



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

2016

ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA
LOCALIDAD DE 30 DE AGOSTO
PARTIDO DE TRENQUE LAUQUEN
(Provincia de Buenos Aires)
Informe Final

UIDET
HIDROLOGÍA

Informe final

2-12-2016

ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA
LOCALIDAD DE 30 DE AGOSTO
PARTIDO DE TRENQUE LAUQUEN
(Provincia de Buenos Aires)

Informe Final

Rev.	Fecha	Descripción de la/s enmienda/s	Edición	Revisión
A	15/11/2016	Versión de Revisión	EA	PGR
B	02/12/2016	Versión Final	EA	PGR
C				

Ficha Técnica

1. Documento Informe Final		2. Convenio específico		3. Referencia al archivo original UIDET_Hidrología__Informe_final_30deA.docx		
4. Título y subtítulos: ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA LOCALIDAD DE 30 DE AGOSTO PARTIDO DE TRENQUE LAUQUEN (Provincia de Buenos Aires) Informe Final				5. Período informado 01/08/2016 al 31/10/2016		
				6. Versión Informe final (B – Versión Final)		
7. Realización del estudio: 				8. Autoridades: Lic. Raúl Perdomo <u>Presidente UNLP</u> Dr. Ing. Marcos D. Actis <u>Decano</u>		
9. Estudio realizado para: MUNICIPALIDAD DE TRENQUE LAUQUEN SECRETARIA DE PLANEAMIENTO, OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS Ing. Miguel Bulián <u>Secretario de Planeamiento, Obras y Servicios Públicos</u> DELEGACIÓN MUNICIPAL DE 30 DE AGOSTO www.trenquelaquuen.gov.ar				10. Identificación abreviada: DM 30deA - MTL		
				11. Autoridades: Miguel Fernández <u>Intendente</u> Jorge Placido Zapata <u>Delegado Municipal 30 de Agosto</u>		
12. Unidad ejecutora del estudio: UIDET Hidrología Departamento de Hidráulica Facultad de Ingeniería – UNLP Calle 47 Nro. 200 – 1er. Piso – Oficina 6 – Tel. 0221-427-5223				13. Identificación abreviada: UIDET Hidrología		
				14. Integrantes: Mg. Ing. Enrique Angheben enrique.angheben@ing.unlp.edu.ar Mg. Ing. Pablo G. Romanazzi (Coordinador) promanazzi@ing.unlp.edu.ar		
15. Notas: <u>Cítese:</u> Angheben, E., y otros; “Estudio Hidrológico – Hidráulico para La Localidad de 30 de Agosto”; Informe Final, UIDET Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP; noviembre de 2016.						
16. Resumen: <ul style="list-style-type: none"> En el presente corresponde al Informe Final del estudio y se describen las tareas de gabinete y campo desarrolladas en el período comprendido entre Julio y Octubre de 2016, correspondiente al diagnóstico del funcionamiento del sistema de desagües pluviales de la localidad de 30 de Agosto. En el desarrollo del informe se incluyen los resultados, conclusiones y recomendaciones sobre posibles mejoras al sistema pluvial actual. 						
17. Palabras clave Hidrología superficial, Hidráulica urbana, Inundación.				18. Tamaño y fecha del archivo protegido 12.619 KB - 2/12/2016		
19. Confidencialidad Texto disponible bajo las condiciones establecidas en la cláusula de confidencialidad del convenio específico firmado por las partes.	20. Nro. de páginas 63	21. Nro. de figuras 29	22. Nro. de tablas 14	23. Nro. de fotos 15		

ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA LOCALIDAD DE 30 DE AGOSTO PARTIDO DE TRENQUE LAUQUEN (Provincia de Buenos Aires)

Informe Final

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	RESUMEN EJECUTIVO	7
2	INTRODUCCIÓN	8
3	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
3.1	INFORMACIÓN ANTECEDENTE	9
3.2	RECONOCIMIENTO DEL MEDIO FÍSICO	10
4	TAREAS DE CAMPO – RED DE DESAGÜES PLUVIALES	13
4.1	RECORRIDA DEL 21 Y 22 DE JULIO DE 2016	13
4.2	RECORRIDA DEL 7 Y 8 DE SEPTIEMBRE 2016	16
4.3	MEDICIONES DE CAMPO	18
4.4	RED DE DESAGÜES PLUVIALES DE 30 DE AGOSTO	20
5	ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS Y FREÁTICOS	23
5.1	ANÁLISIS DE DATOS MENSUALES	24
5.2	ANÁLISIS DE DATOS ANUALES	25
5.3	ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS	27
5.4	RECURRENCIA DEL EVENTO DEL 2 Y 3 DE FEBRERO DE 2015	29
5.5	ANÁLISIS DE DATOS FREÁTICOS	29
6	HIDROLOGIA SUPERFICIAL	33
6.1	CUENCAS DE APORTE SUPERFICIAL	33
6.2	ESTUDIO DE LLUVIAS – TIEMPOS DE RETORNO	34
7	MODELO HIDRODINÁMICO EPA SWMM 5.1	40
7.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	40
7.1.1	<i>Módulo de Escorrentía o Hidrológico</i>	<i>41</i>
7.1.2	<i>Módulo de Transporte o Hidráulico</i>	<i>43</i>
7.1.3	<i>Módulo de Calidad de Agua</i>	<i>46</i>
7.2	CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA MODELACIÓN	46
7.2.1	<i>Módulo Hidrológico:</i>	<i>46</i>
7.2.2	<i>Módulo Hidráulico:</i>	<i>46</i>
7.3	MODELO SWMM PARA 30 DE AGOSTO	48
8	ESCENARIOS MODELADOS - RESULTADOS	51
8.1	ESCENARIO 1: SITUACIÓN ACTUAL. RECURRENCIA 2 AÑOS	53

8.2	ESCENARIO 2: MEJORAS PARA 2 AÑOS DE RECURRENCIA.....	55
8.3	ESCENARIO 3: MEJORAS Y OBRAS PARA 5 AÑOS DE RECURRENCIA.....	56
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
11	ANEXO DOCUMENTACIÓN.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Carta IGN 3763-4-4 – 30 de Agosto. Escala 1:50.000.....	9
Figura 3-2: Medio Físico. Ecurrimiento superficial regional por interdunas	11
Figura 3-3: Ecurrimiento superficial en la zona de estudio	11
Figura 3-4: Ecurrimiento superficial en la zona de estudio. Detalle.....	12
Figura 4-1: Recorrida realizada los días 21 y 22 Julio de 2016.....	13
Figura 5-1: Máximas precipitaciones diarias. Período 1984 – 2015. Fuente EESA Nº 1	24
Figura 5-2: Análisis datos mensuales. Período 1984 – 2015. Fuente EESA Nº 1.....	25
Figura 5-3: Análisis datos anuales. Comparación estaciones SMN y 30 de Agosto	26
Figura 5-4: Análisis datos anuales. Comparación período común estaciones SMN y 30 de Agosto	26
Figura 5-5: Ajuste Gumbel serie EESA Nº 1, 30 de Agosto.....	28
Figura 5-6: Ajuste Pearson III serie EESA Nº 1, 30 de Agosto.....	28
Figura 5-7: Profundidad de napa promedio mensual. Período 2005 – 2015. Fuente EESA Nº 1.....	30
Figura 5-8: Profundidad de napa máximos y mínimos. Período 2005 – 2015. Fuente EESA Nº 1	31
Figura 5-9: Puntos relevados de cota de pelo de agua	31
Figura 6-1: Áreas de aporte y puntos principales de descarga	33
Figura 6-2: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 2 años.....	37
Figura 6-3: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 5 años.....	37
Figura 6-4: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 10 años.....	37
Figura 6-5: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 25 años.....	38
Figura 6-6: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 50 años.....	38
Figura 6-7: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 100 años.....	38
Figura 6-8: Hietograma Tormenta 2 y 3 de febrero de 2015 - Duración 24 hs.....	39
Figura 7-1: Áreas de aporte y puntos principales de descarga	41
Figura 7-2: Planta urbana de 30 de Agosto con cuencas de aporte en el modelo SWMM	48
Figura 7-3: Detalle de la red con los sentidos de escurrimiento en el modelo SWMM.....	49
Figura 7-4: Planta urbana con niveles de agua en calles y esquinas s/ modelo SWMM	49
Figura 7-5: Vista del perfil de calle A. del Valle con punto bajo en esquina con Gral. Paz	50
Figura 7-6: Vista del perfil del conducto pluvial desde A. del Valle y Gral. Paz hasta el P. Municipal..	50
Figura 8-1: Ubicación de puntos relevantes.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación EESA Nº 1	24
Tabla 5-2: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación Trenque Lauquen	25
Tabla 5-3: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación EESA Nº 1	27
Tabla 5-4: Serie profundidad de napa. Datos relevantes. Fuente EESA Nº 1	30
Tabla 6-1: Identificación de macro cuencas urbanas.....	34
Tabla 6-2: Relación I-D-R	35
Tabla 6-3: Relación P-D-R	35
Tabla 6-4: Hietogramas de proyecto según recurrencia.....	36
Tabla 7-1: Cota de Fondo de Reservorios	48
Tabla 8-1: Volumen actual estimado de Reservorios.....	53

Tabla 8-2: Profundidad media disponible en Reservorios	54
Tabla 8-3: Volumen mínimo de Reservorios	55
Tabla 8-4: Volumen de reservorios escenario 3.....	56
Tabla 11-1: Listado de la documentación entregada en formato digital.....	63

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 4-1: Estación de bombeo en calle Dr. Eguiguren y Av. Tronge	14
Foto 4-2: Estación de bombeo en calle Dr. Eguiguren y Av. Tronge	14
Foto 4-3: Equipo de bombeo en Corralón Municipal.....	15
Foto 4-4: Canal perimetral de desagüe, paralelo a Av. Tronge.....	15
Foto 4-5: Alcantarilla bajo vías del ferrocarril.....	15
Foto 4-6: Alcantarilla bajo vías del ferrocarril.....	16
Foto 4-7: Vista de pluviómetro y anemómetro.....	16
Foto 4-8: Instalación de la nueva Estación Meteorológica (con pluviógrafo).....	17
Foto 4-9: Foto 9: Estación Meteorológica “Davis”	17
Foto 4-10: Toma de datos de nivel freático y cota de los instrumentos	17
Foto 4-11: Registro profundidad de napa y cota de boca de freatómetro	18
Foto 4-12: Equipo ToCom GR3. Antena y Receptor de Datos.....	18
Foto 4-13: Equipo ToCom GR3. Antena Fija y Móvil	19
Foto 4-14: Base Fija ubicada en predio frente al Corralón Municipal	19
Foto 4-15: Medición GNSS estática sobre eje de calle A. del Valle.....	20

ÍNDICE DE PLANOS

Plano Nº 1: TA-EDP-01 Ubicación
Plano Nº 2: TA-EDP-02 Nodos-Cotas de Esquina
Plano Nº 3: TA-EDP-03 Curvas de Nivel
Plano Nº 4: TA-EDP-04 Sub Cuencas Urbanas
Plano Nº 5: TA-EDP-05 Planialtimetría de Conductos 1/3
Plano Nº 6: TA-EDP-05 Planialtimetría de Conductos 2/3
Plano Nº 7: TA-EDP-05 Planialtimetría de Conductos 3/3

1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente Informe Final del *Estudio hidrológico – Hidráulico para la localidad de 30 de Agosto, Partido de Trenque Lauquen*, fue llevado a cabo por la Unidad de Investigación, Desarrollo y Extensión en Hidrología (UIDET Hidrología) del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP); en el marco del Convenio de Cooperación existente entre esa Universidad y la Municipalidad de Trenque Lauquen.

En primera instancia se realizó una descripción del medio físico donde se ubica la localidad de 30 de Agosto, necesaria para interpretar la característica y dificultades propias que tiene la región para encauzar los escurrimientos superficiales producidos por precipitaciones pluviales.

Luego se describen las tareas de campo realizadas en las recorridas del 22 y 23 de Febrero, el 21 y 22 de Julio, y el pasado 7 y 8 de Septiembre del presente año 2016, para posteriormente avanzar en el procesamiento realizado a la información pluviográfica y freaticométrica recopilada en la EESA Nº 1, “Manuel Belgrano”, cuyos resultados permitieron caracterizar a la tormenta del 2 y 3 de febrero de 2015, que provocó la inundación que de alguna manera dio origen a este estudio.

El modelo matemático del tipo hidrológico-hidrodinámico, utilizado para el diagnóstico es el “Storm Water Management Model” (SWMM) de la “United States Environmental Protection Agency” (EPA), el cual permite realizar la simulación de los procesos de transformación lluvia – caudal, y su traslado a lo largo de la red de desagües, aplicando un modelo hidrodinámico unidimensional.

Para el armado de modelo se utilizó información antecedente proporcionada por la Oficina de Obras y Servicios Públicos de la Delegación Municipal de 30 de Agosto y las propias mediciones de campo. De la modelación del escenario correspondiente a la situación actual de los desagües, surge que en general el sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto es compatible con precipitaciones del orden de los 2 años de recurrencia (no superiores a este umbral), pero sin embargo existen puntos o zonas en las cuales se registran problemas de captación y conducción, que ponen en juego el nivel de anegamiento de calles y veredas, para los cuales es necesario implementar soluciones particulares.

La modelación de otros escenarios permitió, a modo de recomendación preliminar, proponer un grupo de acciones y obras tendientes a mejorar el funcionamiento integral del sistema de desagües pluviales.

Junto al presente informe se entrega un grupo de Planos con información propia de la red de desagües pluviales de la localidad, junto con un CD conteniendo esa misma información en formato digital AutoCAD y SIG (Sistema de Información Geográfica).

2 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Final del *Estudio hidrológico – Hidráulico para la localidad de 30 de Agosto, Partido de Trenque Lauquen*, fue llevado a cabo por la Unidad de Investigación, Desarrollo y Extensión en Hidrología (UIDET Hidrología) del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP); en el marco del Convenio de Cooperación existente entre esa Universidad y la Municipalidad de Trenque Lauquen.

Por parte de la UIDET Hidrología participaron del trabajo el Mg. Ing. Enrique Angheben (coordinador), los ingenieros José Carner y Msc. Pablo Romanazzi (colaboradores), la Lic. Gabriela Calvetty Ramos (relevamientos y SIG) y los becarios Leandro Bonardo y German Spadari.

La implementación y coordinación del Estudio, por parte de la Municipalidad de Trenque Lauquen, estuvo a cargo del Ing. Miguel Bulián, Secretario de Planeamiento, Obras y Servicios Públicos del Municipio, con especial seguimiento por parte del Sr. Intendente Miguel Fernández.

Por la localidad de 30 de Agosto se contó con la colaboración de la Oficina de Obras y Servicios Públicos, en especial de Ing. Omar R. Alagia, responsable de la misma, el Arq. Juan Gundel y Nadia Correa. Asimismo se contó también con la ayuda del Sr. José L. Manchafisco, encargado del corralón municipal, y su personal, en lo referente a las estaciones de bombeo.

De manera especial debe mencionarse y agradecerle a la Directora de la Escuela de Educación Secundaria Agraria Nº 1 “Manuel Belgrano”, Marisa Gaita, y al docente Pablo Zanguitu, de la Sección Laboratorio y Estación Meteorológica, el cual junto con sus alumnos, aportó los datos meteorológico utilizados en el estudio y colaboraron con las determinaciones de campo.

En el marco institucional se contó con el apoyo del Departamento de Hidráulica a través de su Director Ejecutivo, el Ing. Sergio Liscia, y como unidad de vinculación tecnológica (UVT) actuó la Fundación de la Facultad de Ingeniería.

Este Informe Final corresponde a los trabajos realizados durante el período Julio – Octubre, y en el mismo se describen las tareas realizadas tanto en campo como gabinete, de manera de cumplir con el objetivo del Estudio, cual es el de realizar un diagnóstico de la situación actual del funcionamiento del sistema de desagües pluviales de la localidad de 30 de Agosto, y a partir del mismo, plantear diferentes escenarios ante precipitaciones de variada severidad (recurrencia) y sugerir alternativas de intervención, ya sea con obras estructurales y/o no estructurales, que puedan ser analizadas por el Municipio.

Se realiza una descripción del medio físico donde se ubica la localidad de 30 de Agosto, necesaria para interpretar la característica y dificultades propias que tiene la región para encauzar los escurrimientos superficiales producidos por precipitaciones pluviales y se presentan los resultados de los procesamientos realizados a la información pluviográfica recopilada, los cuales permitieron caracterizar a la tormenta del 2 y 3 de febrero de 2015.

Por último se presentan los resultados obtenidos de los diferentes escenarios modelados, ya sea en la situación actual que permite realizar el mencionado diagnóstico, y con diferentes escenarios de obras y acciones, que permitirían mejorar el funcionamiento del sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto.

3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 INFORMACIÓN ANTECEDENTE

Para la caracterización de la cuenca hídrica en la que se encuentra emplazada la localidad de 30 de Agosto se obtuvieron las Cartas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, ex IGM), correspondientes a la zona de estudio, a escala 1: 50.000, donde se reconocen curvas de nivel, puntos fijos acotados y trigonométricos, además del relevamiento antrópico y natural, realizado en la década del '50 para esta zona en particular. En especial la Carta IGN 3763-4-4 en escala 1:50.000, corresponde a la ubicación propia de la localidad de 30 de Agosto, y se muestra en la siguiente Figura 3-1.

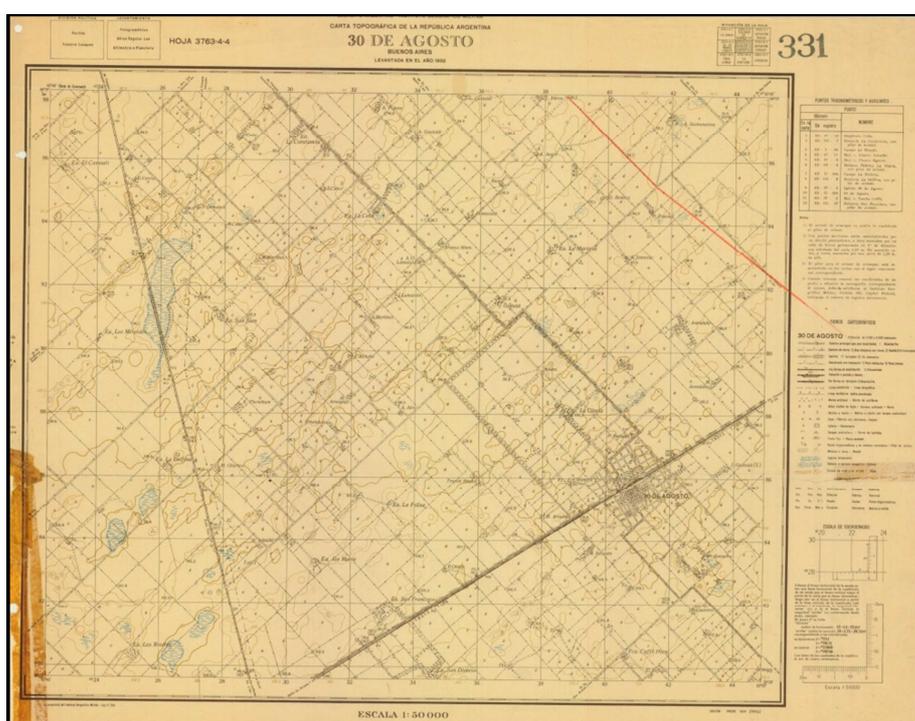


Figura 3-1: Carta IGN 3763-4-4 – 30 de Agosto. Escala 1:50.000

El IGN generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) al cual lo denomina MDE-Ar, a partir del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA, realizado en el año 2000. El MDE-Ar son imágenes cuyas celdas o píxeles son de 45 m, los cuales representan un valor de altura respecto del nivel del mar. Con esta información se generaron divisorias de cuencas y cursos de agua de la Cuenca Hidrográfica Noroeste, donde se encuentra el Partido de Trenque Lauquen.

