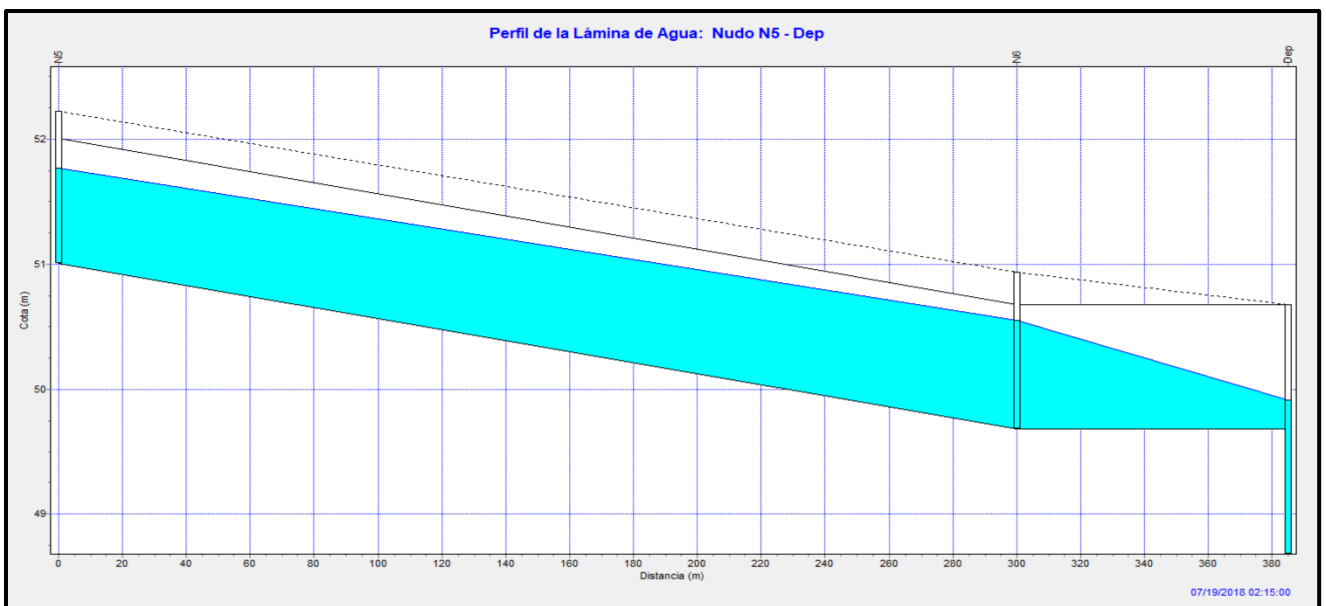


Figura 39. Esquema del perfil longitudinal del canal C-2 de la cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

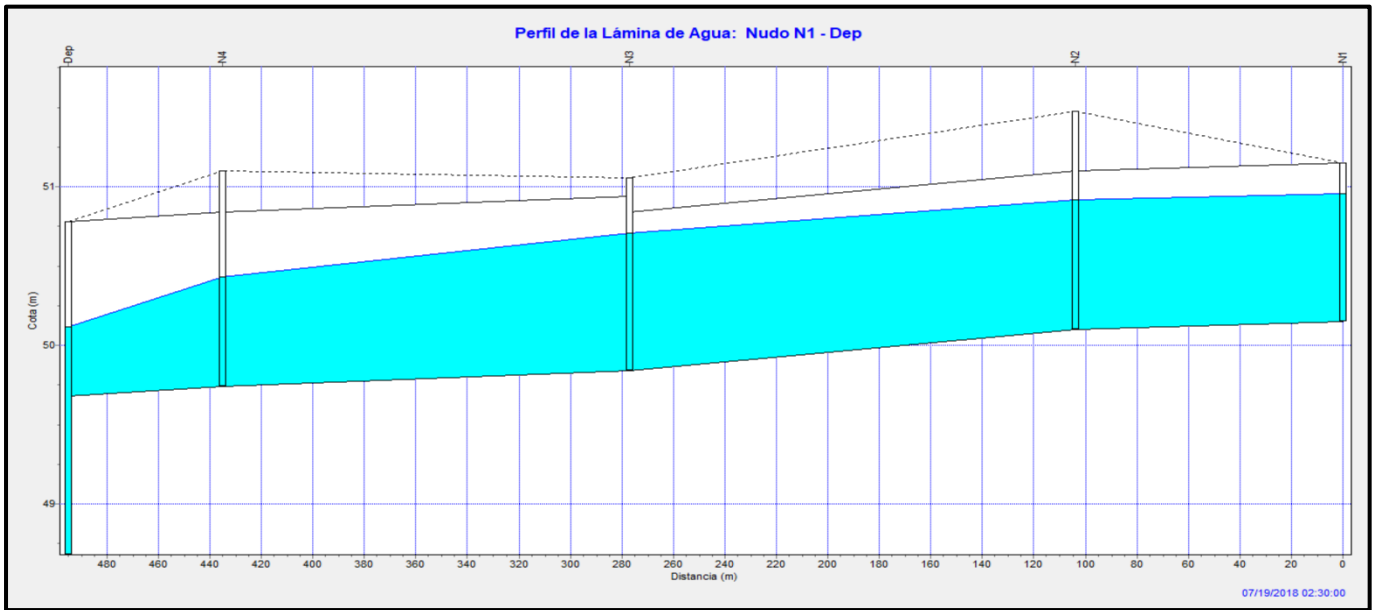


Figura 40. Esquema el perfil longitudinal del canal C-3 de la cuenca P-2 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-3 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal del conducto de la misma.