Asimismo se obtuvieron imágenes satelitales Landsat históricas, en períodos coincidentes con abundantes precipitaciones, de manera de interpretar la dinámica hídrica de la región, y se utilizaron imágenes de alta resolución para realizar fotointerpretación visual de canales, reservorios, esquinas y bajos, entre otras capas.

Dentro de los trabajos antecedentes consultados para la caracterización de la geomorfología y el funcionamiento hídrico de la zona involucrada, se destaca el "Plan Maestro para la Cuenca del Rio Salado", elaborado por la Consultora Halcrow, en el 1999.

3.2 RECONOCIMIENTO DEL MEDIO FÍSICO

El partido de Trenque Lauquen, al cual pertenece la localidad de 30 de Agosto, es parte de la denominada Cuenca del Noroeste de la provincia de Buenos Aires, o simplemente como “Región Noroeste”, tal como la mencionan los autores del “Plan Maestro” indicado en el punto anterior, en cuyo Informe Final se describe en forma sintética la conformación física de la región:

“La Región Noroeste comprende el área entre el Río Salado, la cuenca del Aº Vallimanca y el límite oeste de la provincia. En el extremo norte se ha ajustado el límite para incluir el Río Salado, aguas arriba de Junín, y a Mar Chiquita con los arroyos que drenan hacia ella.

La Región Noroeste no cuenta con una red natural de drenaje de agua superficial y la densidad de drenaje es actualmente nula. Esto refleja la historia geomorfológica del paisaje, durante la mayor parte de la cual, los procesos eólicos han dominado totalmente los procesos fluviales. La región puede subdividirse en áreas con paisajes característicos y definitivamente diferentes. Sin embargo, antiguas dunas (ya sean longitudinales, parabólicas o transversales) constituyen la principal característica topográfica y morfológica del paisaje. Las crestas de las dunas impiden el drenaje de las aguas, que se almacena en la superficie durante eventos prolongados de lluvias o debido a altos niveles freáticos que emergen en la superficie.

La región está limitada al este por crestas de dunas relativamente altas y, en especial, por grandes dunas arenosas en la margen noreste. Con el drenaje natural bloqueado hacia el este y hacia el norte por estos accidentes topográficos, gran parte del agua de escorrentía no tiene salida y escurre con dirección sur hacia el sistema de la Laguna El Hinojo / Las Tunas.

El aumento de las precipitaciones anuales en los últimos 25-30 años ha sido más marcado en el noroeste, con valores de hasta un 20% de aumento en algunas partes. Como resultado de esta situación, el nivel freático ha subido considerablemente hasta un nivel tal que las continuas precipitaciones se traducen en numerosas expresiones de la napa freática. Sin una salida natural, la permanencia de las aguas en dichas depresiones puede ser muy prolongada.” (Halcrow – 1999)

Se subraya en el texto el carácter arreico de la región, esto es, sin cursos naturales predominantes que encausen los escurrimientos superficiales (flujo superficial u horizontal), determinado la importancia de la evapotranspiración y la infiltración (flujo vertical) como balance de las precipitaciones.

Una muestra de lo mencionado puede verse en la Figura 3-2 siguiente, justamente en la zona de influencia del Estudio.

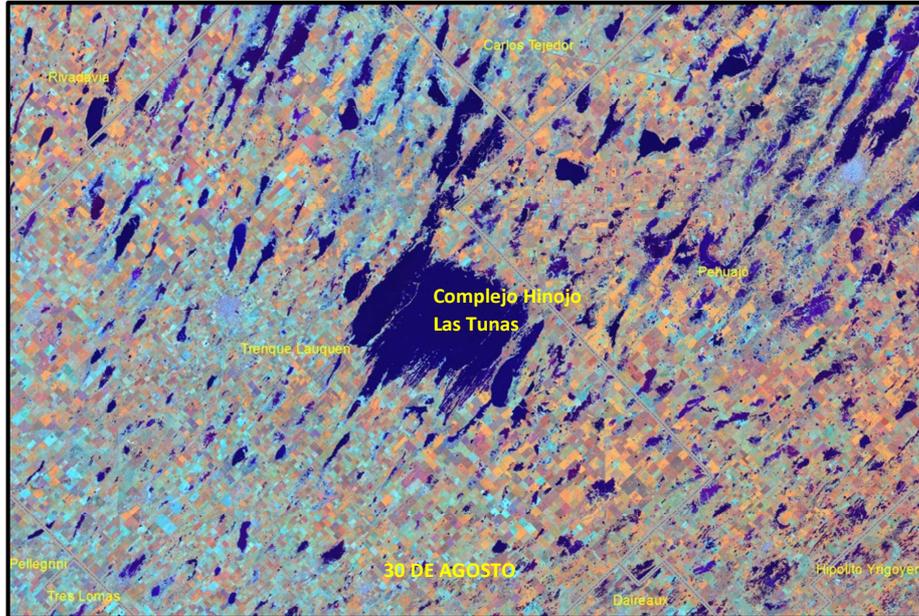


Figura 3-2: Medio Físico. E scorrimento superficial regional por interdunas

Asimismo, con las herramientas del programa de ESRI ArcGis 10.0 se analizaron las imágenes del IGN-Ar de esta cuenca, donde se puede observar un escurrimento superficial regional suroeste-noreste con baja pendiente, ver Figura 3-3.

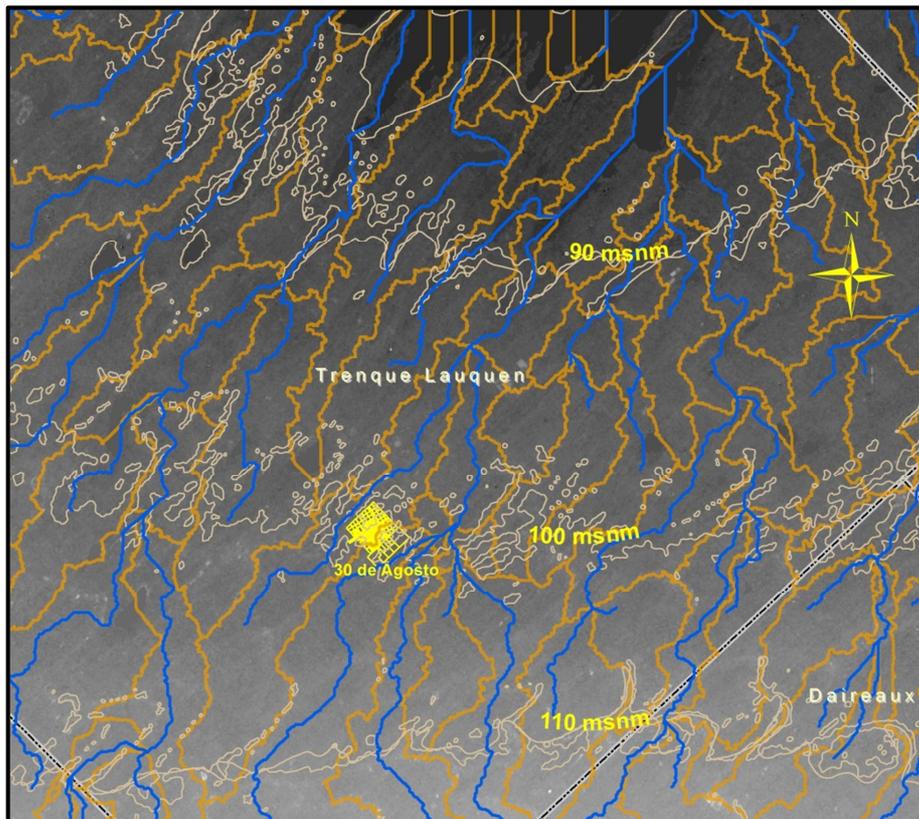


Figura 3-3: E scorrimento superficial en la zona de estudio

En la Figura anterior, las líneas en azul muestran direcciones preferenciales de escurrimento, determinadas por la topografía, pero no deben confundirse con cursos de agua

definidos. Por el contrario, las líneas en color marrón claro representan “divisorias de micro cuencas”, es decir pequeñas elevaciones que dividen el derrame superficial. En particular para la zona de 30 de Agosto, puede observarse que se encuentra sobre una cota de 100 msnm, y que existe una divisoria de cuencas que cruza la localidad en sentido suroeste-noreste.

Para analizar con más detalle la zona comprendida por el presente informe, se realizó una fotointerpretación visual con imágenes de mayor resolución espacial, como las del Google Earth, donde se reconocen los bajos, poco drenaje superficial natural, y varias canalizaciones antrópicas. Ver Figura 3-4.

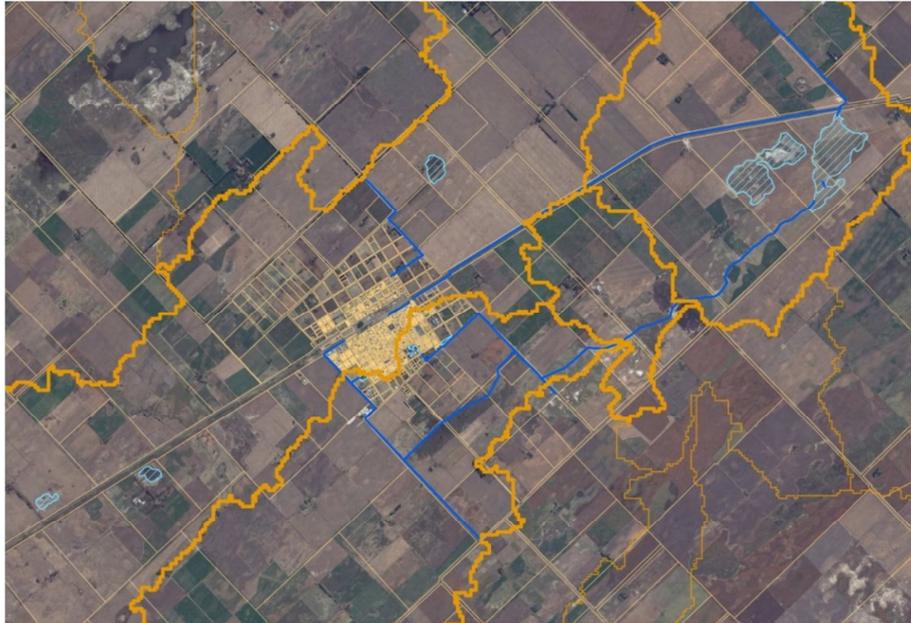


Figura 3-4: Esguerrimiento superficial en la zona de estudio. Detalle

4 TAREAS DE CAMPO – RED DE DESAGÜES PLUVIALES

La primera visita de reconocimiento se realizó en Febrero de 2016, la cual permitió determinar los alcances del presente Estudio, luego, en el lapso de tiempo que se desarrollan las tareas se han realizado otras dos recorridas de campo, cuyos objetivos y aportes se resumen a continuación.

4.1 RECORRIDA DEL 21 Y 22 DE JULIO DE 2016

Durante esta visita se complementó la recorrida anterior, en lo que se refiere a la ubicación de los reservorios y las estaciones de bombeo, pero además se recorrieron las trazas de los conductos pluviales existentes en la trama urbana de la localidad, identificando cámara, rejas, sumidero y descargas puntuales.

Asimismo se realizó una recorrida por la periferia de 30 de Agosto, relevando los canales perimetrales y de descarga de los propios desagües. Se identificaron alcantarillas en caminos vecinales y el ferrocarril, su estado de conservación y funcionamiento hidráulico. En la recorrida se utilizó un GPS manual, para dejar registrada la ubicación geográfica de los lugares relevados. Dicha recorrida se muestra en la siguiente Figura 4-1, y algunos de los lugares observados en las fotografías subsiguientes.



Figura 4-1: Recorrida realizada los días 21 y 22 Julio de 2016

En las siguientes Fotos 4-1 y 4-2 se muestra una de las estaciones de bombeo, la ubicada en calle Dr. Eguiguren y Av. Tronge, donde se puso en marcha una de las bombas y se tomaron las dimensiones de la cámara de descarga y las características de los equipos.



Foto 4-1: Estación de bombeo en calle Dr. Eguiguren y Av. Tronge



Foto 4-2: Estación de bombeo en calle Dr. Eguiguren y Av. Tronge

En la Foto 4-3 se ve el cuerpo de la estructura donde se monta el rodete y el soporte para el motor en un equipo preparado en el Corralón Municipal.

Respecto a los canales perimetrales de desagüe y las alcantarillas que transportan los excedentes pluviales del casco urbano hacia puntos bajos alejados mismo, en la Foto 4-4 se muestra el canal paralelo a la Avenida Tronge, y en la Foto 4-5 la alcantarilla ubicada bajo las vías del ferrocarril (punto 045 en la Figura 4-1).

Por último, durante esta visita se realizó una reunión de trabajo en la Delegación Municipal, con integrantes de esa repartición, donde se trataron temas relacionados con las inundaciones ocurridas en diferentes oportunidades, se identificaron las zonas anegables y los puntos críticos del sistema pluvial de 30 de Agosto.



Foto 4-3: Equipo de bombeo en Corralón Municipal



Foto 4-4: Canal perimetral de desagüe, paralelo a Av. Tronge



Foto 4-5: Alcantarilla bajo vías del ferrocarril

4.2 RECORRIDA DEL 7 Y 8 DE SEPTIEMBRE 2016

La visita realizada los días 7 y 8 de septiembre se destinó en gran parte a la realización de un relevamiento altimétrico expeditivo, ayudado con un equipo GPS como se describe más detalladamente en el punto siguiente (Punto 4.3). Dicho relevamiento estuvo orientado a obtener cotas de puntos específicos, ya sea porque eran faltantes en el relevamiento original, o por ser necesarios para su incorporación en el modelo hidrodinámico descrito más adelante.

En la Foto 4-6 se muestra el relevamiento de la alcantarilla que vincula el canal paralelo a las vías del ferrocarril con la estación de bombeo de Av. Tronque y Sarmiento.



Foto 4-6: Alcantarilla bajo vías del ferrocarril

Asimismo, y como tarea muy relevante, se recorrió la estación meteorológica de la Escuela de Educación Secundaria Agraria Nº 1 “Manuel Belgrano” (EESA Nº 1), donde además de reconocer los equipos de medición, se tomó la cota de la boca del freatímetro y se realizó una medición conjunta con los docentes y alumnos, de manera de poder vincular correctamente esa profundidad con otros puntos de interés.

En las Fotos 4-7 a 4-9 se muestran imágenes de la estación.



Foto 4-7: Vista de pluviómetro y anemómetro



Foto 4-8: Instalación de la nueva Estación Meteorológica (con pluviógrafo)



Foto 4-9: Foto 9: Estación Meteorológica "Davis"



Foto 4-10: Toma de datos de nivel freático y cota de los instrumentos

Y en las Fotos 4-10 y 4-11 se muestran imágenes de las tareas realizadas en la medición de la profundidad de napa y cota de boca de freáticometro.



Foto 4-11: Registro profundidad de napa y cota de boca de freáticometro

Por último, durante esta visita se realizó otra reunión de trabajo en la Delegación Municipal, con el intendente de Trenque Lauquen, el Delegado Municipal de 30 de Agosto, integrantes de su Consejo Asesor, entre otros funcionarios responsables del área de obras públicas de ambas localidades, donde se expusieron los avances en el Estudio, algunas primeras conclusiones preliminares y los pasos a seguir, así como también algunas inquietudes locales para ser tenidas en cuenta en análisis propuesto en el trabajo.

4.3 MEDICIONES DE CAMPO

Para esta tarea se trabajó con dos equipos GPS geodésicos TopCon GR3, como se muestran en las Fotos 4-12 y 4-13.



Foto 4-12: Equipo ToCom GR3. Antena y Receptor de Datos



Foto 4-13: Equipo ToCom GR3. Antena Fija y Móvil

El sistema de posicionamiento GPS permite obtener coordenadas precisas en un marco de referencia global materializado por alguno de referencia nacional o provincial.

La precisión del sistema está condicionada por la metodología de medición y procesamiento. Para el caso de requerimientos de precisión centimétrica es necesario utilizar metodología diferencial (o de posicionamiento relativo).

Esta metodología está basada en la medición simultánea con dos o más equipos, uno de los cuales debe estar en un punto de posición conocida en el marco de referencia adoptado.

En nuestro caso se realizaron mediciones diferenciales estáticas, con ambos equipos quietos, ocupando uno de ellos un punto fijo con coordenadas conocidas, y el restante ubicado sobre los puntos a relevar. Ver Fotos 4-14 y 4-15 respectivamente.



Foto 4-14: Base Fija ubicada en predio frente al Corralón Municipal

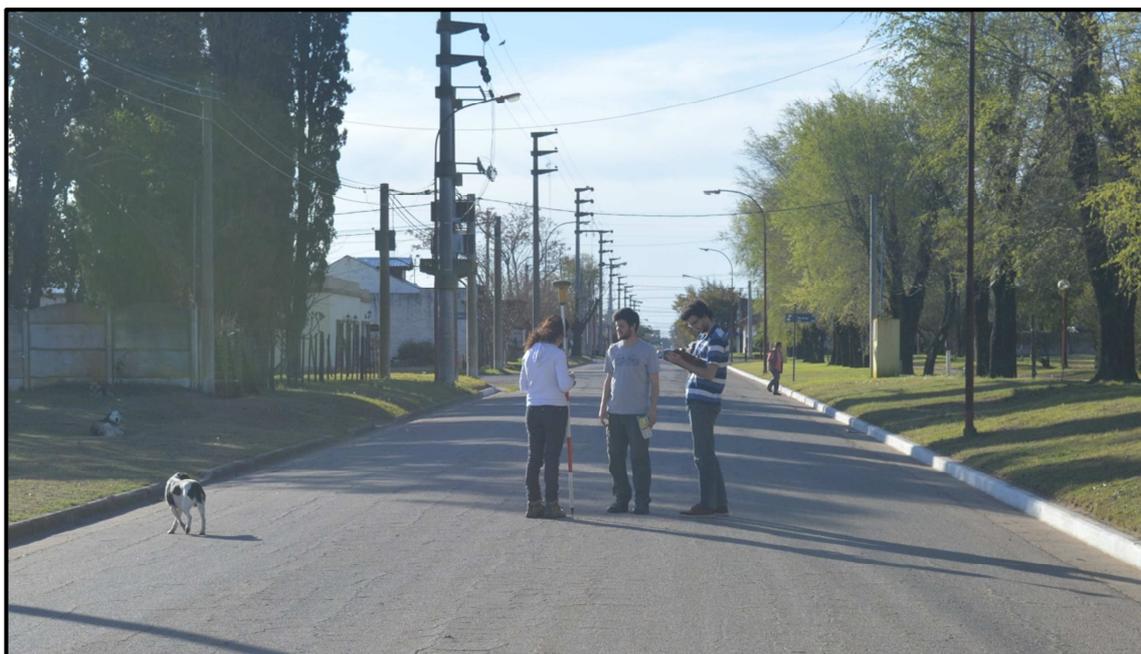


Foto 4-15: Medición GNSS estática sobre eje de calle A. del Valle

La precisión del equipo TopCon GR 3 utilizado es $3\text{mm} + 0,5 \text{ ppm}$ en horizontal, y $5\text{mm} + 0,5 \text{ ppm}$ en vertical para las mediciones estáticas realizadas en este caso; y $>0,25\text{m}$ Post Procesamiento, $<0,50\text{m}$ en tiempo real, para el procesamiento DGPS (Differential Global Positioning System).

Como puntos significativos relevados se puede mencionar a los niveles del pelo libre de agua en los diferentes reservorios y canales, las marcas de los máximos niveles de agua alcanzados en las estaciones de bombeo, y sobre todo la cota del freático ubicado en la EESA N° 1, de 30 de Agosto.

Los nuevos datos de cota de esquina, centro de calle y divisorias de cuencas en calles de la trama urbana fueron incorporados a la planialtimetría provista por la Delegación, de manera de completar esa información, así como también permitió el ajuste de las cuencas de aporte urbanas.

4.4 RED DE DESAGÜES PLUVIALES DE 30 DE AGOSTO

De los diferentes encuentros mantenidos con funcionarios y personal de la Municipalidad de Trenque Lauquen y la Delegación Municipal de 30 de Agosto, se fue recopilando documentación e información de base muy útil para el estudio, incluso parte de la misma se fue provista en forma preliminar de manera de poder elaborar los alcances del trabajo. Posteriormente ella fue completada y ampliada en formato digital, ordenada y de fácil interpretación. Asimismo, personal del corralón municipal de 30 de Agosto, a cargo del funcionamiento y mantenimiento de las estaciones de bombeo, proporcionó información, datos técnicos y características de las mismas (tipo de bombas, potencia, dimensiones, regímenes de funcionamiento, etc.).

Toda esta información posteriormente fue complementada con las recorridas y relevamientos de campo e incorporada al modelo hidrodinámico y los planos adjuntos al presente.

La Oficina de Obras y Servicios Públicos de 30 de Agosto proporcionó un relevamiento altimétrico de detalle de calles y cunetas del casco urbano, en formato digital y referido a cota IGN. Asimismo, sobre una planimetría de la localidad, se entregó información en formato AutoCAD de:

- Determinación de sentidos de escurrimiento en calles y cunetas
- Ubicación de conductos pluviales, sumideros, rejillas, cámaras, estaciones de bombeo y reservorios
- Delimitación preliminar de sub cuencas urbanas
- Información catastral
- Uso del Suelo. Zonificación actual y proyectada. Ubicación de nuevas urbanizaciones
- Infraestructura y Servicios Públicos
- otras capas de interés.

Y un registro fotográfico de diferentes inundaciones ocurridas en 30 de Agosto, con imágenes de lugares, hechos y consecuencias más relevantes, así como también del estado de funcionamiento de la red de desagües durante esas precipitaciones.

Con el objeto de generar una cartografía adecuada, utilizable en este proyecto pero que sirva para otros futuros o incluso utilizable en otros sistemas de representación gráfica (Sistema de Información Geográficos, SIG), en primer lugar se estableció la proyección cartográfica en la cual trabajar, adoptándose la Gauss-Krüger definida por el IGN, donde el partido de Trenque Lauquen pertenece a la Faja 4. De esta forma todos los datos quedan georeferenciados, facilitando la superposición de capas de información. En este sentido, con la ayuda de ArcMap y AutoCAD se cargaron los datos altimétricos y de uso del suelo aportados por la Delegación Municipal.

Esta información fue ampliada con la recopilada de catastro, cartas del IGN, imágenes satelitales, y sobre todo con la obtenida en campo. De esta manera se definieron nuevamente los sentidos de escurrimiento de calles, determinadas nuevas cuencas urbanas, áreas de aporte a los reservorios, etc. Éstos fueron contrastados con los determinados oportunamente por la Delegación, existiendo en general una buena correlación, y en aquellos lugares donde existían diferencias se tomaron nuevas cotas para ajustar el escurrimiento superficial.

Toda esta información planialtimétrica superficial ha sido incorporada al modelo hidrodinámico descrito en el siguiente punto y en los planos que se describen a continuación:

- Plano Nº: TA-EDP-02 “Nodos–Cotas de Esquina”, con las cotas asignadas a cada esquina. Esta cota corresponde al punto más bajo de las cunetas existentes, pues es el que define el escurrimiento en calle. En aquellas calles que no existen cordón cuneta se refiere a la cota de centro de esquina.
- Plano Nº: TA-EDP-03 “Curvas de Nivel”, con el trazado de las curvas de nivel de la planta urbana de la localidad de 30 de Agosto, con una equidistancia de 20 cm. De este trazado, donde puede apreciarse principalmente los puntos y/o zonas bajas, se verifica que en general se trata de una altimetría más bien “plana”, en el orden de cota 100m IGN, con poca variación de alturas topográficas. De aquí se desprende la imposibilidad de prever conducciones, ya sean canales o conductos, eficientes, dado que las pendientes disponibles son muy bajas.

- Plano N°: TA-EDP-04 “Sub Cuencas Urbanas”, conteniendo el trazado de las cuencas urbana a nivel de esquina, con que fue cargado el modelo y determinadas la macro cuencas mencionadas en el Punto 6.
- Planos N°: TA-EDP-05 a 07 “Planialtimetrías de Conductos” pluviales existentes, en base a los datos de todas las cámaras, rejillas, sumideros y conductos pluviales a los que se pudo acceder en los relevamientos, donde se tomaron dimensiones, tipos, tapadas, profundidades, etc. Con esta información se intentó interpretar su trazado y funcionamiento hidráulico, para que pueda ser interpretado en las modelaciones.

Es muy importante aclarar que esta información es provisoria y sin lugar a duda debe ser ajustada, ya que no existen planos conforme a obra de las conducciones existentes, existiendo incertidumbre sobre conexiones de sumideros, diámetros de conductos, etc. Y el alcance de los relevamientos no incluía ese nivel de detalle, dado que en muchos casos la inexistencia de cámaras de acceso involucra la necesidad de romper los pavimentos para verificar las dimensiones y profundidades de las conducciones.

5 ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS Y FREÁTICOS

En primera instancia se solicitó al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) datos históricos de precipitaciones diarias correspondientes a la Estación Trenque Lauquen. En respuesta a ese pedido el SMN entregó una serie de lluvias pertenecientes al período 1958 – 2016, este último obviamente en forma parcial.

Posteriormente, a partir de conocer que la Escuela de Educación Secundaria Agraria Nº 1 “Manuel Belgrano”, de 30 de Agosto, podría poseer datos de precipitaciones y otras variable climáticas, dado que contaba con una estación meteorológica, se solicitó por intermedio de la Delegación Municipal, los registros y datos históricos disponibles en la escuela.

La información suministrada por la EESA Nº 1 comprendió:

- Registro de Precipitaciones diarias y mensuales en el período 1986 – 2016 (parcial), del pluviómetro ubicado en la estación meteorológica de la misma escuela.
- Registro de la Profundidad de la Napa Freática en el período 2005 – 2016 (parcial), obtenidos del freatómetro ubicado en la misma escuela.
- Datos de las variables meteorológicas:
 - Radiación Solar, período 2002 – 2016 (parcial)
 - Temperatura Media Mensual, período 1984 – 2016 (parcial)
 - Dirección Dominante de viento, período 1997 – 2016 (parcial)
 - Evapotranspiración Diaria, período 1997 – 2016 (parcial)
 - Heladas Agronómicas, período 1984 – 2016 (parcial)

A partir de los registros de precipitación del pluviómetro de la EESA Nº 1 “Manuel Belgrano”, se realizó un primer análisis preliminar con el objeto de determinar si existían registros de la precipitación ocurrida los días 2 y 3 de Febrero de 2015, que causó una importante inundación en 30 de Agosto, y que de alguna manera determinó la necesidad de realizar este estudio.

En efecto, ese evento de precipitación fue registrado por el pluviómetro de la escuela, determinando una precipitación total 280 mm en 24 horas. Seguramente el pico de intensidad de esa tormenta se haya producido en un lapso mucho menor de tiempo (en el orden de unas pocas horas), pero el tipo de instrumental instalado hasta ese momento no permite su registro. En este sentido, la nueva estación meteorológica, colocada actualmente, sí será capaz de medir y guardar información sobre el desarrollo temporal de la tormenta.

De un simple análisis preliminar surge la Figura 5-1, en el cual se muestran las máximas precipitaciones diarias entre los años 1984 y 2015 (32 años), con sus respectivos valores. A simple vista puede apreciarse la importancia del evento considerado en la serie histórica, ubicándose en segundo lugar luego de la lluvia que provocó la histórica gran inundación que afectó a toda esa región, y en particular al partido de Trenque Lauquen (además de Carlos Casares, Pehuajó, 9 de julio y otros).

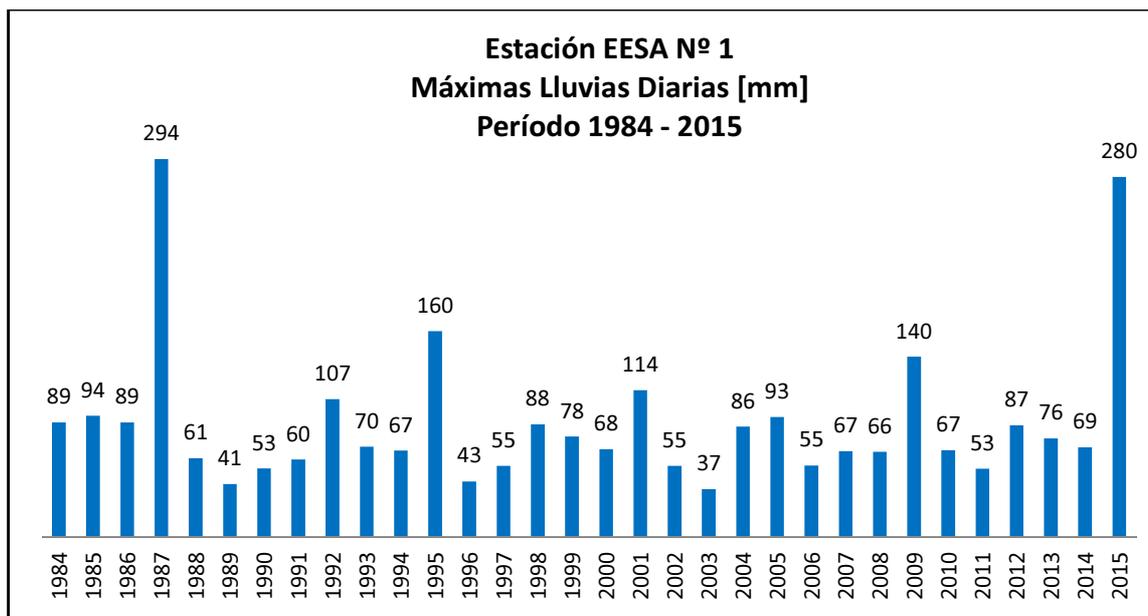


Figura 5-1: Máximas precipitaciones diarias. Período 1984 – 2015. Fuente EESA Nº 1

Este primer análisis determina que se no se ha tratado de un evento menor, sino que por el contrario, ha sido de magnitud relevante.

Pero la cantidad (longitud del período registrado) y calidad de los datos recibidos permitió hacer un análisis más exhaustivo de los mismos, e incluso compararla con otras series de datos registrados en otras estaciones.

En este sentido, se trabajó con la serie Trenque Lauquen, la cual proviene de datos obtenidos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y cuenta con una longitud continua de 105 años de registro (1911-2015). Estos datos fueron adoptados por el Plan Maestro del río Salado (PMI) y provienen de elaboraciones rigurosas, en cuanto a chequeo de consistencia y completamiento de faltantes (ambos en base a datos de estaciones cercanas). La misma fue utilizada y verificada por la UIDET Hidrología y por consultoras privadas.

Se cuenta entonces con información propia y cercana (40 km) a la localidad de 30 de Agosto, con registros que se comparten en el mismo período.

5.1 ANÁLISIS DE DATOS MENSUALES

En primera instancia se trabajó con datos de paso mensual, y es así que en la Tabla 5-1 pueden observarse los valores de precipitación máxima y promedio mensual, por cada mes, en la estación meteorológica de 30 de Agosto (EESA Nº 1). En la misma Tabla se indica también el promedio de las precipitaciones mensuales de todo el período (1984 – 2015).

Tabla 5-1: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación EESA Nº 1

Estación EESA Nº 1 – Período 1984-2015											
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pmedia	90,2	130,6	79,3	36,0	18,7	23,8	28,6	61,9	89,9	103,3	90,2
Pmáx	326,8	501,5	255,8	181,0	117,0	159,0	106,6	148,8	259,1	209,5	235,5
Pprom	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3	71,3

En la Tabla 5-2 se muestran los mismos resultados pero para la serie de registros de la estación Trenque Lauquen.

Tabla 5-2: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación Trenque Lauquen

Estación Trenque Lauquen – Período 1911-2015											
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pmedia	174,8	112,7	127,4	62,5	64,7	26,7	28,9	28,2	54,6	104,7	90,6
Pmáx	662,8	436,9	535,9	243,0	275,7	182,2	168,7	130,3	208,0	359,3	322,9
Pprom	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3

A continuación se observa, en la Figura 5-2 siguiente, la misma información anterior pero en forma gráfica.

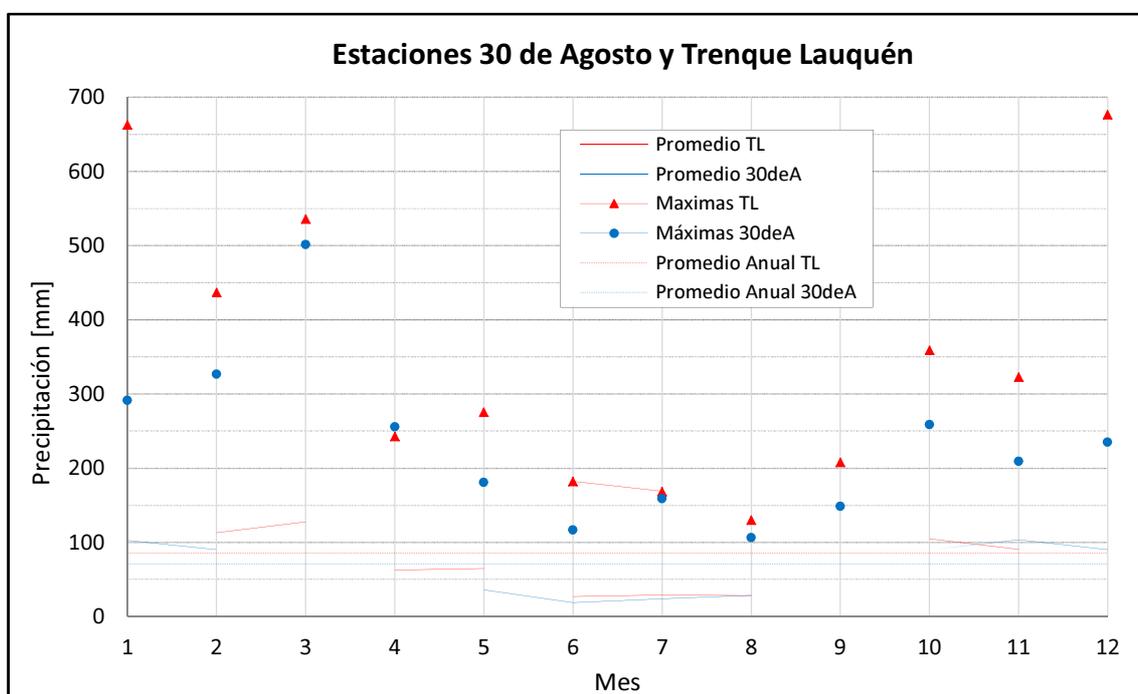


Figura 5-2: Análisis datos mensuales. Período 1984 – 2015. Fuente EESA Nº 1

De la Figura se desprende que los datos de Trenque Lauquen tienen un promedio levemente mayor a los de 30 de Agosto, las tendencias de los promedios mensuales son similares, y los valores extremos de la serie de Trenque Lauquen superan ampliamente a los de 30 de Agosto, lo cual puede asignarse a la mayor longitud de registro.

5.2 ANÁLISIS DE DATOS ANUALES

En la Figuras 5-3 y 5-4, se muestran los gráficos realizados a partir del procesamiento de los datos anuales.

En la primera de ellas, Figura 5-3, se observa la serie de precipitaciones anuales de Trenque Lauquen, en la cual, a partir del año 1985, se realiza lo mismo para los datos de la estación 30 de Agosto. En la siguiente, Figura 5-4, se extrae de la anterior el período común 1984-2015, y para cada serie se agrega la media móvil a 5 años, es decir el promedio de los

valores de los 5 años continuos en relación al año central que se considera. Dicho valor se ubica en el centro (año 3) de período en correspondencia con dicho año.

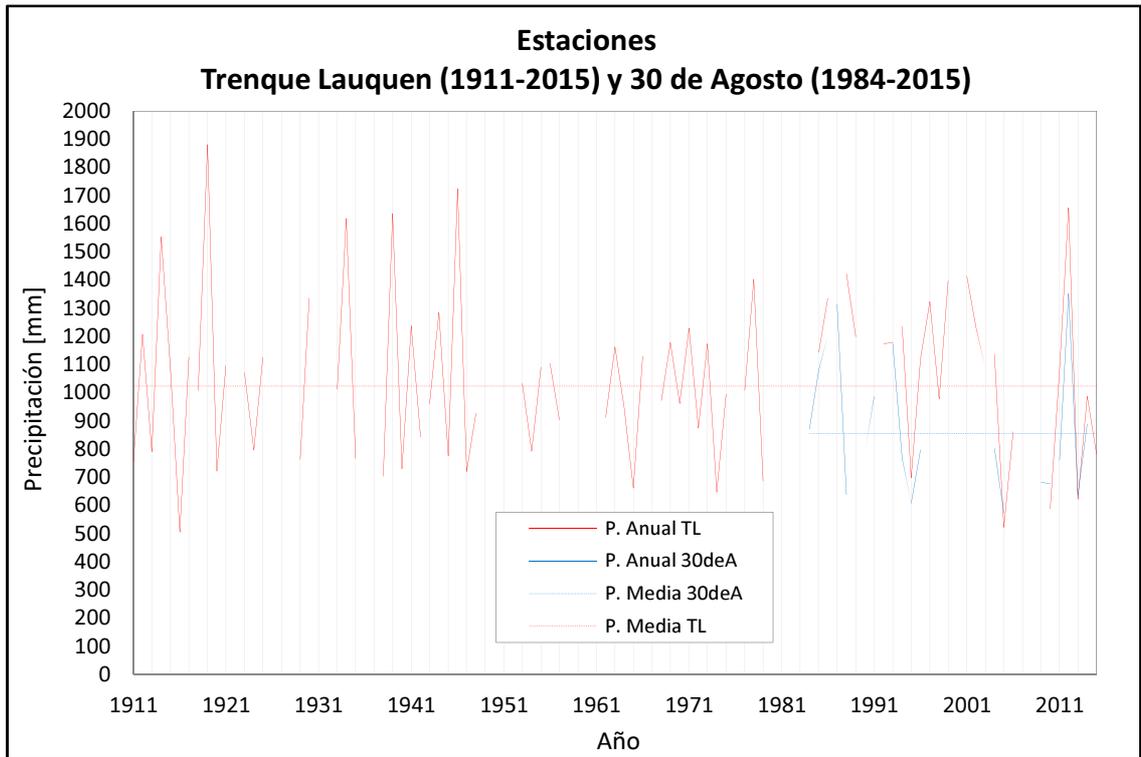


Figura 5-3: Análisis datos anuales. Comparación estaciones SMN y 30 de Agosto

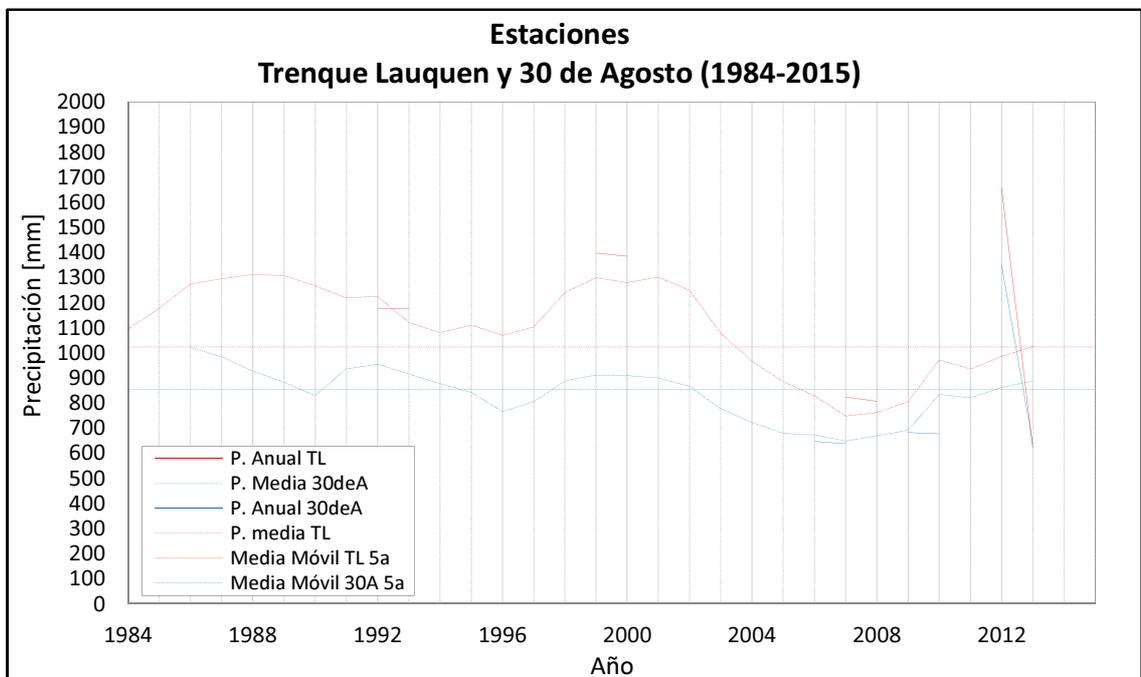


Figura 5-4: Análisis datos anuales. Comparación período común estaciones SMN y 30 de Agosto

Se observa que las mediciones de Trenque Lauquen proporcionan un promedio mayor al de 30 de Agosto.