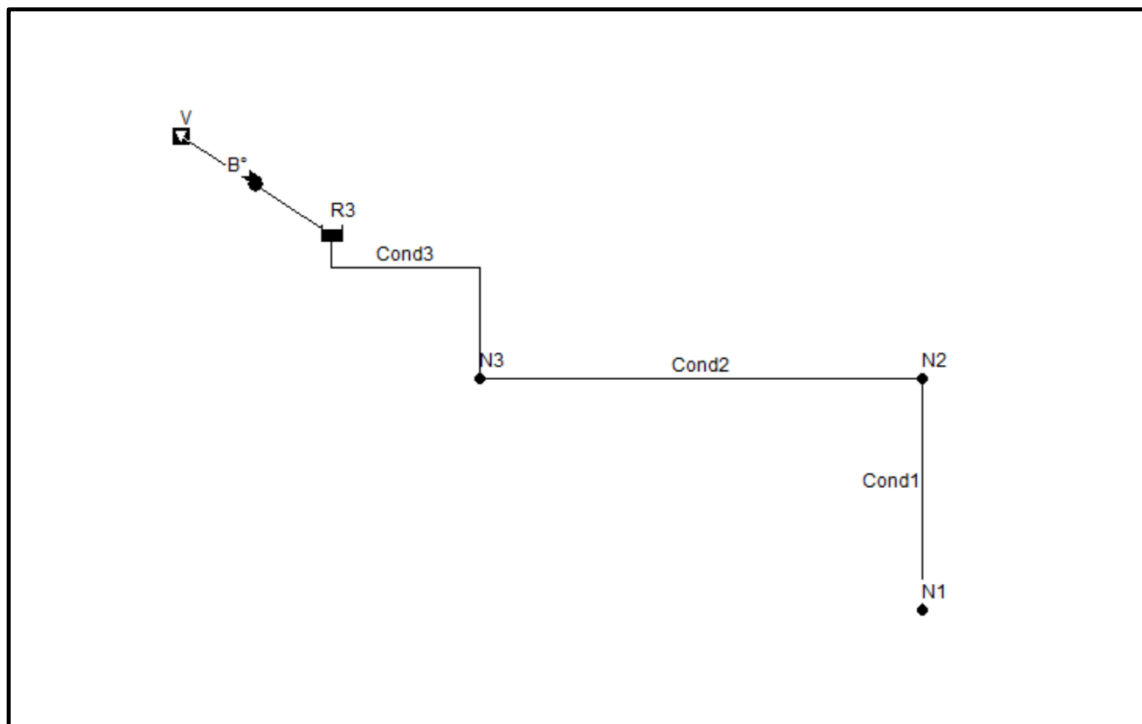


Figura 41. Esquema de los conductos para la cuenca P-3 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

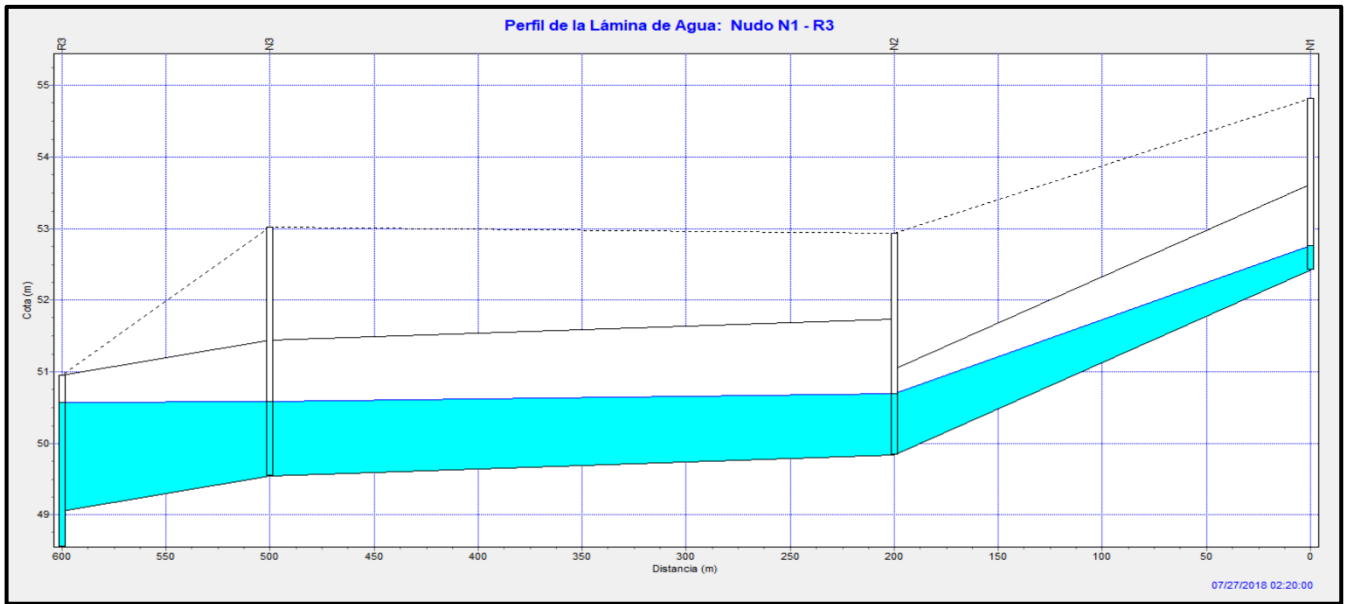


Figura 42. Esquema del perfil longitudinal del conducto Cond-1 de la cuenca P-3 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-4 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal del canal de la misma.