A partir de los gráficos anteriores resulta interesante hacer las siguientes observaciones:

Las medias móviles permiten observar una serie de años hidrológicos con mayor o menor volumen de agua precipitada. De esta forma, se puede determinar la tendencia de períodos húmedos o secos. En particular, el evento del 2 y 3 de febrero del 2015 que ocasionó la inundación de 30 de Agosto, se ubica hacia el final de lo que parece un período seco, dando esto una primera idea de lo aislado de la ocurrencia de tal evento.

Se ve claramente una diferencia entre los valores de una serie y otra. La tendencia seguida por ambas es similar, sobre todo en las medias móviles, si bien se observan algunas diferencias marcadas en algunos años particulares de la serie anual. Lo interesante es observar cómo la serie de Trenque Lauquen se encuentra “paralela” a la de 30 de Agosto, con una diferencia, en los promedios, de 169mm (1024mm y 855mm respectivamente). Esto hace pensar que puede haber algún error en las mediciones, ya que al estar separadas tan sólo 40 km, en los promedios anuales de 32 años la aleatoriedad de las lluvias deberían producir una diferencia menor entre las precipitaciones en uno y otro punto. En este sentido podrían pensarse que una estación estaría midiendo por exceso, o la otra por defecto, o ambas.

5.3 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS

Con el objeto de poder asignarle un período de retorno (o recurrencia) a la precipitación del 2 y 3 de febrero de 2015, se realizó un análisis mediante diferentes distribuciones que permiten, a partir de considerar los valores máximos de una serie, estimar dicho período.

Es así que para la realización de los siguientes análisis, se utilizó la precipitación máxima diaria anual, es decir, la mayor precipitación acumulada en 24 horas que se registró en el año. Se tiene así una serie de 32 datos para el caso de 30 de Agosto (EESA Nº 1) y 105 para Trenque Lauquen.

Las distribuciones ensayadas fueron la de Gumbel y Pearson III, cuyos parámetros, obtenidos de cada una de las series de datos, se muestran en la Tabla 5-3, siguiente:

Tabla 5-3: Análisis de precipitaciones mensuales. Estación EESA Nº 1

Parámetro	Serie	Serie
	Trenque Lauquen	EESA Nº 1
Promedio	119,8 mm	89,4 mm
Desvío estándar (S)	68,65 mm	58,31 mm
Coficiente de Asimetría (Cs)	2,86	2,65

A modo de ejemplo, los resultados obtenidos de la aplicación de ambas distribuciones, en la serie de datos de la EESA Nº 1 se muestran en las siguientes Figuras 5-4 y 5-5.

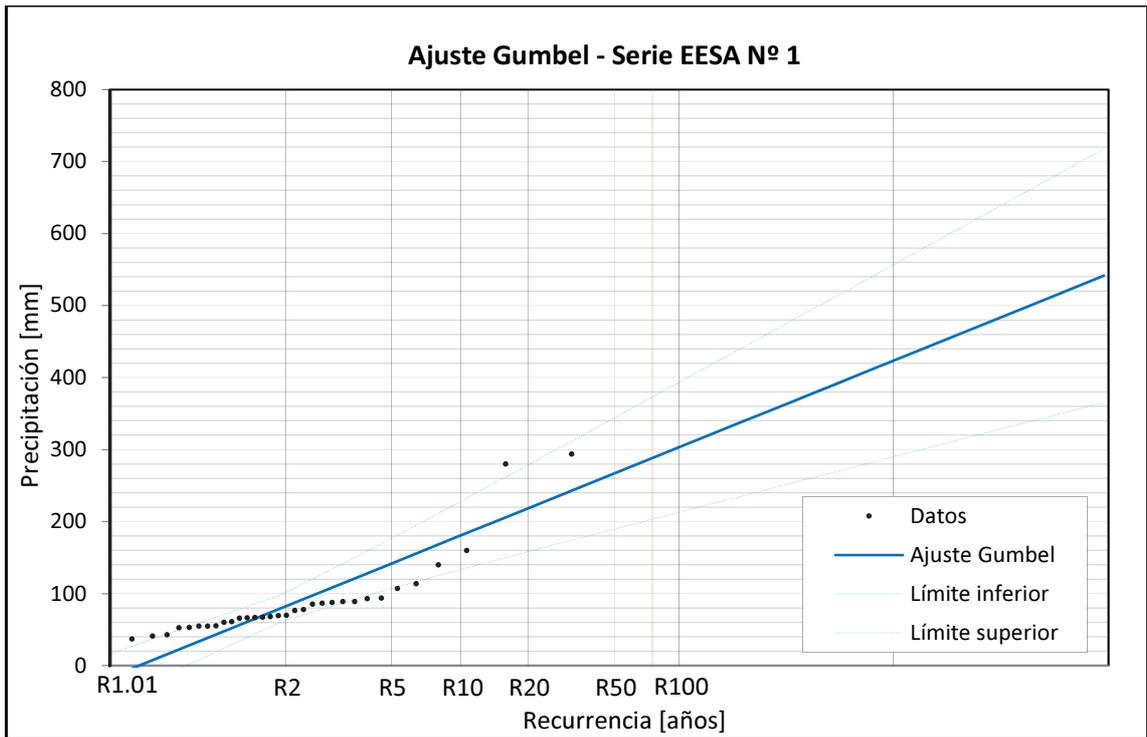


Figura 5-5: Ajuste Gumbel serie EESA Nº 1, 30 de Agosto

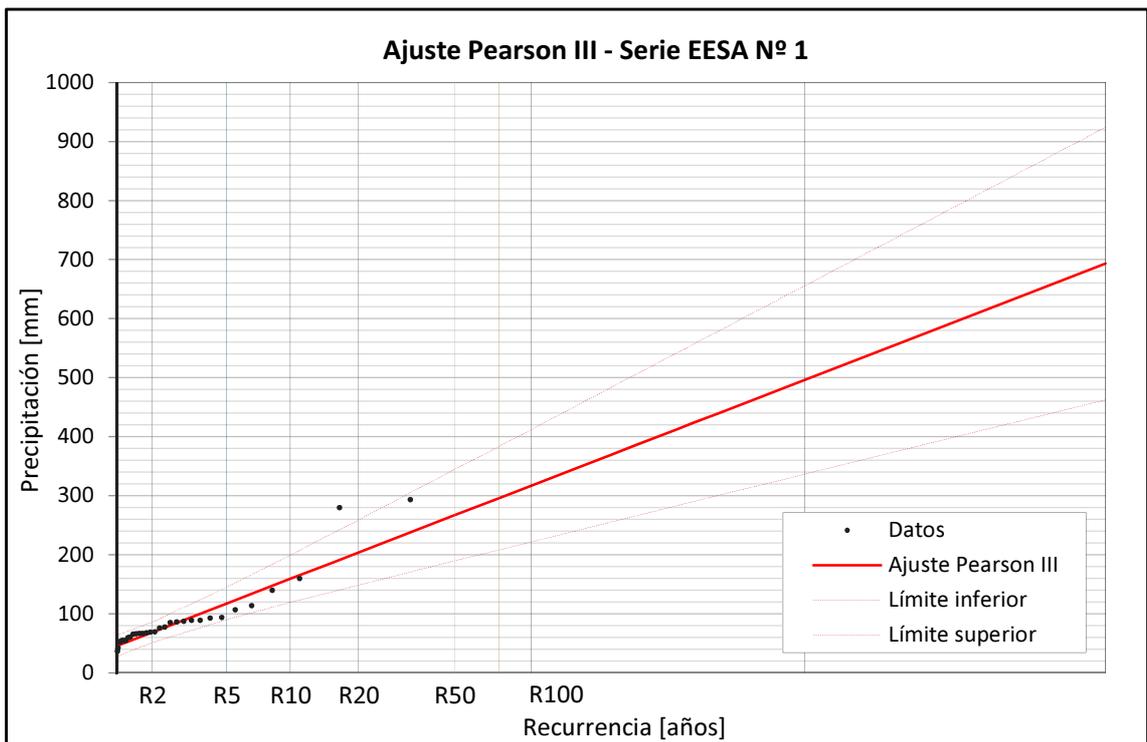


Figura 5-6: Ajuste Pearson III serie EESA Nº 1, 30 de Agosto

Las líneas a uno y otro lado de la tendencia central corresponden a los intervalos de confianza de la distribución, que en este caso se tomó del 95%. El mismo tratamiento se realizó para la serie de datos de la estación Trenque Lauquen.

Posteriormente, realizados los correspondientes “test de bondad”, que permiten comparar ambas series y determinar cuál es la que mejor ajusta con los datos observados, se concluyó, que en este caso, la mejor distribución resulta ser la de Pearson III.

5.4 RECURRENCIA DEL EVENTO DEL 2 Y 3 DE FEBRERO DE 2015

Realizado el análisis descripto en el punto anterior, se está en condiciones de evaluar cuál fue la recurrencia del evento que originó la inundación de los días 2 y 3 de febrero de 2015. Los resultados se resumen a continuación:

- Gumbel, serie EESA N° 1: R= 68 años
- Pearson III, serie EESA N° 1: **R= 60 años**

El valor finalmente adoptado corresponde a Pearson III, esto es, se estima un período de retorno de 60 años.

Ahora bien, si la tormenta acaecida en 30 de Agosto (280 mm), la contrastamos con la serie de Trenque Lauquen, que dada su longitud (105 años de registro) resulta más representativa desde el punto de vista estadístico, los resultados son:

- Gumbel, serie Trenque Lauquen: R= 30 años
- Pearson III, serie Trenque Lauquen: R= 28 años

Entonces, si tomamos en consideración el registro de la EESA N° 1, obtenemos una recurrencia de 60 años, a partir de una serie de 32 años de registro. Si la misma precipitación, la llevamos a una serie de 105 años de longitud, de una estación cercana a la anterior y de similares condiciones climatológicas, lo que permitiría correlacionarlas, obtenemos una recurrencia de 28 años.

El análisis realizado permitió obtener una recurrencia para el evento que originó la inundación, que si bien podría variar entre 28 y 60 años, puede considerarse que es un evento extraordinario, frente a lo cual cualquier sistema de desagües pluviales se verá superado en su capacidad.

Por último, es importante destacar la posibilidad de haber podido realizar este análisis gracias a la toma de datos meteorológicos que realiza la EESA N° 1 “Manuel Belgrano” de 30 de Agosto, desde hace más de 32 años.

5.5 ANÁLISIS DE DATOS FREÁTICOS

Los datos de niveles freáticos provistos por la EESA N° 1 también fueron analizados, con el objetivo de poder relacionarlos con el funcionamiento del sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto. En este sentido cabe destacar que este dato está ligado al nivel del pelo libre del agua en los reservorios, lo que determina su volumen útil, por lo cual era necesario profundizar su análisis.

En la Figura 5-7 siguiente, se muestra la profundidad promedio de cada mes del año, en el período 2005 – 2015, junto con el promedio (2,747 m) de toda la serie de datos, y los datos más relevantes de dicha serie se muestra en la Tabla 5-4.

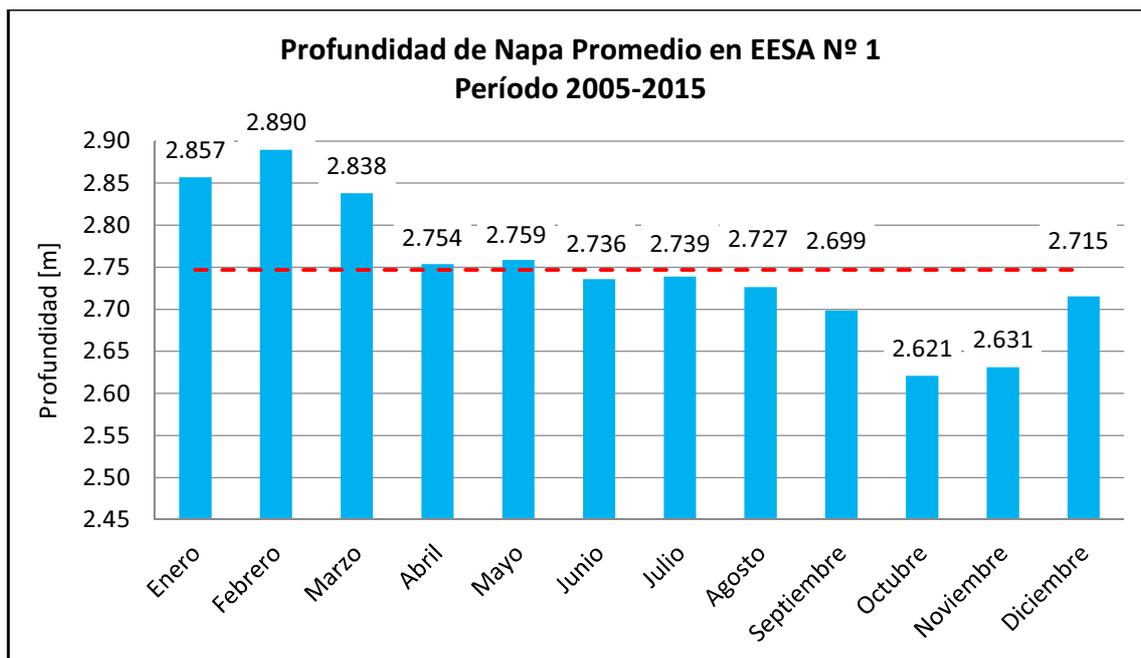


Figura 5-7: Profundidad de napa promedio mensual. Período 2005 – 2015. Fuente EESA Nº 1

Tabla 5-4: Serie profundidad de napa. Datos relevantes. Fuente EESA Nº 1

Serie profundidad de napa (2005 – 2015)	
Datos Relevantes)	
Máxima profundidad de la serie (napa baja)	3,524 m
Mínima profundidad de la serie (napa alta)	1,458 m
Profundidad promedio de la serie	2,747 m
Cota referencia boca freatímetro EESA Nº 1	100,08 m
Cota profundidad promedio de la serie	97,33 m

Si bien la diferencia entre los promedios mensuales no es muy elevado, esto es, del orden de los 0,30m (2.890 en febrero y 2,621 en octubre), la diferencia entre el máximo (napa baja) de 3,524 m y el mínimo (napa alta) de 1,458 m de la serie sí lo es, lo que marca su amplio rango de valores esperables.

En este sentido, en la Figura 5-8 se muestran los máximos y mínimos de la serie correspondientes a cada mes del año, junto con su promedio anual. Las profundidades máximas (napa baja) se encuentran menos variables entorno a los 3,50m, con un promedio de 3,44m. En cambio los mínimos (napa alta) verifican mayor variación, entre 1,50 y 2,0m, con un promedio que ronda en 1.75m. Estas profundidades promedio máximas y mínimas, llevadas a cota IGN toman los valores 96,64m y 98,33m respectivamente.

Asimismo, en la Figura 5-9 se muestran los puntos donde fue relevada la cota de pelo de agua en la recorrida de campo del 7 y 8 de septiembre de 2016, mencionada en puntos anteriores, junto con la cota IGN resultante del relevamiento. En dicho trabajo se tomó especialmente las cotas en reservorios y estaciones de bombeo, y se las comparó con la registrada ese mismo día en el freatímetro de la EESA Nº 1, obteniéndose buenas correlaciones.

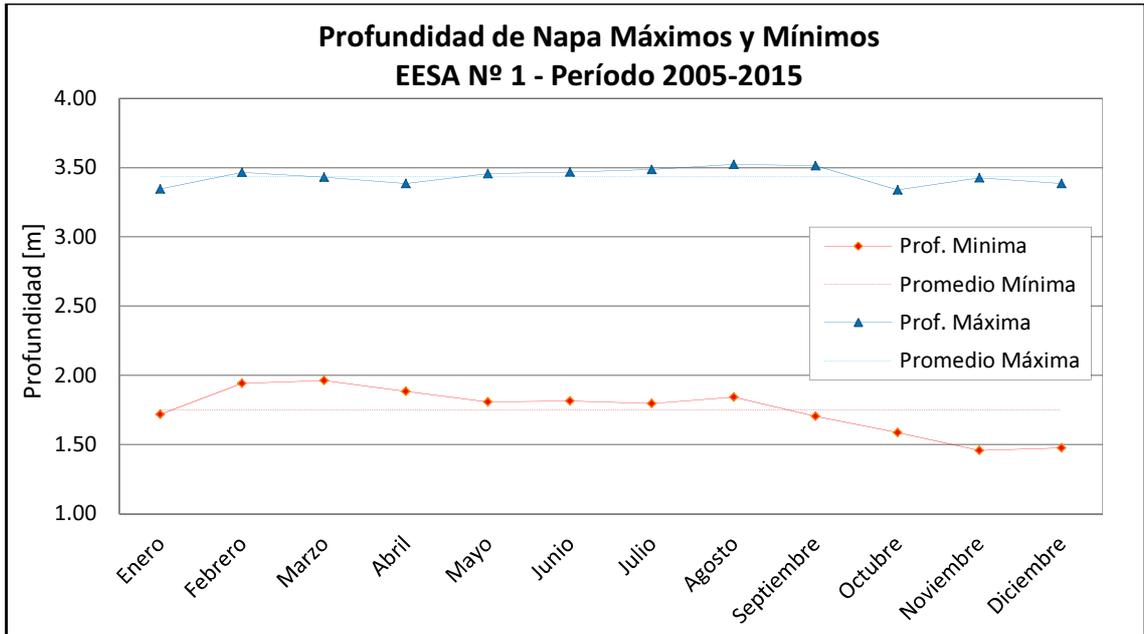


Figura 5-8: Profundidad de napa máximos y mínimos. Período 2005 – 2015. Fuente EESA Nº 1

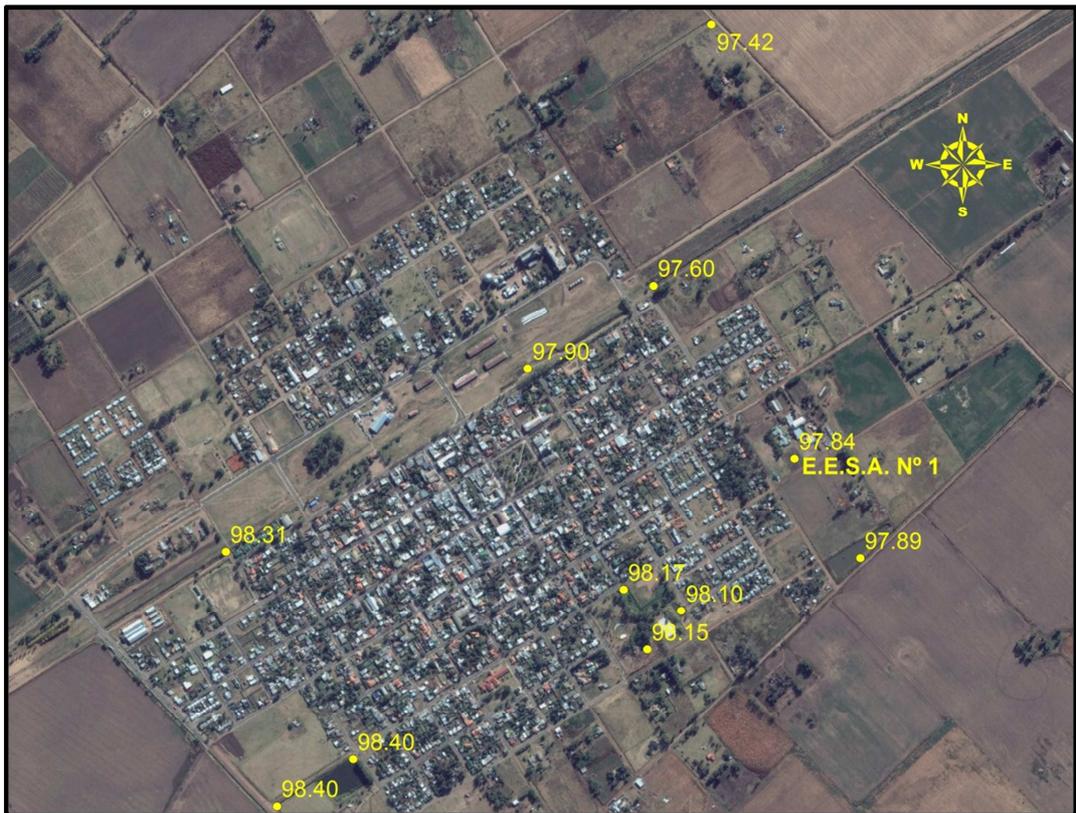


Figura 5-9: Puntos relevados de cota de pelo de agua

De la Figura 5-9 se desprende que la profundidad de napa responde a la misma dinámica del escurrimiento superficial, esto es, en sentido NE (hacia el Complejo Hinojo Las Tunas), lo cual era de esperarse dada la caracterización regional descrita anteriormente.

Del trabajo de campo también se desprende que al momento de realizar el relevamiento topográfico, la napa se encontraba por encima de su valor medio histórico de los últimos diez

años (2005-2015) en aproximadamente 0,51m, obtenido como la cota medida 97,84m IGN y la media de los registros de la EESA N° 1, 97,33m IGN. Esta diferencia será tomada en cuenta para establecer las cotas de referencia del nivel del pelo de agua a ser utilizada en la modelación de los reservorios y estaciones de bombeo.

6 HIDROLOGIA SUPERFICIAL

6.1 CUENCAS DE APORTE SUPERFICIAL

Con la información planialtimétrica recopilada, ampliada y ajustada se trazaron las cuencas de aporte pluvial a nivel de cada esquina del casco urbano. Este trazado de cuencas, que es el mismo considerado en el modelo para la generación de los caudales, permitió determinar los puntos donde se concentran las principales descargas.

Estos puntos se obtuvieron trazando las “envolventes” (o macro cuencas) de esas cuencas a nivel de esquina que, ya sea por la topografía o la existencia de conductos pluviales, desaguan hacia un mismo punto o sector. El trazado final de esas áreas se muestra en la Figura 8-1 siguiente.

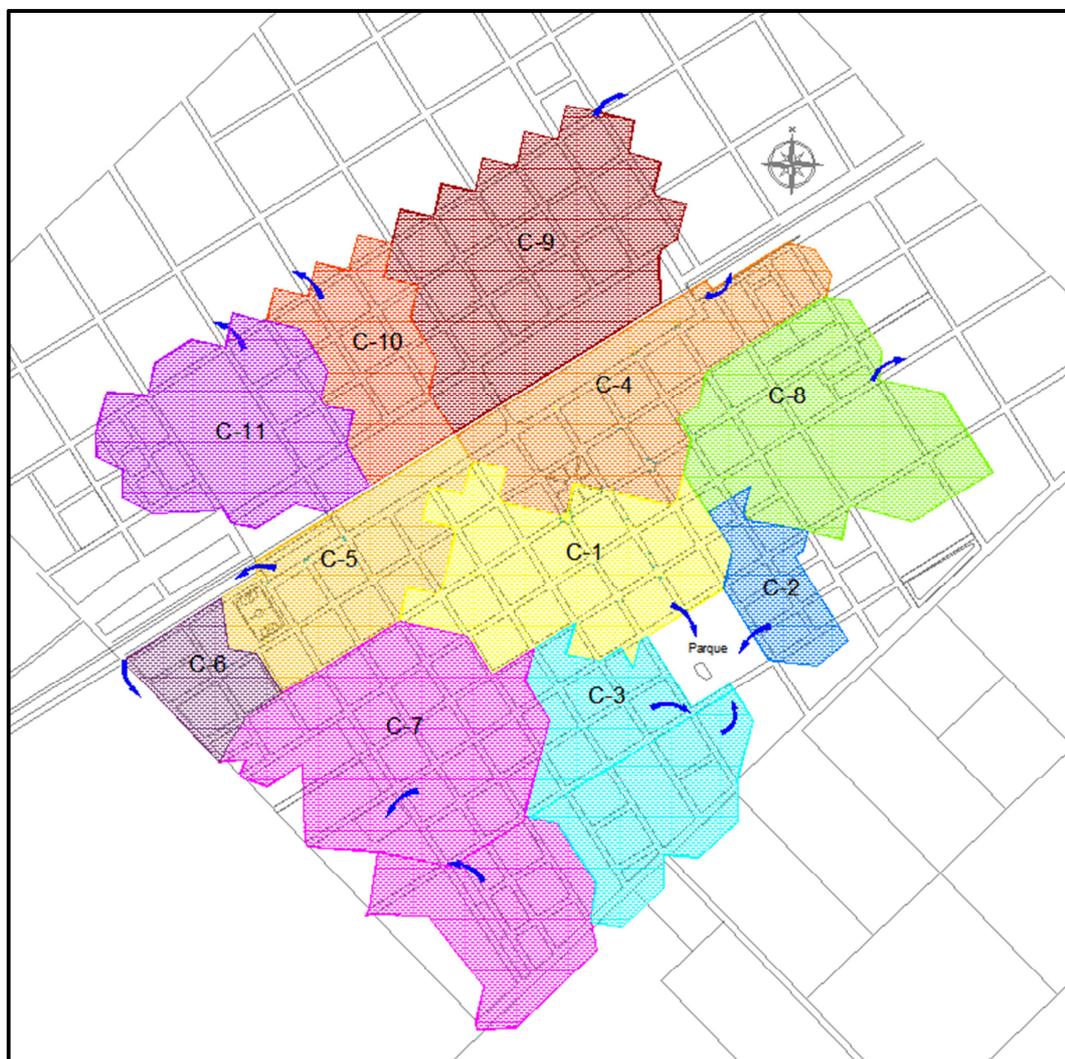


Figura 6-1: Áreas de aporte y puntos principales de descarga

De este análisis se detectaron 11 cuencas según se describen en la Tabla 6-1, las cuales junto con su punto de desagüe, se indican a continuación:

Tabla 6-1: Identificación de macro cuencas urbanas

Identificación de macro cuencas urbanas		
Cuenca	Tamaño [ha]	Punto de desagüe
1	23,4	Reservorio Parque
2	6,2	Reservorios Parque
3	23,0	Esquina A. del Valle y Liniers
4	22,2	Esquina E. del Campo y Urquiza
5	16,3	Reservorio Lavalle y Caseros
6	6,5	EB. Tronque y Sarmiento
7	43,4	Reservorio Caseros y Dr. Eguiguren
8	25,3	Esquina de Dr. Torres y M. Moreno
9	30,8	Reservorio E. del Campo y J. Mármol
10	12,4	Esquina J. Mármol y P. Piovesan
11	21,2	Esquina Mitre e Independencia

El diagnóstico de funcionamiento hidráulico y el tratamiento a dar a cada una de estas cuencas serán expresados en el punto “Escenarios modelados. Resultados” del presente estudio.

El tiempo de concentración (T_c) de las macro cuencas se obtuvo a partir de ensayar diferentes expresiones clásicas para su determinación (SCS, Clark, MR Generalizado, entre otras), dando como resultado en todos los casos, tiempos de viaje del escurrimiento comprendidos entre 45 minutos y una (1) hora. Este T_c es utilizado posteriormente en la identificación de la tormenta de proyecto.

Por su parte, el modelo SWMM utilizado para la determinación de los escurrimientos superficiales calcula internamente el tiempo de concentración de cada cuenca, (en este caso a nivel de esquina) a partir de los parámetros de las cuencas y su uso del suelo.

6.2 ESTUDIO DE LLUVIAS — TIEMPOS DE RETORNO

Para establecer los lineamientos y criterios del estudio, se ha tenido como referencia el Manual para el “Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano”, de la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DIPSOH, hoy DPOH), aprobado por el poder ejecutivo provincial en el año 2006 y de uso obligatorio en el ámbito de la provincia de Buenos Aires.

En particular en el Apéndice 1 del Anexo B “Los estudios hidrológicos y las soluciones estructurales”, se presenta el estudio de Regionalización de las Lluvias Intensas en Argentina, como herramienta para la estimación de las Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF). En base a este trabajo se elaboraron las tormentas o precipitaciones de proyecto utilizadas en la modelación.

De la aplicación de la metodología propuesta en dicho trabajo, se obtuvo que las intensidades de precipitación (I) correspondientes a distintas duraciones (D) y recurrencias (R , o frecuencias), son las que se resumen en la siguiente Tabla 6-2, para precipitaciones de 5 minutos de duración hasta 24 hs (1.440 min), y un rango de recurrencias compatibles con el diseño de desagües urbanos (2 y 5 años) hasta eventos extraordinarios (50 y 100 años).

Tabla 6-2: Relación I-D-R

Duración [min]	Intensidad [mm/h]					
	Recurrencia [años]					
	2	5	10	25	50	100
5	250,5	324,0	372,6	434,1	479,7	524,9
10	143,8	186,0	214,0	249,3	275,6	301,6
15	103,9	134,5	154,7	180,3	199,3	218,1
20	59,6	77,2	88,9	103,6	114,5	125,4
30	43,0	55,8	64,2	74,9	82,9	90,7
60	34,1	44,3	51,0	59,5	65,9	72,1
90	24,6	32,0	36,9	43,1	47,7	52,2
120	19,5	25,4	29,3	34,2	37,9	41,5
180	14,0	18,3	21,2	24,8	27,5	30,1
360	4,5	6,0	7,0	8,2	9,2	10,1
720	2,5	3,4	4,0	4,8	5,4	5,9
1440	250,5	324,0	372,6	434,1	479,7	524,9

En términos de precipitación la Tabla 6-2 se expresa como en la Tabla 6-3 siguiente:

Tabla 6-3: Relación P-D-R

Duración [min]	Precipitación [mm]					
	Recurrencia [años]					
	2	5	10	25	50	100
5	20,9	27,0	31,0	36,2	40,0	43,7
10	24,0	31,0	35,7	41,6	45,9	50,3
15	26,0	33,6	38,7	45,1	49,8	54,5
20	29,8	38,6	44,4	51,8	57,3	62,7
30	32,2	41,8	48,2	56,2	62,1	68,1
60	34,1	44,3	51,0	59,5	65,9	72,1
90	36,9	48,0	55,3	64,6	71,5	78,3
120	39,0	50,8	58,6	68,5	75,8	83,1
180	42,1	55,0	63,6	74,4	82,4	90,3
360	53,6	71,8	83,8	98,9	110,2	121,4
720	59,2	81,4	96,1	114,7	128,5	142,2
1440	20,9	27,0	31,0	36,2	40,0	43,7

Dado los fines del estudio, el criterio utilizado para establecer la duración de las tormentas de diseño fue el de considerar un tiempo (duración) igual al doble del mayor tiempo de concentración, con el pico de intensidad coincidiendo con dicho Tc. En efecto, se entiende como la situación más desfavorable aquella que resulta de considerar la aplicación de una tormenta del doble de duración, pero con el pico de intensidad en el centro, de manera que al producirse ese pico de precipitación la totalidad de la cuenca está colaborando en la generación del pico de caudal.

Por lo tanto, habiéndose estimado el tiempo de respuesta de la mayor cuenca en el orden de una hora ($T_c = 1,0$ hs), los hietogramas generados resultan de una duración de 2.0 hs, y cuyos valores de precipitación, obtenidos aplicando el método de Bloques Alternos con intervalos de 5 minutos y para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, se resumen en la siguiente Tabla 6-4 y Figuras 6-2 a 6-7 subsiguientes:

Tabla 6-4: Hietogramas de proyecto según recurrencia

Tiempo [min]	Precipitación [mm]					
	R = 2 [años]	R = 5 [años]	R = 10 [años]	R = 25 [años]	R = 50 [años]	R = 100 [años]
5	0,33	0,44	0,51	0,61	0,68	0,75
10	0,35	0,47	0,55	0,65	0,73	0,80
15	0,39	0,52	0,60	0,71	0,79	0,87
20	0,42	0,57	0,66	0,78	0,86	0,95
25	0,47	0,63	0,73	0,86	0,96	1,05
30	0,53	0,71	0,82	0,97	1,08	1,18
35	0,62	0,82	0,95	1,11	1,23	1,36
40	0,74	0,97	1,12	1,32	1,46	1,60
45	0,92	1,20	1,39	1,63	1,81	1,98
50	1,24	1,62	1,87	2,19	2,42	2,66
55	2,01	2,61	3,01	3,52	3,89	4,26
60	20,87	27,00	31,05	36,17	39,97	43,74
65	3,09	4,01	4,62	5,39	5,96	6,52
70	1,52	1,98	2,29	2,68	2,96	3,25
75	1,05	1,38	1,59	1,86	2,06	2,26
80	0,81	1,07	1,24	1,45	1,61	1,77
85	0,67	0,88	1,03	1,20	1,34	1,47
90	0,57	0,76	0,88	1,03	1,15	1,26
95	0,50	0,67	0,77	0,91	1,01	1,11
100	0,45	0,59	0,69	0,82	0,91	1,00
105	0,40	0,54	0,63	0,74	0,83	0,91
110	0,37	0,49	0,58	0,68	0,76	0,83
115	0,34	0,46	0,53	0,63	0,70	0,77
120	0,31	0,42	0,50	0,59	0,65	0,72

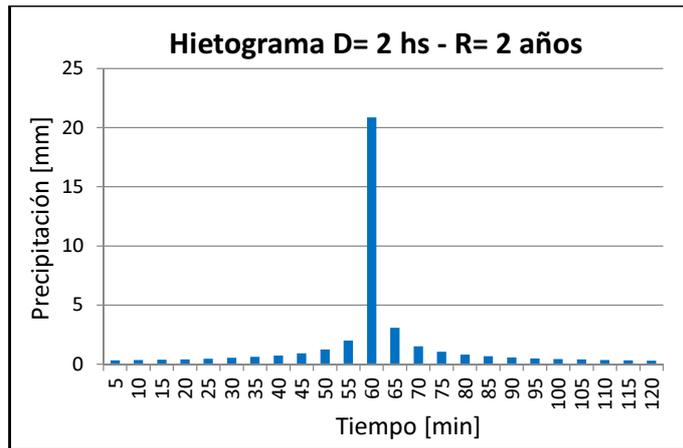


Figura 6-2: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 2 años

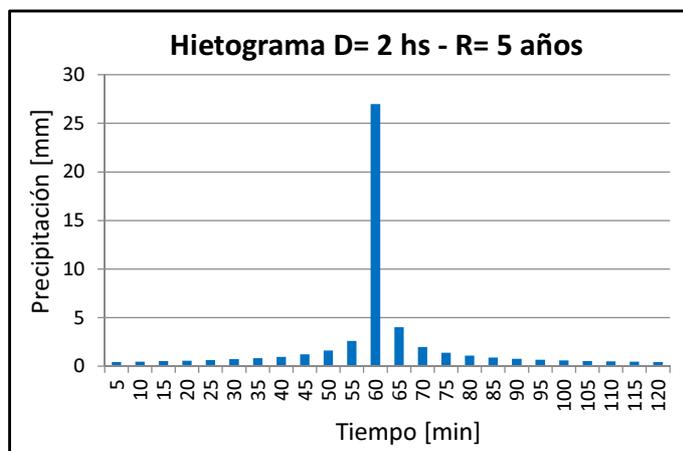


Figura 6-3: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 5 años

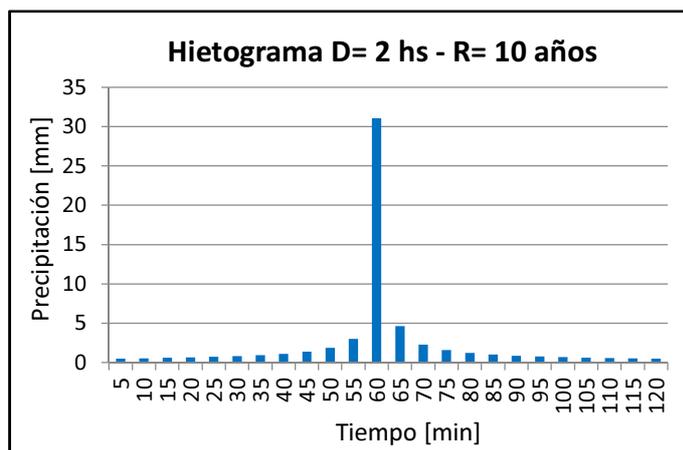


Figura 6-4: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 10 años

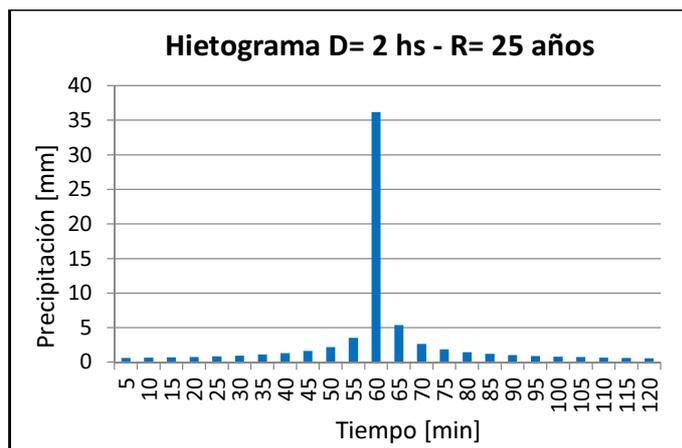


Figura 6-5: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 25 años

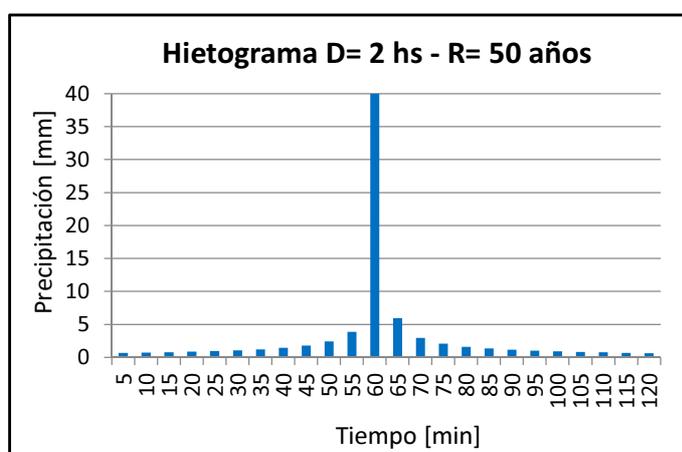


Figura 6-6: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 50 años

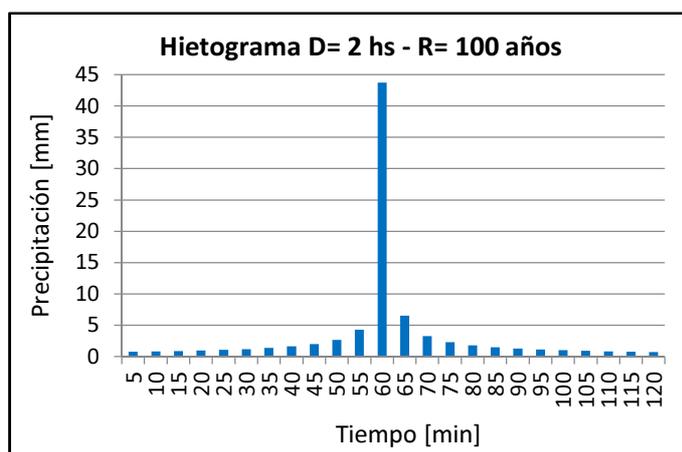


Figura 6-7: Hietograma Duración 2 hs – Recurrencia 100 años

Aunque no se contó con mayor información que la precipitación acumulada de 24 hs, mediante la misma metodología de los Bloques Alternos se ensayó una distribución temporal de la tormenta del 2 y 3 de febrero de 2015, pero en este caso de paso horario, para poder ser incorporada a los escenarios de modelación. El resultado de esa distribución se muestra en la Figura 6-8.