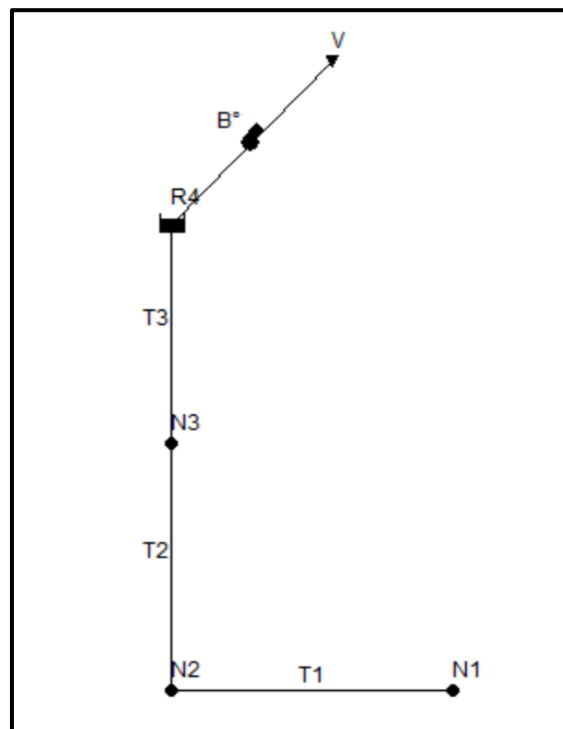


Figura 43. Esquema del canal para la cuenca P-4 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

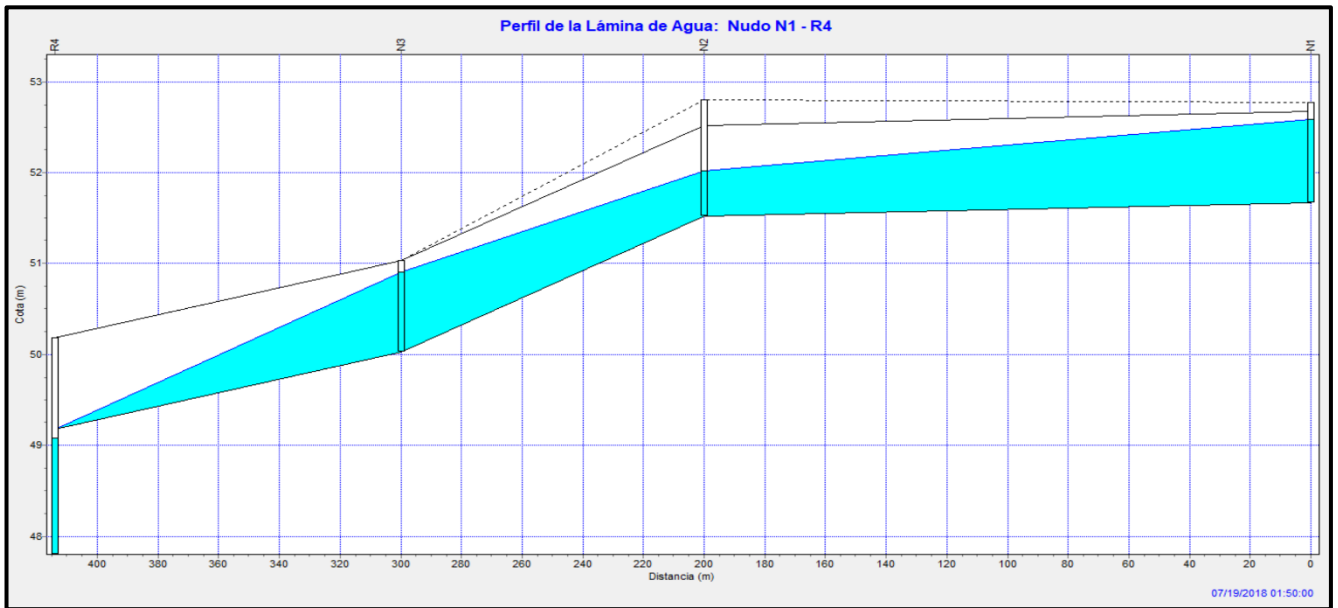


Figura 44. Esquema del perfil longitudinal del canal C-4 de la cuenca P-4 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-5 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal del canal de la misma.

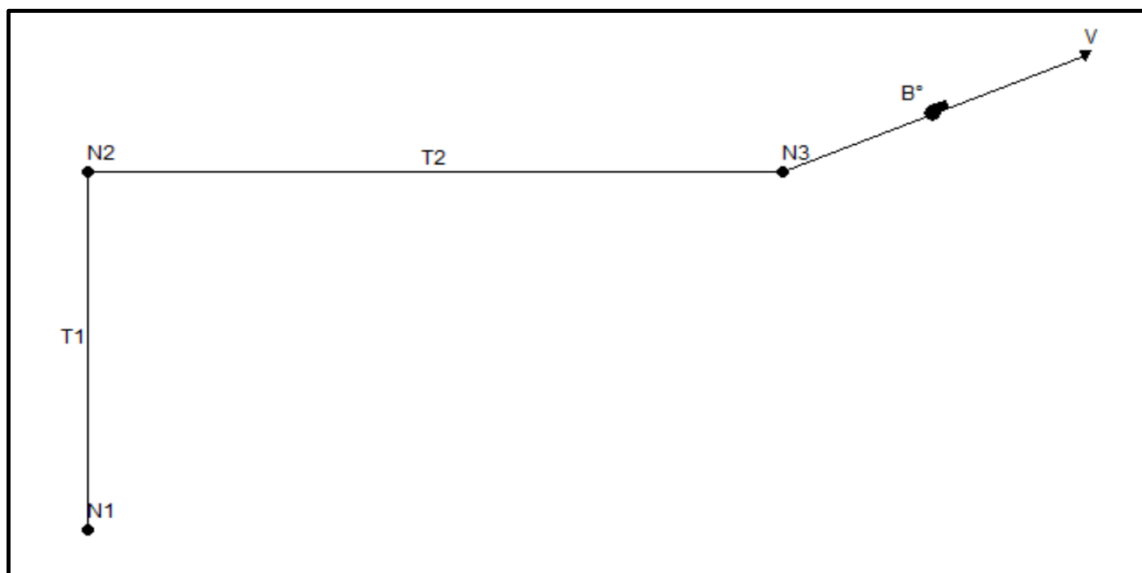


Figura 45. Esquema del canal para la cuenca P-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

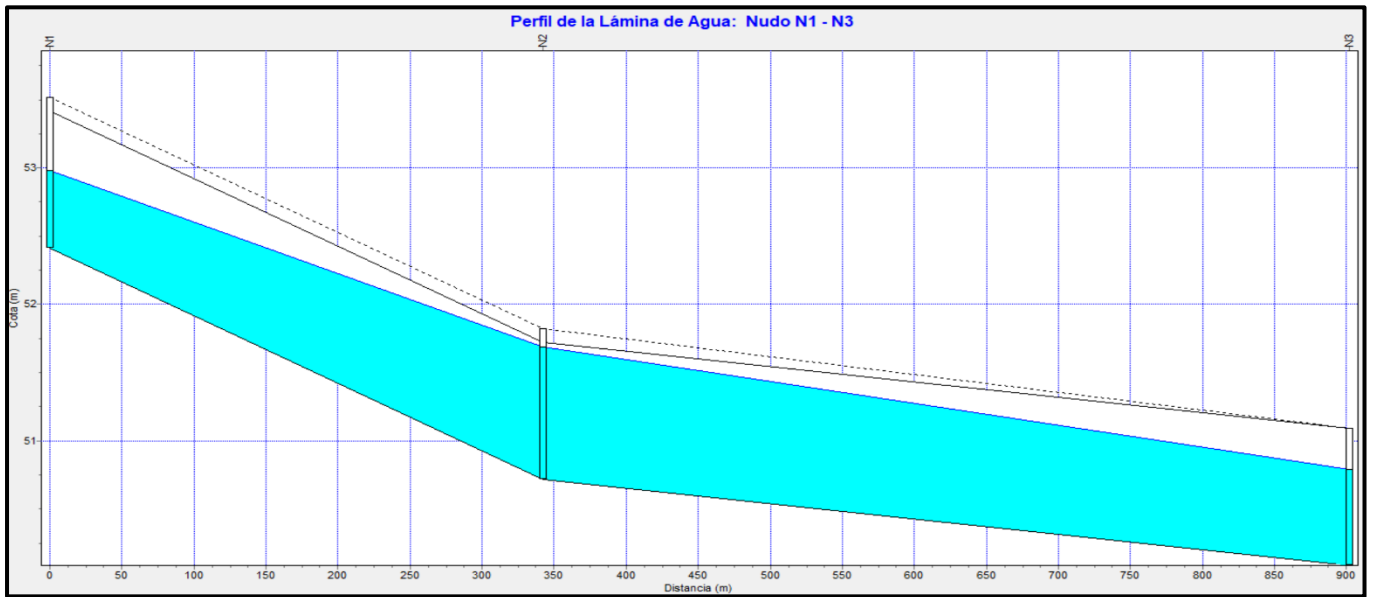


Figura 46. Esquema del perfil longitudinal del canal C-5 de la cuenca P-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-6 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal de los canales de la misma.

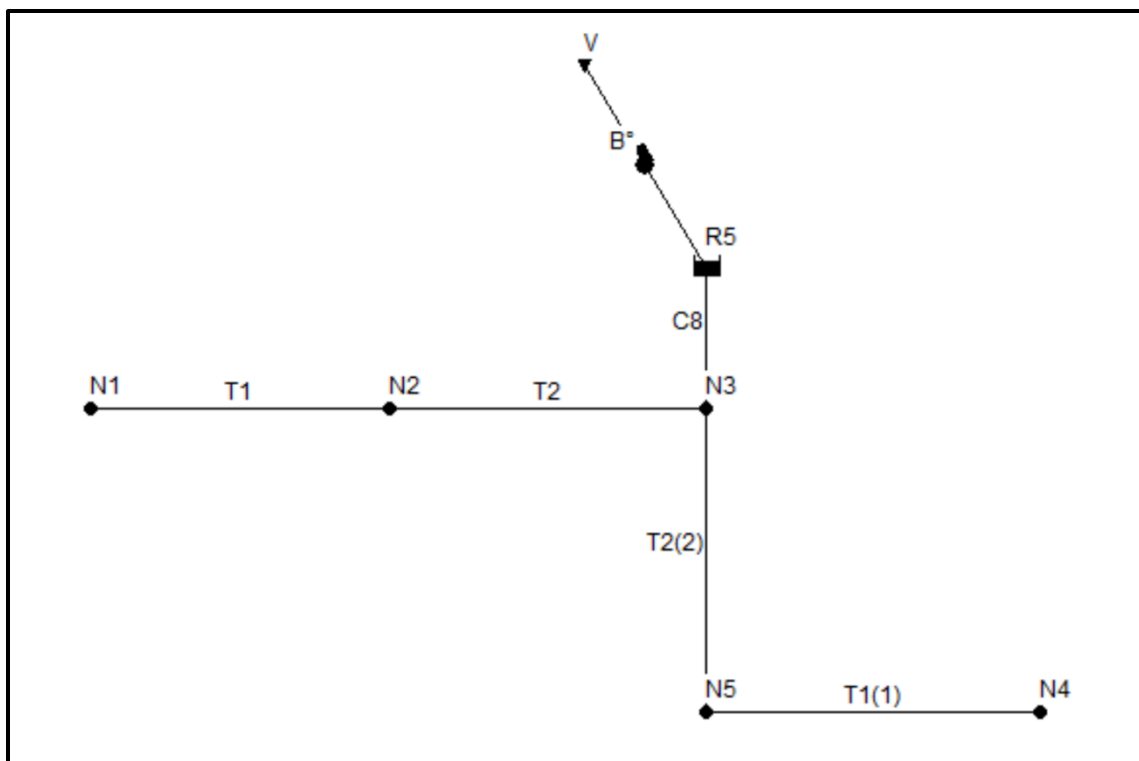


Figura 47. Esquema de los canales para la cuenca P-6 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