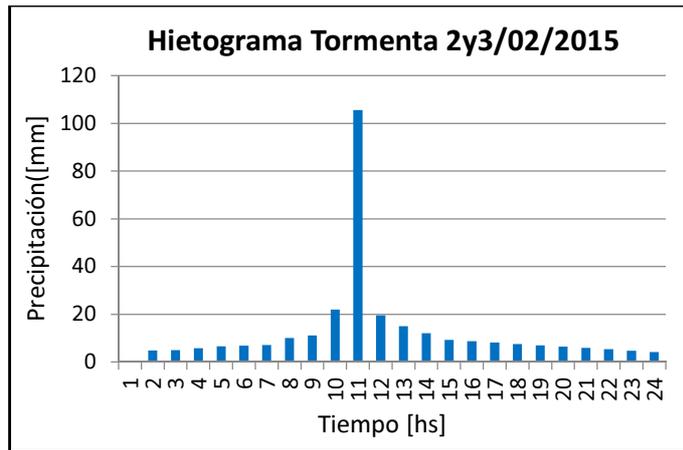


Figura 6-8: Hietograma Tormenta 2 y 3 de febrero de 2015 - Duración 24 hs

7 MODELO HIDRODINÁMICO EPA SWMM 5.1

El sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto está compuesto por diferentes elementos que funcionan de forma interconectada. Esto es, parte del escurrimiento se produce a superficie libre por calles de diferentes tipos (pavimentadas, de tierra, con cordón cuneta, etc.), y otra lo hace mediante una red de conductos de diámetros y secciones variables. Pero también forman parte del sistema, reservorios que acumulan y retardan los picos de caudal, y estaciones de bombeo (4), que impulsan esos volúmenes acumulados a canales a cielo abierto sin revestir, que finalmente conducen los excedentes pluviales hacia fuera de la planta urbana.

Esta variedad de elementos, funciones y sobre todo tipo de funcionamiento, de los componentes hidráulicos existentes, hizo necesario para la correcta evaluación del sistema pluvial, la implementación de un modelo matemático del tipo hidrológico-hidrodinámico, adecuado a estas necesidades, como es el “Storm Water Management Model” (SWMM) de la “United States Environmental Protection Agency” (EPA), modelo de licencia libre y gratuita, y de amplio uso en este tipo de estudios.

7.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El SWMM es un modelo hidrodinámico unidimensional que permite realizar la simulación de los procesos de transformación lluvia – caudal y su traslado a lo largo de la red de desagües, tanto por calles como por conductos simultáneamente, e incluso tiene la capacidad de simular distintos tipos de escurrimiento, así como efectos de remanso, escurrimientos a presión, flujo inverso y almacenamiento superficial. Los eventos de precipitación pueden considerarse en forma aislada, o en una simulación continua en período de tiempo prolongado.

En relación con la modelación de redes de desagües pluviales urbanos, el modelo SWMM permite:

- Simular redes de tamaño ilimitado
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, abiertas, cerradas y canales naturales
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios.
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática o la modelación completa por onda dinámica.
- Modelar distintos regímenes de flujo, como pueden ser remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie.

Y puede ser aplicado en:

- Diseño y dimensionamiento de componentes de la red de drenaje para prevenir inundaciones
- Dimensionamiento de estructuras de retención y accesorios correspondientes para el control de inundaciones y protección de la calidad de las aguas
- Delimitación de zonas de inundación en barrancos y cauces naturales

El Modelo dispone de diferentes módulos operativos, cuyo esquema de funcionamiento simplificado se muestra en la Figura 7-1, dentro de los cuales, los de mayor importancia para la modelación de un sistema de desagües pluviales de un área urbana se describen a continuación.

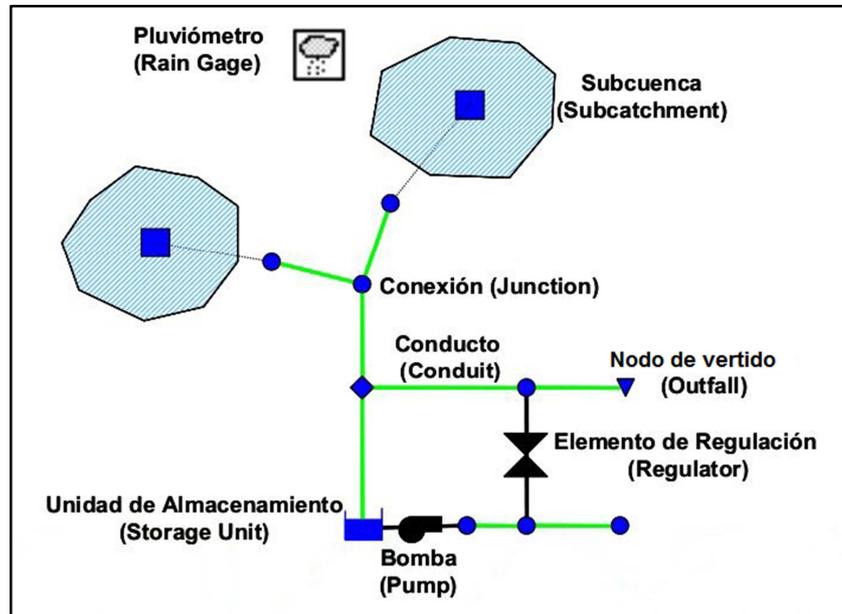


Figura 7-1: Áreas de aporte y puntos principales de descarga

7.1.1 Módulo de Escorrentía o Hidrológico

Trabaja con una serie de superficies (cuencas), las cuales al ser sometidas a un evento de precipitación generan excedentes superficiales. El módulo hidrológico es:

- *Conceptual*: se basa en una representación simplificada de los procesos físicos.
- *Concentrado*: los parámetros no varían espacialmente dentro de cada cuenca. La respuesta de cada subcuenca sólo es evaluada en el punto de concentración, sin tener en cuenta lo que sucede en su interior.
- *No lineal*: los caudales no son proporcionales a la precipitación efectiva.

Cada una de las superficies se trata como un “depósito no lineal”. Los aportes de caudal provienen de los diferentes tipos de precipitación (lluvia o nieve) y de cualquier otra superficie situada aguas arriba.

El módulo considera diferentes caudales de salida, como ser infiltración, evaporación y escorrentía superficial.

La capacidad de este “depósito” es el valor máximo de un parámetro denominado almacenamiento en depresión (hp). Cuando la profundidad del agua (h) en este depósito excede dicho valor máximo, se produce la escorrentía superficial Q (por unidad de área). El caudal de salida se obtiene por aplicación de la ecuación de Manning. La profundidad de agua (h) se actualiza continuamente en cada uno de los instantes de cálculo mediante la resolución numérica del balance de caudales en la cuenca para cada paso temporal de cálculo. El caudal de salida responde a la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{W}{n} (h - h_p)^{5/3} I_0^{1/2} \quad [1]$$

Donde:

Q : caudal de salida de la subcuenca, [m³/s]

W : ancho de la subcuenca, [m]

n : coeficiente de rugosidad de Manning

h : profundidad del agua, [m]

h_p : profundidad de la retención superficial, [m]

I_0 : pendiente de la cuenca

La ecuación del depósito no lineal se establece resolviendo el sistema de ecuaciones que constituyen la ecuación de continuidad y la ecuación de Manning. La continuidad para cada subcuenca es:

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dh}{dt} = Ai - Q \quad [2]$$

Donde:

V : es el volumen de agua en la subcuenca ($V = A \cdot h$), [m³]

h : es la profundidad de agua, [m]

t : es el tiempo, [s]

A : superficie de la subcuenca, [m²]

i : intensidad de lluvia neta (precipitaciones menos infiltración y evaporación), [m/s]

Q : caudal de salida de la subcuenca según [1], [m³/s]

Para la determinación de los excedentes superficiales producidos en los distintos sectores, el SWMM permite seleccionar el método para determinar las pérdidas, y definir de este modo la cantidad neta de lluvia que escurrirá hacia el sistema de desagüe. Los métodos de transformación de la precipitación total en precipitación neta que pueden ser utilizados por el modelo son los siguientes:

- *Método de Horton*: Se basa en observaciones empíricas y propone que la infiltración decrece exponencialmente desde un valor inicial máximo (representativo de las condiciones en que se encuentra inicialmente la cuenca) hasta un cierto valor mínimo a lo largo del evento.
- *Método de Green y Ampt*: Para modelar el fenómeno de la infiltración este método considera la existencia de un frente húmedo brusco (sharp wetting front) en el perfil que separa el suelo con un determinado contenido inicial de humedad del completamente saturado de la parte superior.
- *Método del Número de Curva (CN)*: Este método es una aproximación adoptada a partir del denominado Curve Number (CN) del "Soil Conservation Service" (SCS) de los EEUU, para estimar la escorrentía neta. La capacidad total de infiltración del suelo puede encontrarse en una tabla de Números de Curva representativa de diferentes condiciones de suelos y usos. Durante un evento de precipitación esta capacidad se

representa como una función de la lluvia acumulada y de la capacidad de infiltración restante.

Los datos de entrada requeridos para realizar la ejecución de los procesos del “Módulo Hidrológico” son:

Datos Meteorológicos

Mediante los elementos denominados Estaciones Meteorológicas (Raingage), se debe introducir el evento (o eventos) de lluvia considerado para la modelación. Estos datos se presentan en forma de intensidades de precipitación (mm/h) en intervalos fijos de tiempo y duración total de la tormenta (distribución temporal que define el hietograma de diseño), o de lámina total precipitada (mm)

Pueden utilizarse tormentas reales o hietogramas sintéticos obtenidos a partir de las relaciones entre la intensidad, duración y recurrencia (curvas I-D-R), y las mismas pueden aplicarse sobre una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio

Características de las Subcuencas

Las subcuencas son las unidades hidrológicas en que se divide el terreno para transformar la lluvia total en lluvia neta o efectiva, y conducirla hacia el punto de concentración

Las cuencas pueden dividirse en sub áreas impermeables y permeables. Las impermeables pueden dividirse a su vez en dos: uno que presente almacenamiento en depresiones y otra que no. Para caracterizar a las subcuencas debe introducirse la siguiente información

- Área de la subcuenca
- Ancho de la subcuenca. Este valor está asociado al área y a la longitud de la subcuenca y éste al tiempo de concentración
- Pendiente media de la subcuenca, obtenida como la diferencia altimétrica entre los extremos y el recorrido por calle
- Coeficiente de Manning de las zonas permeables e impermeables
- Volumen de almacenamiento o retención en la zona permeable e impermeable
- Parámetros de infiltración (según los modelos mencionados anteriormente)

Para el funcionamiento del Modelo es necesario asociara a cada subcuenca:

- Número de identificación
- Nodo al que se conecta

7.1.2 Módulo de Transporte o Hidráulico

El modelo SWMM analiza el transporte de la lámina de agua o escorrentía generada por la cuenca de aporte, a través de un sistema compuesto por conductos, canales, dispositivos de almacenamiento, bombas y elementos reguladores. El módulo hidráulico es:

- *Determinístico*: resuelve las ecuaciones completas de movimiento (Saint Venant)

- *Unidimensional*: los resultados reflejan los valores medios de los parámetros hidráulicos en cada sección utilizada para discretizar el modelo

El transporte de agua por el interior de cualquiera de los conductos está gobernado por las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, tanto para el flujo gradualmente variado como para el flujo transitorio (ecuaciones de Saint Venant). El usuario puede seleccionar el nivel de complejidad con que desea resolver estas ecuaciones. Por ello existen tres modelos hidráulicos de transporte:

- *Modelo de Flujo Uniforme*: representa la forma más sencilla de analizar el comportamiento del agua en el interior de los conductos. Para ello se supone que en cada uno de los incrementos de tiempo de cálculo considerados el flujo es uniforme. De esta forma el modelo simplemente traslada el hidrograma de entrada en el nodo aguas arriba del conducto hacia el nodo final del mismo, con un cierto retardo y cambio de forma. Para relacionar el caudal con el área y el tirante en el conducto se emplea la ecuación de Manning. Este tipo de modelo no tiene en cuenta el almacenamiento de agua en los conductos, los fenómenos de resalto hidráulico, las pérdidas de carga a la entrada y salida del conducto, el flujo inverso o el escurrimiento a presión.
- *Modelo de Onda Cinemática*: resuelve la ecuación de continuidad junto con una forma simplificada de la ecuación de cantidad de movimiento en cada una de las conducciones. Esta última condición equivale a que la pendiente de la superficie libre del agua sea igual a la pendiente del fondo del conducto, despreciando los términos de aceleraciones locales y convectivas, y el gradiente de presiones frente a la pendiente disponible. El caudal máximo que puede fluir por el interior del conducto es el caudal a sección llena determinado por la ecuación de Manning. Cualquier exceso de caudal sobre este valor en el nodo de entrada del conducto se pierde del sistema o bien puede permanecer estancado en la parte superior del nodo de entrada y reingresar al sistema cuando la capacidad del conducto lo permita. El modelo de Onda Cinemática permite que el caudal y el área varíen tanto espacial como temporalmente en el interior del conducto, originando una cierta atenuación y retraso en los hidrogramas de salida respecto de los caudales de entrada. Este modelo no considera efectos como el resalto hidráulico, las pérdidas en las entradas o salidas de los conductos, el flujo inverso o el flujo a presión.
- *Modelo de Onda Dinámica*: Este resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y, por lo tanto, teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nodos. Con este modelo es posible representar el escurrimiento a presión, de forma que el caudal que circula por el conducto puede exceder el caudal a sección llena obtenido mediante la ecuación de Manning. El modelo de transporte de la Onda Dinámica puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, el resalto hidráulico, las pérdidas de carga en la entrada y salida de los conductos, el flujo inverso y el flujo a presión. Dado que resuelve en forma simultánea los valores de niveles de agua en los nodos y los caudales en las conducciones puede aplicarse para cualquier tipo de configuración de red de desagüe, incluso en el caso de que contengan nodos con múltiples divisiones del flujo aguas abajo de los mismos o incluso mallas en su trazado.

Para resolver este sistema de ecuaciones diferenciales, este módulo utiliza para representar matemáticamente el prototipo físico, una descripción de la red en nodos

("junctions") y conductos ("links"), con elementos singulares como orificios, depósitos, vertederos, bombeos, etc. Los datos de entrada requeridos por el módulo hidrodinámico son:

- Datos Procedentes del Módulo Hidrológico
- Duración de los Incrementos de Tiempo.
 - Incremento de tiempo para el cálculo de las ecuaciones
 - Duración total de la simulación

Características de los Nodos

Los nodos son los puntos de entrada al sistema urbano de la transformación lluvia-caudal, puntos donde se conectan los conductos (sistema mayor y menor) y todas las estructuras de vinculación. Los nodos son los puntos de conexión superficie – red de drenaje. La información requerida por el programa es

- Número de identificación
- Cota
- Altura máxima. Asociado con la cota de la calle con respecto al nodo (en los nodos de los conductos de la red de desagües) y que define la profundidad de agua para la cual el agua sale del sistema menor (conductos) al sistema mayor (calles).

Características de los Conductos o Canales de Desagüe

Son las conducciones por las cuales puede escurrir el excedente superficial, es decir, las propias calles, zanjas y canales, y quedan delimitados por sus secciones y márgenes. Estas conducciones pueden atravesar varias subcuencas dentro del área de estudio, y requieren para su definición de los siguientes parámetros:

- Número de identificación
- Identificación de los nodos de entrada y salida
- Forma, que se puede dar en forma predefinida (trapezoidal, circular, etcétera) o de una forma irregular definida externamente
- Coeficiente de rugosidad de Manning
- Profundidad máxima
- Caudal inicial
- Longitud
- Desniveles con los nodos de entrada y salida.

Vertederos y Orificios

- Se definen el tipo, longitud, altura, coeficiente de descarga, y cota.

Descargas

- Representan la salida de agua del sistema. Permiten fijar las condiciones de borde a través de niveles fijos o variables en el tiempo

7.1.3 Módulo de Calidad de Agua

Además de modelar la generación y transporte de la escorrentía superficial, el SWMM puede también estimar la producción y evolución de cargas contaminantes asociadas a dicha escorrentía.

7.2 CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA MODELACIÓN

Los criterios, parámetros y datos generales, tanto sea para cuencas, nodos, calles, conductos, reservorios y estaciones de bombeo, que hacen al armado del modelo hidrodinámico, y a su adecuado funcionamiento, se indican a continuación, según cada uno de los módulos de cálculos descriptos anteriormente.

7.2.1 Módulo Hidrológico:

- Se incorporaron hietogramas de precipitación de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de recurrencia, en intervalos de 5 minutos y 2 horas de duración, obtenidos por el método de los Bloques Alternos.

Hietograma estimado para la tormenta del 2 y 3 de Febrero de 2015, obtenido también por el método de los Bloques Alternos.