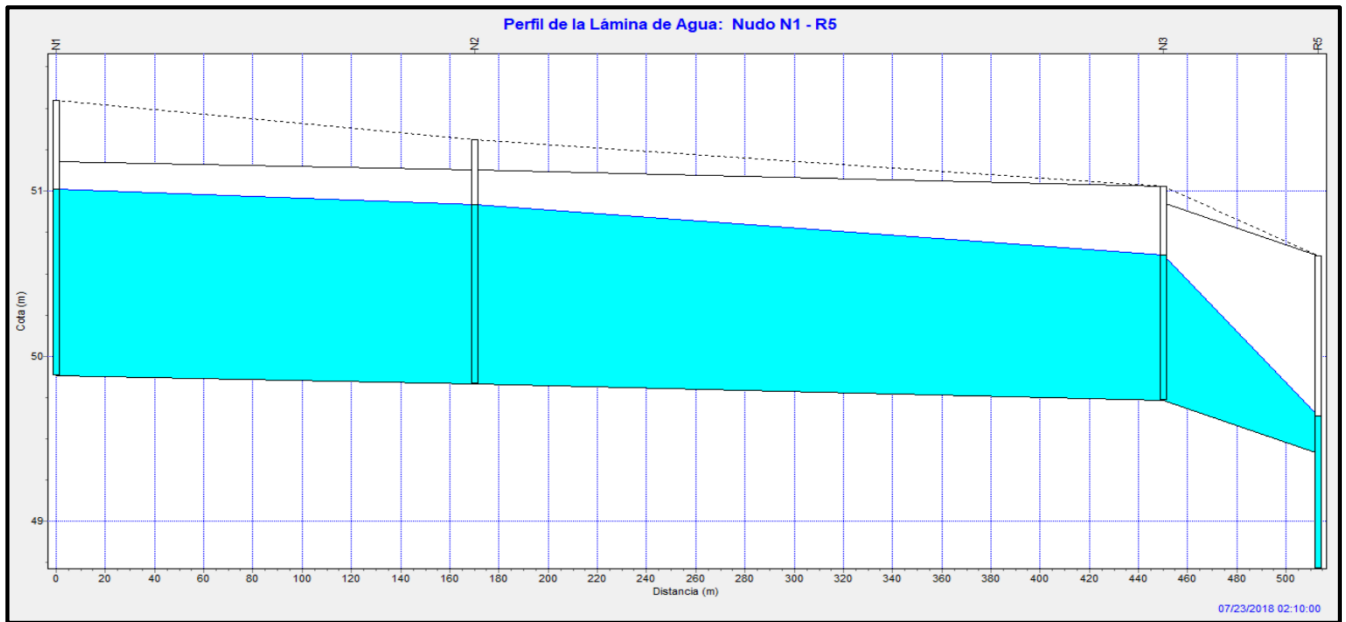


Figura 48. Esquema del perfil longitudinal del canal C-6 y C-8 de la cuenca P-6 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

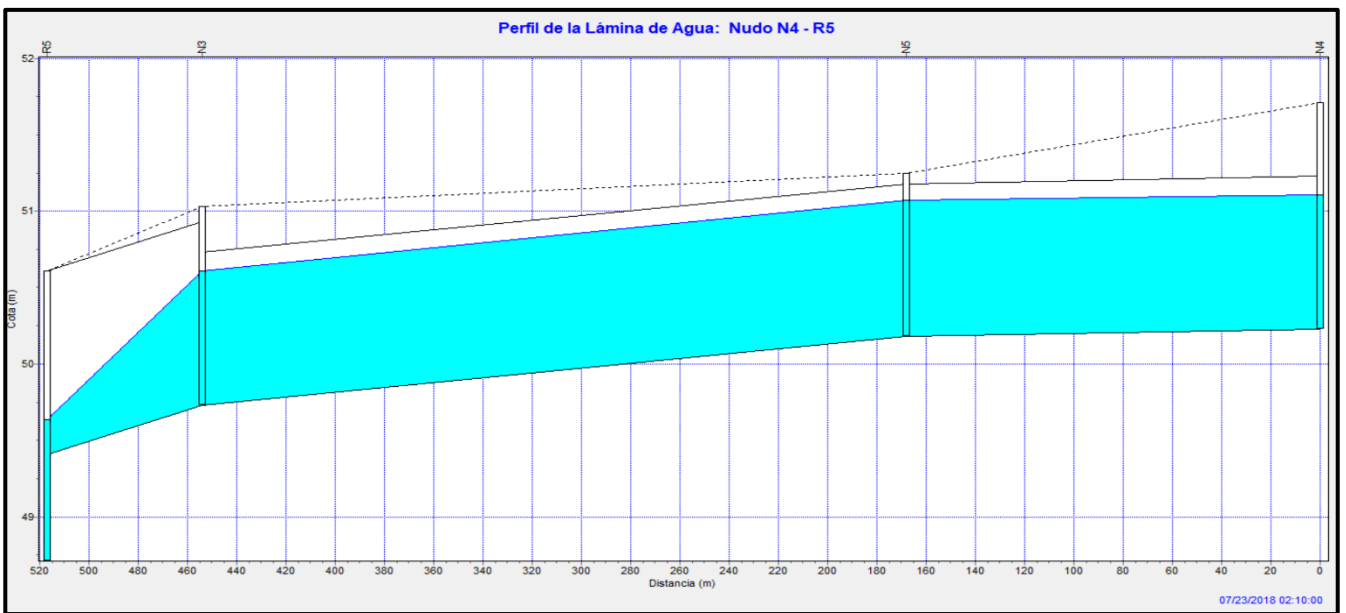


Figura 49. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-7 y C-8 de la cuenca P-6 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de la cuenca P-7 introducido en el EPA-SWMM junto con el perfil longitudinal del canal de la misma.

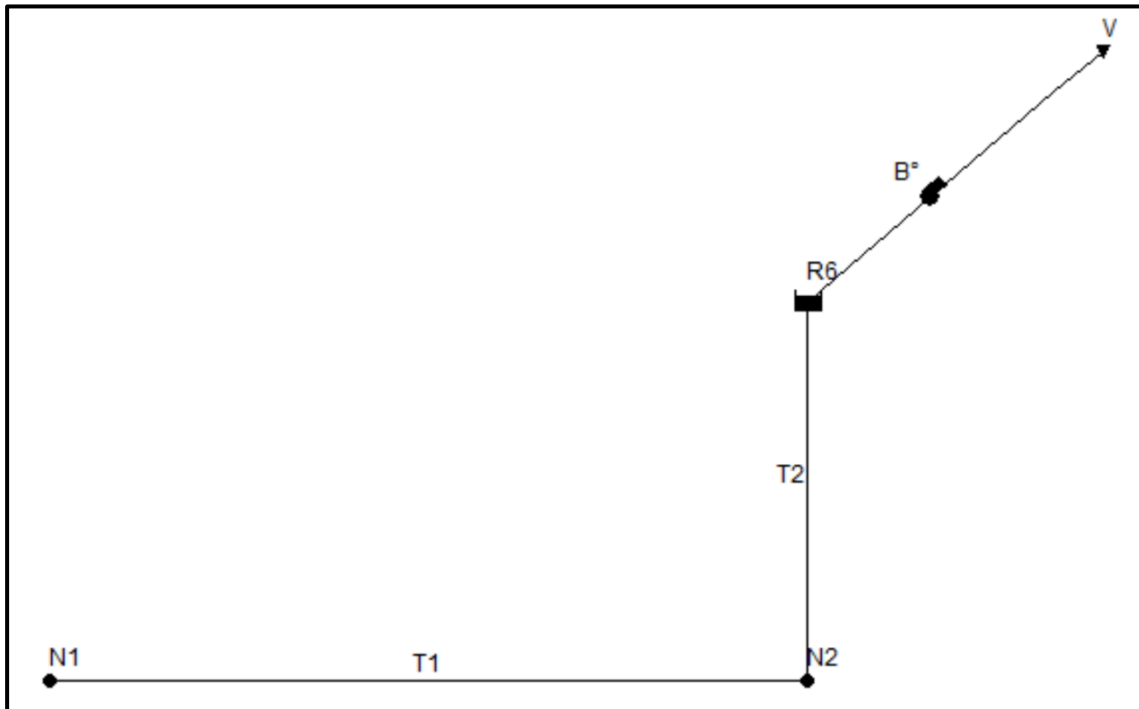


Figura 50. Esquema del canal para la cuenca P-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

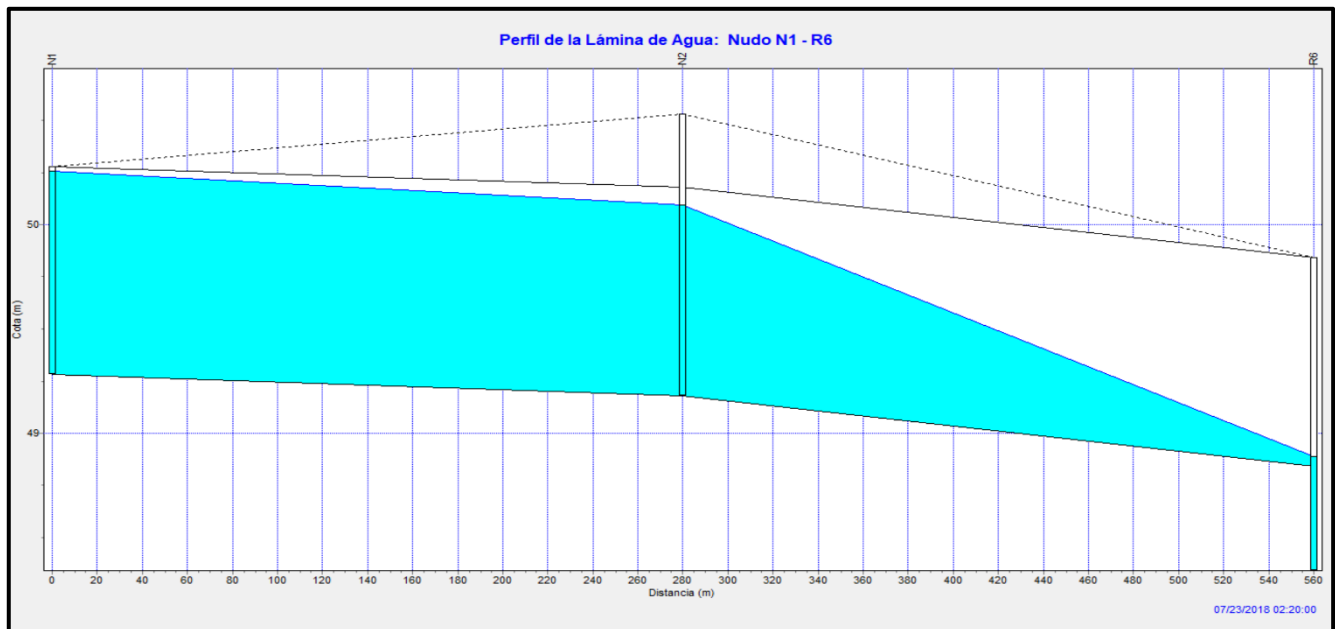


Figura 51. Esquema del perfil longitudinal del canal C-9 de la cuenca P-7 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

Esquema del modelado de las cuencas H-4 y H-5 introducido en el EPA-SWMM junto con los perfiles longitudinales de los canales de las mismas.