- Cuencas delimitadas a nivel de cada esquina, lo que le otorga mejor precisión a los resultados y evita considerar los badenes.
- Área de cada subcuenca en hectáreas.
- Ancho de la subcuenca, obtenido como la relación entre el área de la subcuenca y el recorrido por calle más largo (dentro de la misma), desde su extremo hasta el punto de concentración (nodo).
- Pendiente media de la subcuenca, obtenida como la relación entre la diferencia altimétrica entre los extremos del recorrido por calles, y la longitud de dicho recorrido.
- Modelo de transformación de precipitación total en precipitación efectiva, el propuesto por Horton para evaluar la infiltración, discretizando a cada subcuenca según su porcentaje de área impermeable, conforme el uso de suelo (urbanizado, periurbano, rural) actual y futuro, obtenido de las imágenes satelitales y recorridas de campo.
- Coeficiente de Manning en áreas permeables 0,05 y en áreas impermeables 0,025.
- No se consideraron volúmenes de almacenamiento o retenciones tanto en área permeables como impermeables.

7.2.2 Módulo Hidráulico:

- Sistema mayor:
 - Los nodos de calle han sido identificados mediante la denominación “NS-xx” (xx: numeración ascendente desde 01 en adelante), indicando también la cota IGN correspondiente a la cuneta más baja de la esquina, para aquellos puntos de la trama urbana donde se cuenta con relevamiento de detalle de cada esquina, o centros de calle en la periferia, donde las calles aún son no pavimentadas.

- Las vinculaciones entre los nodos de calle se realizan mediante “links”, que representan a las calles urbanas, y han sido identificados “CC-xx” (xx: numeración ascendente desde 01 en adelante en forma progresiva), indicando para cada uno de ellos, longitud, ancho, rugosidad, etc.
- Las calles fueron consideradas como canales a superficie libre, con una descripción tal que representara el tipo y características de la calle simulada. Según sus características físicas, las mismas han sido tipificadas como avenidas pavimentadas, calles pavimentadas y calles de tierra, con anchos entre líneas municipales variables según el tipo, y un coeficiente de Manning de 0,015 para las avenidas y calles pavimentadas y de 0,025 para las calles de tierra.
- Las cotas de los nodos, junto con la longitud del canal (calle), definen la pendiente del mismo.
- Sistema menor:
 - Los nodos de conducto han sido identificados con el número de nodo de la esquina a la que pertenecen, pero con el prefijo “NC” (por ejemplo “NC-84”). En este caso se incorpora al nodo el dato de la cota de fondo del conducto (IGN) y la profundidad máxima.
 - Las vinculaciones entre los “nodos de conductos” son los conductos pluviales propiamente dichos, éstos también se representan mediante “links”, y se han identificado con el prefijo “CP” acompañado del número correspondiente a la calle por donde se desarrolla (ej.: CP-131).
 - Las conducciones pluviales pueden ser conductos propiamente dichos, de sección circular o rectangular, de hormigón armado y un coeficiente de Manning que en este caso se estableció en 0,015, o canales con o sin revestimiento, de sección trapecial y coeficiente de Manning de 0,013 o 0,025, según corresponda. La pendiente queda determinada por la relación entre la diferencia de las cota de los nodos inicio y fin a los que se conecta en cada tramo, y su longitud.
 - El modelo hidráulico de transporte utilizado en las diferentes corridas es el de la Onda Dinámica.
 - La vinculación entre calles y conductos ha sido simulada por medio de un vertedero lateral, que representa el ingreso al sumidero. El mismo se ubica sobre una unión entre un nodo de calle (cámara de captación) y un nodo de conducto (donde descarga). La longitud del vertedero se hace coincidir con la longitud de sumidero presente en el nodo/esquina en cuestión, y el coeficiente de descarga se estableció en 2.2.
 - El incremento de tiempo de cálculo de las ecuaciones resultó igual a 5 segundos, permitiendo que las corridas resultaran estables.
 - La duración total de la simulación fue de 48 horas, garantizando el paso de los picos de caudales y niveles en todos los conductos y nodos de la red. Esta duración de simulación, muy superior a la duración de las tormentas ensayadas (2 hs) se realizó con la intención de modelar el vaciado de los reservorios mediante la estaciones de bombeo.
- Reservorios:
 - Con base en el análisis realizado en el Punto 5.5, “Análisis de datos freáticos”, del presente Informe, la cota de fondo de los reservorios se estableció a partir de considerar la profundidad media de los últimos 10 años (2005 – 2015) en el

freatímetro de la EESA N° 1, expresada como cota IGN, y su diferencia relativa con cada uno de los cuerpos de agua que actúan como reservorios.

De esta forma, la cota de fondo de cada uno de estos elementos, se presenta en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Cota de Fondo de Reservorios

Reservorio	Cota [m IGN]
Reservorio 1	97.80
Reservorio 2	97.89
Reservorio 3	97.64
Reservorio 4	96.91
Reservorio 5	97.35

- La niveles o cotas de arranque y parada de las bombas se establecieron en los relevamientos de campo, su capacidad de bombeo se consideró constante a lo largo del tiempo e igual a 50.000 litros/hora, y los dos equipos motobomba que integran las estaciones de bombeo (4 en total), funcionando simultáneamente.

7.3 MODELO SWMM PARA 30 DE AGOSTO

En base a todo lo indicado en los puntos anteriores, y así conformado el modelo, una vista general se muestra en la Figura 7-2, donde se puede observar cómo interpreta el modelo a la planta urbana de 30 de Agosto. Las áreas griseadas corresponden a las cuencas de aporte pluvial que desaguan a cada esquina, representadas en el modelo como un “nodo” de cálculo, y las calles y conductos como las líneas (links) que unen esos nodos.

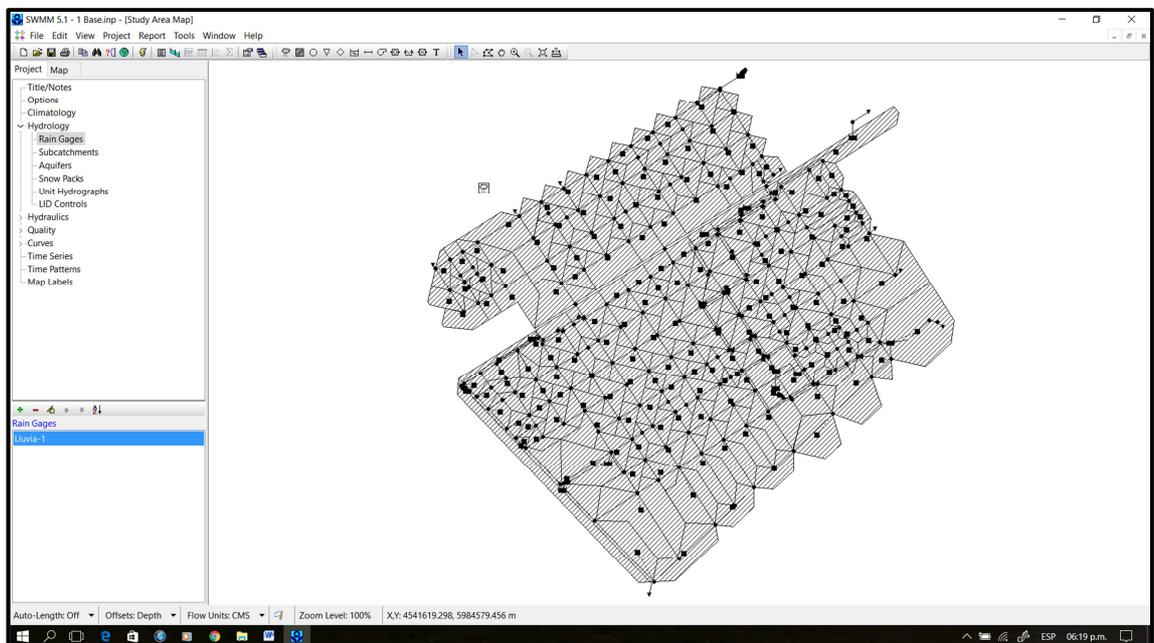


Figura 7-2: Planta urbana de 30 de Agosto con cuencas de aporte en el modelo SWMM

Un detalle de los nodos, calles y conductos, junto a sus respectivos sentidos de escurrimiento se puede apreciar en la Figura 7-3, siguiente.

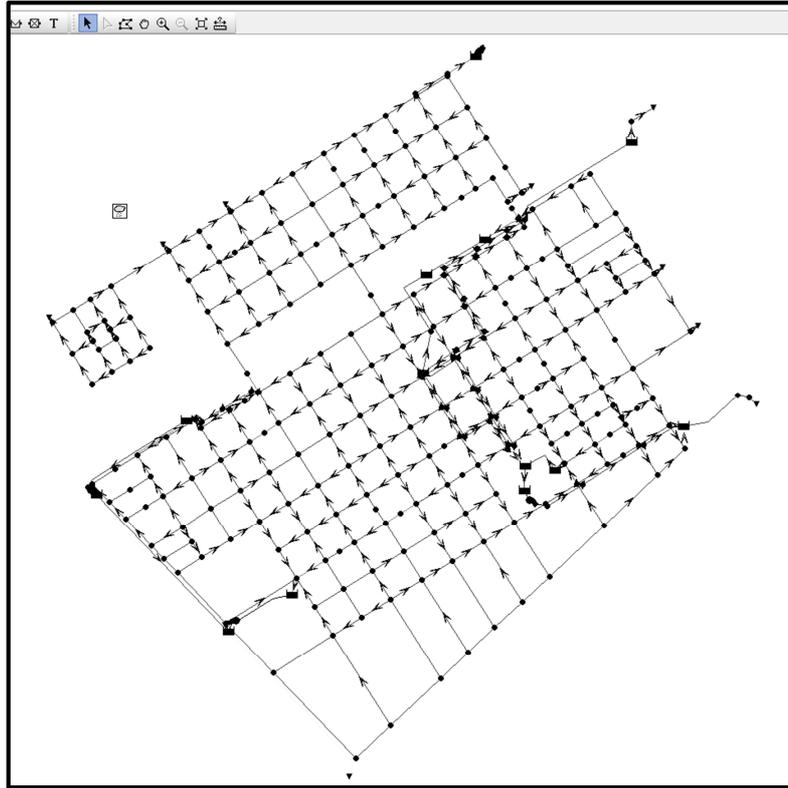


Figura 7-3: Detalle de la red con los sentidos de escurrimiento en el modelo SWMM

Una vez puesto a correr el modelo, con las diferentes tormentas de diseño consideradas, lo que sucede en cada nodo y/o calles (por ejemplo altura a la que llega el agua en calles y veredas) puede representarse en una escala de colores que ayuda a su interpretación. Una vista de dicha representación se muestra en la Figura 7-4.

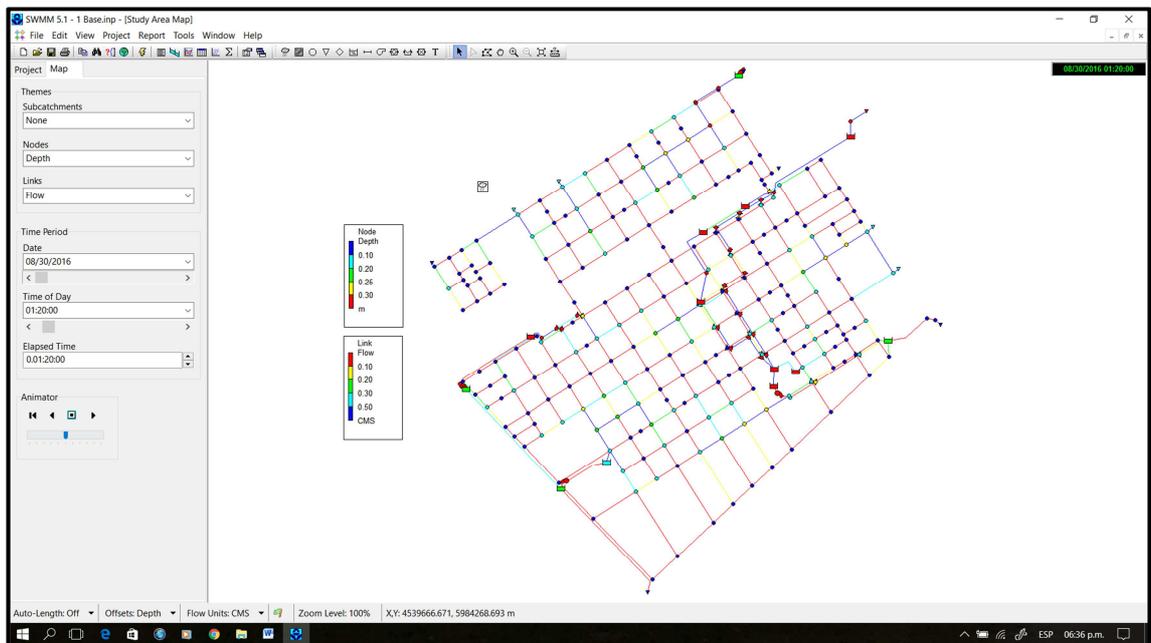


Figura 7-4: Planta urbana con niveles de agua en calles y esquinas s/ modelo SWMM

Asimismo, el modelo permite trazar los perfiles longitudinales de las conducciones que transportan el agua de una esquina a otra (nodos), ya sean éstas calles urbanas o conductos

pluviales. En la Figura 7-5 se muestra el perfil longitudinal de la calle A del Valle, entre Gral. Urquiza y Dorrego, y en la Figura 7-6, el perfil longitudinal de uno de los conductos pluviales que arrancan en la esquina de A. del Valle y General Paz, y desagua en el Parque Municipal. En color celeste se puede reconocer como varía la altura del agua a lo largo del tiempo, y verificar si la misma supera el nivel del cordón de la vereda, en el caso de las calles, o la altura del conducto o su diámetro, en el caso de las conducciones.

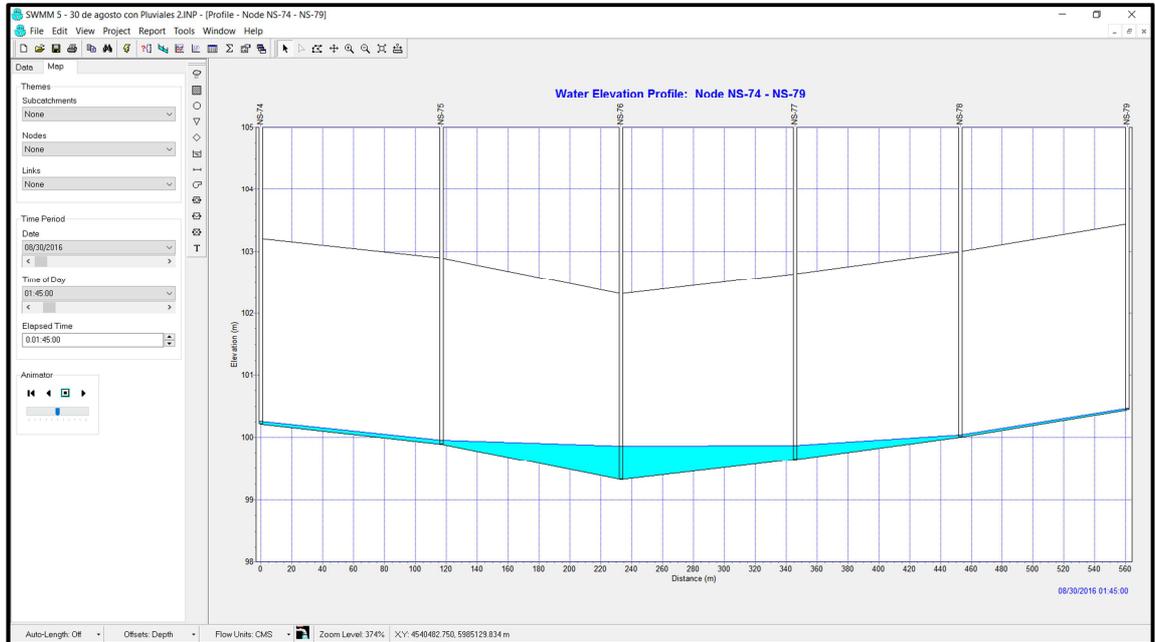


Figura 7-5: Vista del perfil de calle A. del Valle con punto bajo en esquina con Gral. Paz

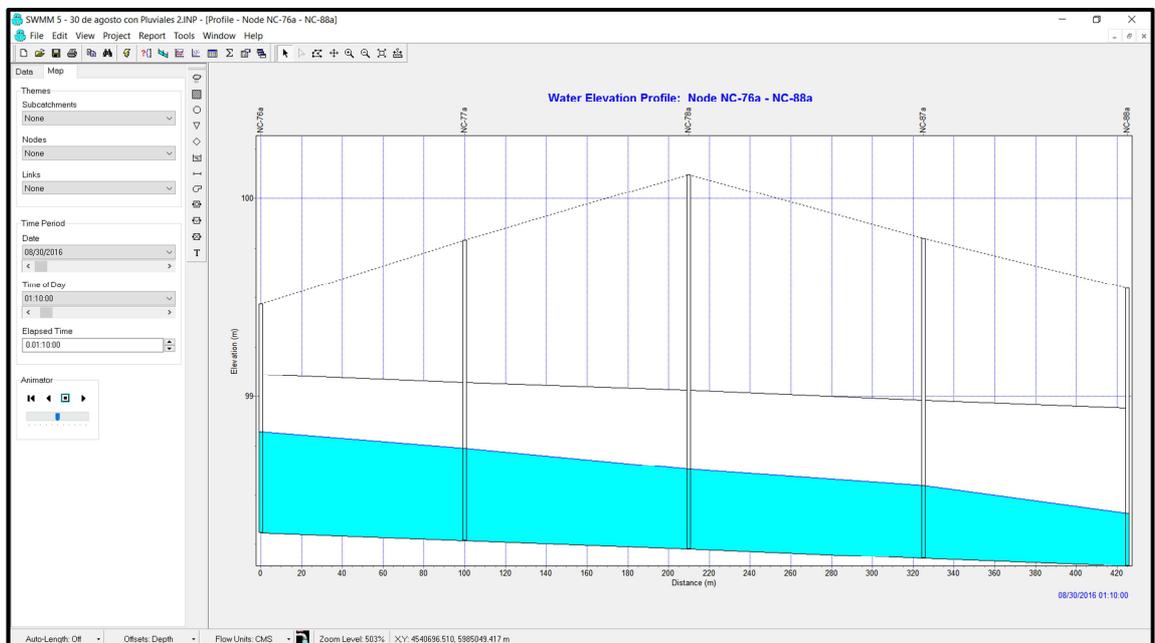


Figura 7-6: Vista del perfil del conducto pluvial desde A. del Valle y Gral. Paz hasta el P. Municipal

8 ESCENARIOS MODELADOS - RESULTADOS

En primera instancia, y con el objeto de lograr una mejor interpretación de los resultados, a continuación en la Figura 8-1, se indican los puntos más relevantes que serán mencionados posteriormente en la descripción de los escenarios ensayados.