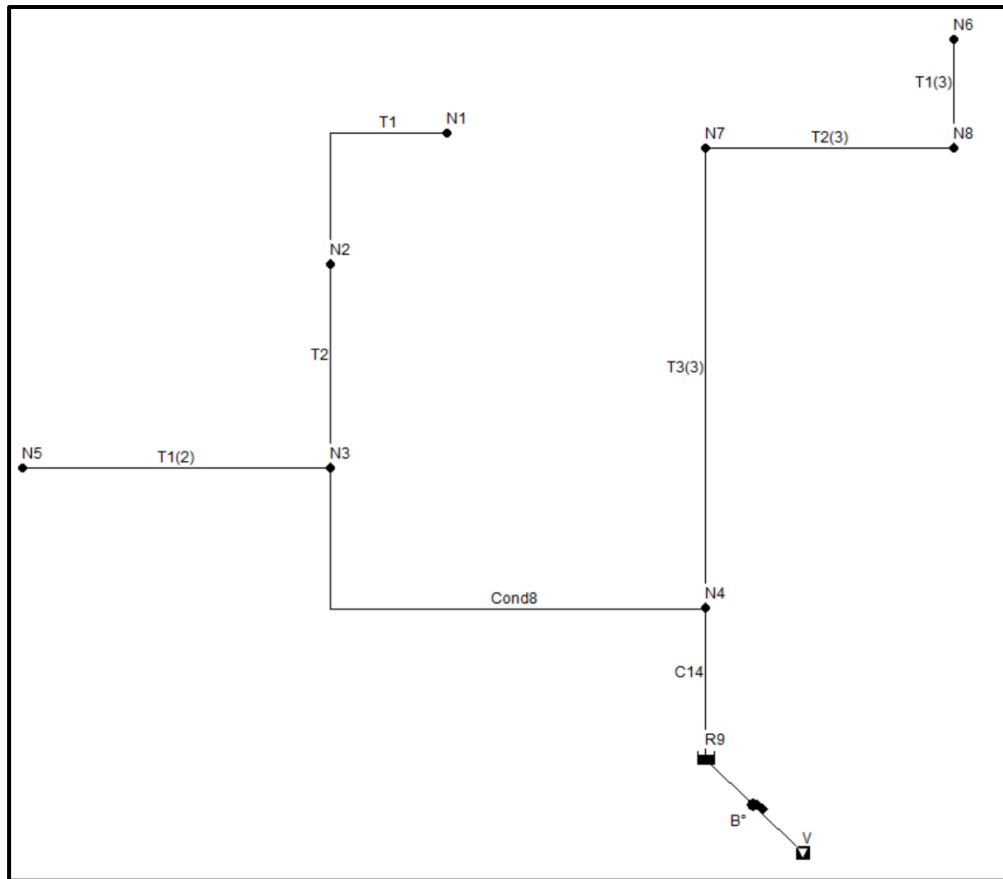


Figura 52. Esquema de los canales C-11 C-12, C-13 y C-14 de las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

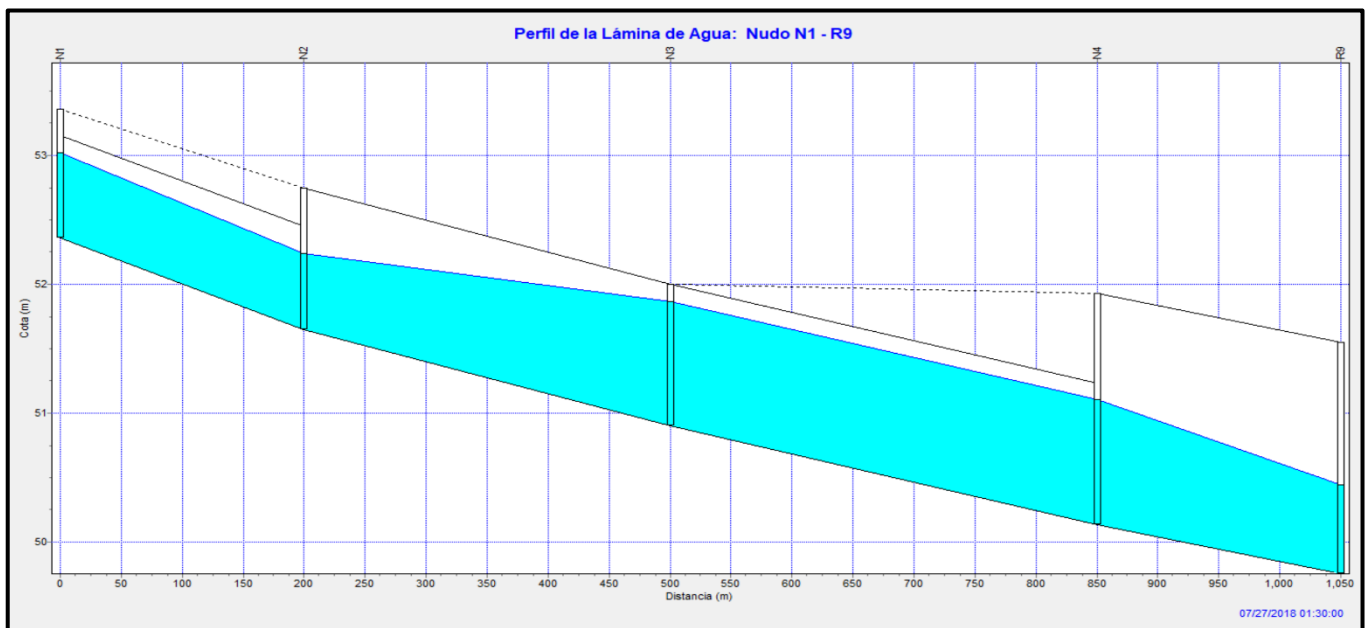


Figura 53. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-11 y C-14 de las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

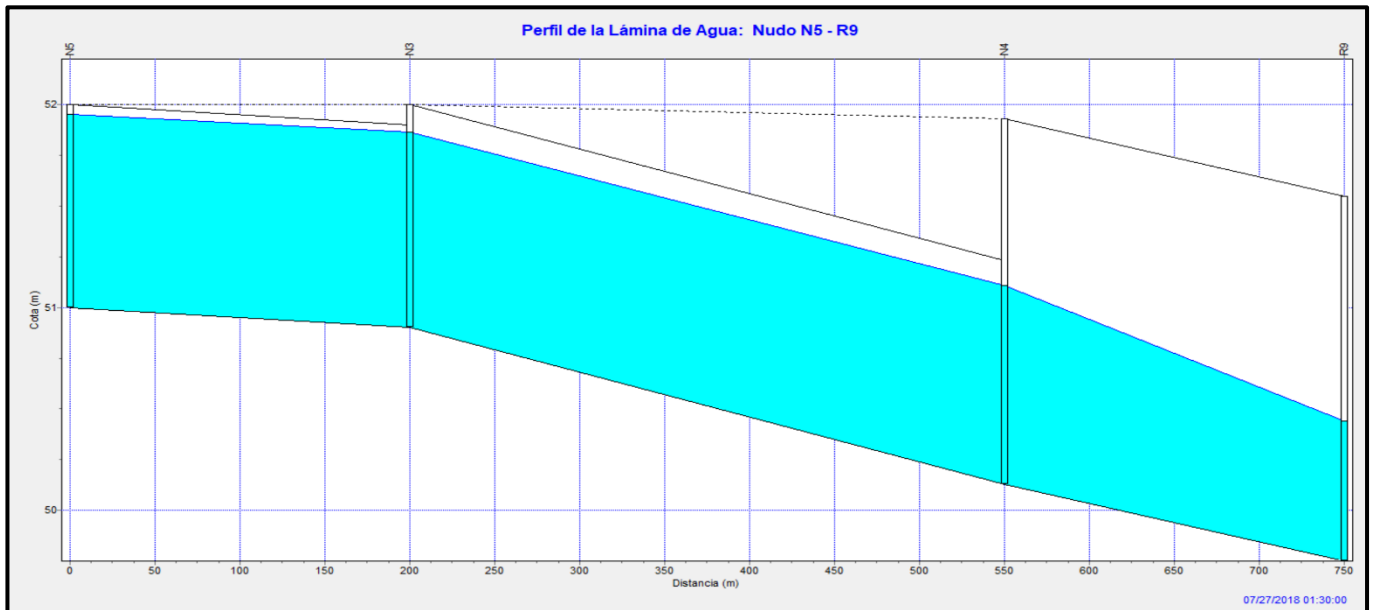


Figura 54. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-12 y C-14 de las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)

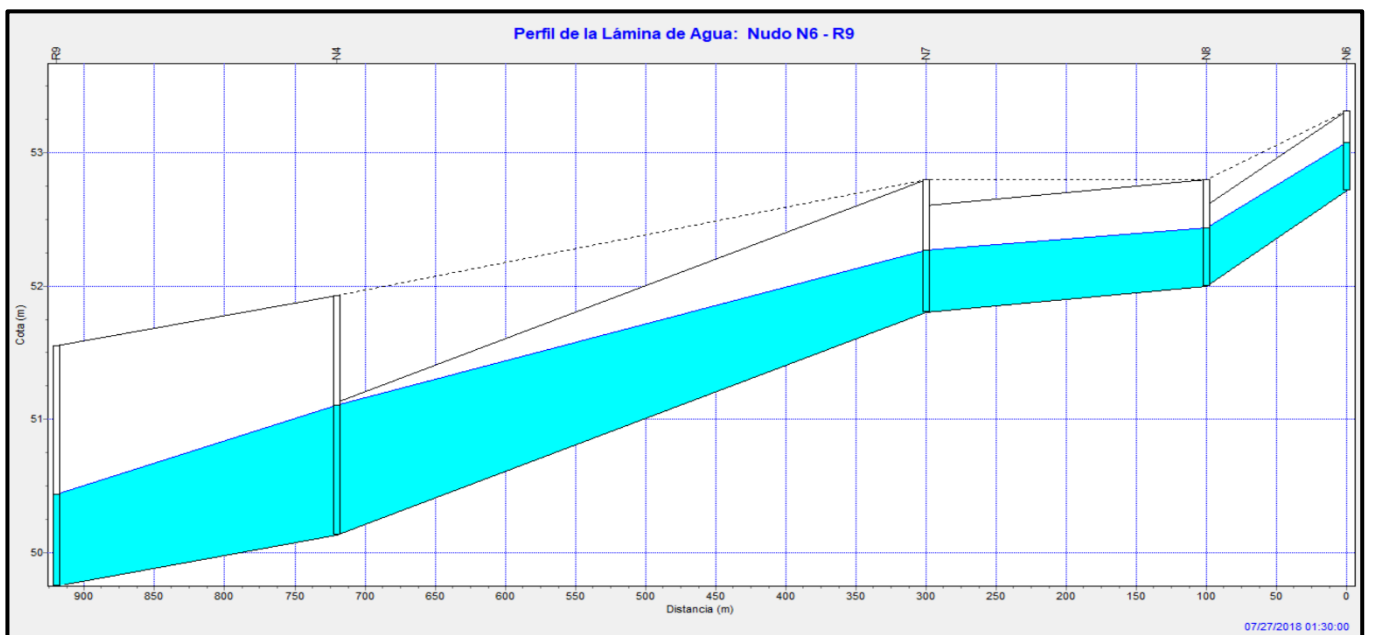


Figura 55. Esquema del perfil longitudinal de los canales C-13 y C-14 de las cuencas H-4 y H-5 en el programa EPA-SWMM (Fuente: Elaboración propia)