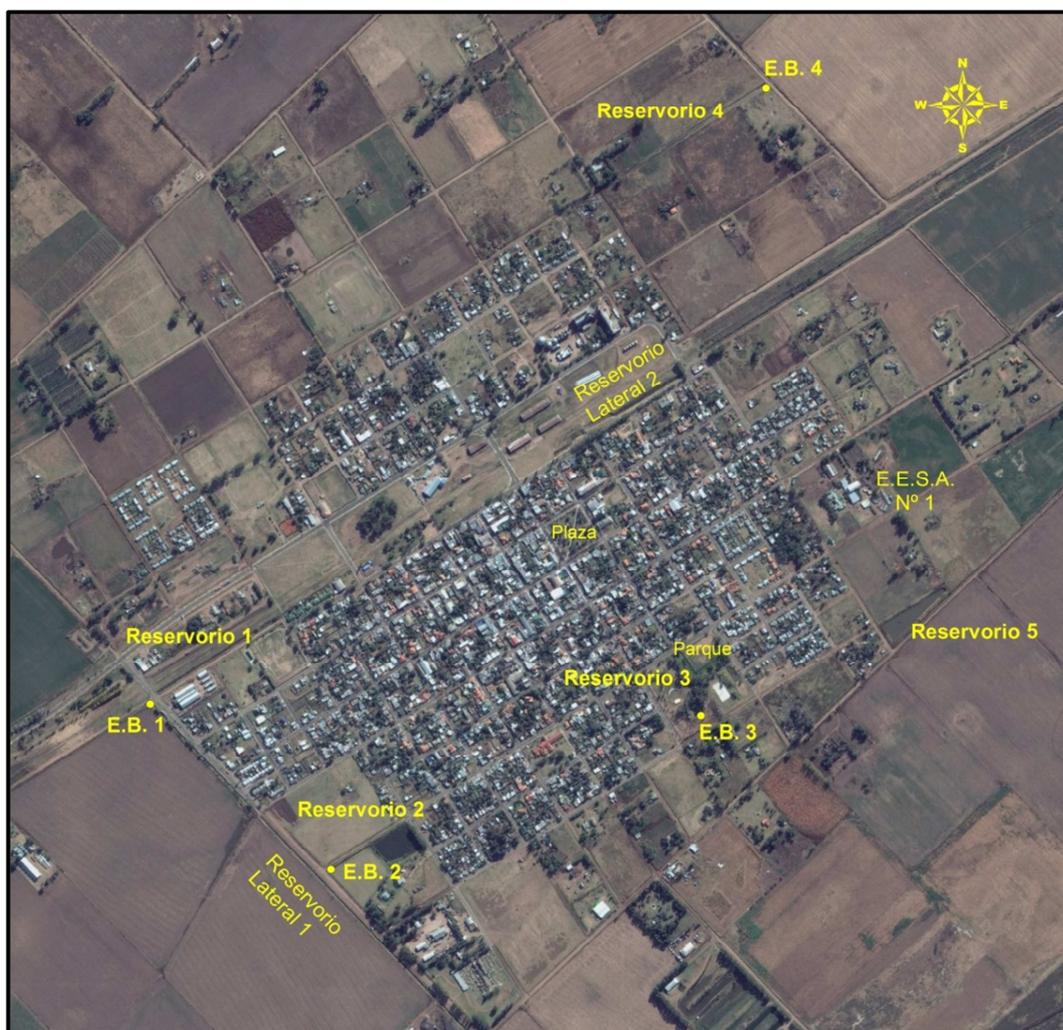


Figura 8-1: Ubicación de puntos relevantes

La ubicación y particularidad de cada uno de estos puntos son las siguientes:

- **Reservorio 1:** Por su ubicación y capacidad se consideró así al canal paralelo a las vías del ferrocarril, dentro de su préstamo, en calle Sarmiento entre Caseros y Trongue.
- **E.B. 1:** Estación de bombeo N° 1, ubicada en la esquina de Sarmiento y Trongue, que bombea el agua del Reservorio 1 hacia el canal denominado “Reservorio Lateral 1”.
- **Reservorio Lateral 1:** Se identifica así al canal paralelo a todo lo largo de la avenida F. Trongue, desde calle Sarmiento hasta F. Espain. Este canal posee grandes dimensiones, sobre todo longitudinal, pero muy poca pendiente, lo que lo convierte más en un reservorio que un canal eficiente. Su continuidad hacia el SE permite conducir parte de

los excedentes pluviales hacia fuera de la trama urbana de 30 de Agosto. Recibe los aportes de la propia avenida Trongue, más los bombeos de la E.B. 1 y E.B. 2.

- **Reservorio 2:** Es el ubicado en la esquina de Caseros y Dr. Eguiguren, de forma prácticamente rectangular. Su nivel es controlado por la E.B. 2.
- **E.B. 2:** Estación de bombeo Nº 2, ubicada en la esquina de Dr. Eguiguren y Av. Trongue. Destinada al vaciado del Reservorio 2, descarga sus efluentes en el Reservorio Lateral 1.
- **Reservorio 3:** Se identifica de esta manera a todo el reservorio ubicado en el Parque Municipal. Actualmente este reservorio está formado por tres (3) cuencos diferentes conectados por alcantarillas, pero que desde el punto de vista hidráulico funcionan como una unidad, por ello se los considera de esta manera.
- **E.B. 3:** Estación de bombeo Nº 3, ubicada en el Parque Municipal, descarga sus efluentes a una cámara ubicada en el mismo Parque, y mediante un conducto pluvial ubicado por calle Liniers, deriva el escurrimiento hacia el Reservorio 5.
- **Reservorio Lateral 2:** Se identifica así al canal ubicado en el préstamo del ferrocarril, paralelo a la calle Gral. Urquiza, entre Tucumán y Suipacha. El agua contenida en el mismo debe desaguar por gravedad (no tiene E.B.). Mediante una alcantarilla cruza la calle Suipacha, continúa por un canal paralelo a las vías (de muy baja pendiente). En su recorrido se encuentra una alcantarilla de cruce bajo las vías del ferrocarril de dimensiones reducidas.
- **Reservorio 4:** Se denomina así al cuenco que acumula los efluentes que son controlados por la E.B. 4. Este Reservorio es de forma longitudinal de ancho variable, y se desarrolla desde la esquina de José Mármol y Estanislao del Campo, paralelo a la continuación de J. Mármol, hasta al E.B. 4.
- **E.B. 4:** Estación de bombeo Nº 4, ubicada en la prolongación de la calle J. Mármol y un camino vecinal. Descarga sus efluentes a un canal que corre paralelo al camino vecinal y conduce el escurrimiento hacia un bajo ubicado al NO de la planta urbana.
- **Reservorio 5:** Es el ubicado en la esquina de Liniers e Islas Malvinas, de forma casi triangular. Recibe los efluentes de la E.B. 3, los retiene y acumula, y la descarga se produce por gravedad, hacia una importante canalización (en tramos muy profunda y baja pendiente) que se desarrolla paralela a la calle Francisco Espain (hasta el mismo camino vecinal de la E.B. 4), que conduce el escurrimiento (luego de un par de kilómetros) a un bajo natural ubicado hacia el SE de la localidad.

Se hace referencia también a un término que será utilizado para definir los grados de protección de los escenarios analizados. En este sentido se define como “Recurrencia” o “Período de Retorno”, al lapso medio de tiempo en que un determinado evento de precipitación puede ser igualado o superado. Es así que, un evento de precipitación de recurrencia 2 años es la cantidad (en mm) de lluvia caída (para el caso de 30 de Agosto) en dos horas de duración, que tienen una probabilidad de ser iguala o superada, en promedio, un vez cada dos años. A mayor recurrencia, menor probabilidad de ocurrencia de esas lluvias, lo que hace que mayores recurrencia se refieran a precipitaciones más severas. Las precipitaciones de recurrencia 2 y 5 años son las que habitualmente se utilizan para el diseño de los desagües pluviales urbanos, conforme la normativa vigente de la autoridad de control provincial.

En términos de altura de precipitación nos referimos a lluvias del orden de 39mm y 51mm y 2 hs de duración, para 2 y 5 años de recurrencia respectivamente.

Cabe aclarar que de ninguna manera estos eventos son extraordinarios, por el contrario, son ordinarios, pudiéndose manifestar varias veces en la vida útil de las conducciones pluviales, pero que determinan obras económicamente viables. Para atender eventos de mayor severidad (10, 25 o más años de recurrencia) se debe apelar a otro tipo de medidas, conocidas como No estructurales.

Respecto a las estaciones de bombeo existentes, en las alternativas ensayadas no se ha previsto la modificación de su actual configuración, en cantidad y tipo de equipos. Hoy en día su principal función está destinada al vaciado de los reservorios en un tiempo razonable, y su participación en la evacuación de los picos de caudal producto de las precipitaciones es muy menor. En este sentido, se ha avanzado en el estudio manteniendo esta condición de funcionamiento, dado que toda la logística que hace a las estaciones de bombeo se hace desde la Delegación, que conoce, maneja e incluso fabrica los equipos, pero fundamentalmente porque los receptores aguas abajo de los bombeos no tienen capacidad de absorber mayores ingresos puntuales, ni donde derivarlos, con la rapidez necesaria que una mayor intensidad de bombeo les requeriría.

A continuación se presentan los escenarios modelados, junto con sus resultados, entendidos como las obras o acciones que debería llevarse adelante para reducir anegamiento en calles y veredas de la planta urbana de 30 de Agosto. Si bien no se indican alturas de agua en calles y veredas, las consigna de modelación fue que para el instante en que se produzca el pico de caudal escurriendo en calles, el nivel de agua no sobrepase la altura del cordón, estimada en algo menos de 0.20m (15 a 18 centímetros), o un umbral similar en calles de tierra que no comprometa el ingreso de agua en las casas.

8.1 ESCENARIO 1: SITUACIÓN ACTUAL. RECURRENCIA 2 AÑOS

El primer escenario ensayado, necesario para poder realizar el diagnóstico requerido, corresponde a la situación actual del sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto, esto es, con las conducciones (conductos y canales), captaciones (sumideros), equipos de bombeo y volúmenes de reservorios, existentes en la actualidad.

Para no extender el análisis de este escenario, el detalle de las obras de conducción (tipos, dimensiones, trazas de conductos, sumideros, etc.), consideradas en la modelación de este escenario, se muestran en los Planos que acompañan el presente informe.

Los volúmenes actuales de los reservorios mencionados al inicio de este Punto se han estimado en los valores indicados en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Volumen actual estimado de Reservorios

Reservorio	Volumen Actual [m³]
Reservorio 1	3234,2
Reservorio 2	9790,0
Reservorio 3	3851,7
Reservorio 4	2892,1
Reservorio 5	4922,2

La otra variable relevante en la caracterización de los reservorios es su profundidad o altura media disponible, la cual como ya se indicó depende de la profundidad (o cota) de la napa freática. En la Tabla 8-2 se indican estas alturas estimadas para cada reservorio considerado.

Tabla 8-2: Profundidad media disponible en Reservorios

Reservorio	Altura Disponible [m]
Reservorio 1	1,57
Reservorio 2	1,10
Reservorio 3	1,49
Reservorio 4	1,27
Reservorio 5	2,18

El resultado de esta modelación determinó que en general el sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto es compatible con precipitaciones del orden de los 2 años de recurrencia (no mayores a ese umbral), verificándose acumulaciones de agua en calles que superan el cordón (altura del orden de 0,15/0,18m), pero no alcanzando niveles en vereda relevantes.

Sin embargo en puntos particulares de su trama urbana, se han constatado problemas de insuficiencia en la captación, en la conducción y/o en puntos altimétricamente bajos, que dificultan su drenaje, en ellos (y en su periferia) se verifican alturas de agua que superan los cordones e incluso niveles en vereda que comprometen el ingreso del agua a las viviendas.

Estos puntos, muchos de ellos coincidentes y confirmados con los manifestados por los propios habitantes de 30 de Agosto, se indican a continuación, donde se hace hincapié en la esquina más conflictiva pero que involucra a otras periféricas, o en la misma traza de escurrimiento superficial.

1. **Dr. Eguiguren y Caseros:** Ingreso al Reservorio 2. Involucra a las esquinas de calle Caseros, desde Laprida a F. Espain, y la de Laprida y San Lorenzo.
2. **Sarmiento y Salta:** Involucra a la esquina de Sarmiento y San Lorenzo.
3. **Gral. Paz y A. del Valle:** Involucra a la esquina de Gral. Paz y Alem.
4. **Liniers y A. del Valle:** Involucra a la esquina de Liniers y Alem, y a la calle Liniers entre A. del Valle y Tucumán.
5. **Pje. P. Sanzberro y Tucumán:** Ingreso a Reservorio 3. Involucra al barrio ubicado hacia calle Suipacha.
6. **J. Mármol y 20 de Junio:** Involucra a la calle Estrada, entre 9 de Julio y 20 de Junio, y la esquina de Primera Junta y J. Mármol.

De la aplicación del modelo surge que por más que se aumente el volumen de los reservorios las condiciones de anegamiento en estas esquinas no mejoran, determinado la necesidad de hacer alguna intervención con obras específicas, las cuales se mencionan más adelante.

Otro resultado relevante de esta modelación es que el canal denominado “Reservorio Lateral 1”, el cual recibe los bombeos de las E.B. 1 y E.B. 2 se encuentra desaprovechado, pudiendo recibir y acumular un volumen mayor de escurrimiento.

8.2 ESCENARIO 2: MEJORAS PARA 2 AÑOS DE RECURRENCIA

Este escenario se corresponde con una alternativa que se podría llamar de “obra mínima”, la cual involucra obras menores que mejorarían el funcionamiento integral del sistema de desagües, y sin bien no solucionan los puntos mencionados anteriormente, reducen en alguna medida los niveles de agua en calles y veredas.

Para ello los reservorios actuales deberían garantizar un volumen mínimo tal como el indicado en la Tabla 8-3 siguiente.

Tabla 8-3: Volumen mínimo de Reservorios

Reservorio	Volumen Actual [m ³]
Reservorio 1	3.500
Reservorio 2	10.000
Reservorio 3	4.500
Reservorio 4	3.500
Reservorio 5	5.000

Se entiende que se puede llegar fácilmente a estos volúmenes mínimos rectificando y perfilando las áreas de los reservorios actuales, regularizando sus perímetros y mejorando los canales de acceso a las estaciones de bombeo. En el caso del reservorio del Parque Municipal, habría que garantizar una buena interconexión entre los cuencos separados por alcantarillas.

En este escenario se ha considerado también:

- La ejecución de conductos de vinculación (by-pass) entre las E.B. 1 y 2, y el Reservorio Lateral 1, de manera de permitir, para altos niveles en los reservorios, el vuelco directo desde los mismos al canal, colaborando con el bombeo y permitiendo una mejor descarga. Estos by-pass se han modelado como conductos de diámetro 0.60m, cruzando la Avenida Trongue a tapada mínima.
- Que el conducto pluvial que viene desde la plaza principal por calle Santa Rosa y los sumideros ubicados sobre calle Gral. Urquiza, descarguen directamente al Reservorio Lateral 2, obra ésta que ya es tenida en cuenta por la Delegación Municipal dado las condiciones de enbancamiento del conducto paralelo a la calle Gral. Urquiza.
- Que el barrio que se está ejecutando entre las calles Caseros, Salta, Reconquista y Espain, descargue hacia el Reservorio 2, punto natural de desagüe. Se ensayaron algunas otras alternativas pero la altimetría no era favorable o la eficiencia del desagües tampoco. Para este escenario no se ha considerado una nueva conducción desde el barrio al reservorio, sino que lo hace superficialmente.
- Tareas de conservación y mantenimiento en captaciones y conducciones pluviales.

Estas condiciones se han representado en el modelo variando los volúmenes de los reservorios, agregando nuevas conducciones y ensayando su funcionamiento para diferentes diámetros, y modificando los parámetros de sección y rugosidad en canales y conductos.

8.3 ESCENARIO 3: MEJORAS Y OBRAS PARA 5 AÑOS DE RECURRENCIA

En este escenario se consideran, en forma preliminar, obras y acciones que permitan dar al sistema una capacidad de absorber o “manejar”, junto a las estaciones de bombeo existentes, un evento de precipitación del orden de los 5 años de recurrencia.

Para ello es necesario dar solución a los problemas de captación y/o conducción indicados anteriormente, y otorgar a los reservorios de un volumen adecuado para permitir captar los nuevos aportes. En este sentido es importante aclarar que para el alcance del estudio, esto es el diagnóstico del funcionamiento de la red pluvial, los resultados obtenidos, sobre todo de las dimensiones de las obras, son sólo a modo orientativo o para tener una idea del grado de magnitud de las mismas. Las obras propuestas se han orientado a buscar resolver o mejorar la situación sólo de las esquinas críticas, sin prolongar ese análisis a otros puntos involucrados. Asimismo, este escenario incorpora las obras indicadas en el anterior Escenario 2.

Para el caso particular de los reservorios, estos han sido pensados con un volumen disponible tal que puedan contener una precipitación de 2 años de recurrencia, sin necesidad de utilizar los bombeos y el by-pass. En base a esto, los volúmenes de los reservorios que se corresponden con el Escenario 3 se muestran en la Tabla 8-4, siguiente.

Tabla 8-4: Volumen de reservorios escenario 3

Reservorio	Volumen [m ³]
Reservorio 1	9.600
Reservorio 2	19.800
Reservorio 3	16.500
Reservorio 4	16.000
Reservorio 5	4.922

Este escenario se complementa con la ejecución de las siguientes obras:

- Mejorar el ingreso del agua al Reservorio 2 (esquina de Dr. Eguiguren y Caseros), mediante la mejora de su captación por rejillas/sumideros, y/o la ejecución de un conducto hacia a esquina de Laprida y Caseros, de manera de reducir el agua en superficie.
- Ejecución de una conducción (canalización por vereda SO de la calle Caseros o conducto de D=0,80m, aprox.) desde la esquina de Reconquista y Caseros hacia el Reservorio 2, para conducir los excedentes del nuevo barrio y que los mismos no escurran por superficie.
- Prolongación del conducto por calle Gral. Paz, desde la esquina de Gral. Paz y A. del Valle (Hotel), hasta la esquina de Gral. Paz y Sanz Peña, conforme tiene previsto la Delegación Municipal.

- Ejecución de un conducto de sección rectangular de 1,50m de ancho por 0.80m de alto, por calle Liniers, desde la esquina de A. del Valle hasta el Reservoirio 5, en reemplazo del existente de similar traza. Este conducto permitirá mejorar la situación de la esquina de Liniers y A. del Valle (bajo), una mejor descarga del bombeo del E.B. 3, e incluso captar parte de los excedentes que se acumulan en la esquina de Pje. Sanzberro y Tucumán.

Esta conducción se ha pensado que sea del tipo “conducto pavimento” donde la losa superior del conducto es el propio pavimento de la calle, logrando así mejorar su pendiente hacia el Reservoirio 5.

- Ejecutar una zanja o conducción menor ($D=0,60m$, aprox.), desde la esquina de Sanzberro y Tucumán, hasta Liniers y Tucumán, con descarga en el conducto mencionado en el punto anterior. Esta conducción representaría una segunda alternativa de desagüe para el barrio ubicado a un lado del Parque Municipal.
- Ejecutar un canal revestido de sección trapecial de 1.0m de base de fondo y taludes 1:1, desde la esquina de 20 de Junio y J. Mármol, hasta el Reservoirio 4, incluyendo el reemplazo de la alcantarilla existente por una rectangular de $1x1,50x1,00m$.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del trabajo realizado durante estos cuatro meses, las recorridas de campo, la recopilación de antecedentes, los contactos locales, y el resultado de la modelación hidrodinámica de la red de desagües pluviales de 30 de Agosto, surgen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Respecto a la precipitación:

- El evento de precipitación del pasado 2 y 3 de Febrero de 2015 que provocó la importante inundación de la mayor parte de la planta urbana de 30 de Agosto, se puede catalogar de una severidad relevante, de las mayores ocurridas en su historia.
- Según los registros obtenidos, la distribución estadística que mejor representa el régimen de precipitaciones de la zona es la de Pearson III.
- El análisis realizado permitió asignarle una recurrencia o período de retorno del evento que, si bien varía entre 28 y 60 años, puede decirse que es un evento extraordinario, frente a lo cual cualquier sistema de desagües pluviales se vería superado en su capacidad.
- Esto no debe presuponer que se trató de un hecho aislado que no pueda volver a ocurrir, sino por el contrario, debe llevar a tomar conciencia, experiencia y actuar en la toma de medidas tendientes a la mitigación de sus consecuencias en el caso que pueda volver a ocurrir.
- El evento del 2 y 3 de Febrero de 2015 en la localidad de 30 de Agosto, sólo fue registrado por la estación meteorológica de la Escuela de Educación Secundaria Agraria N° 1 “Manuel Belgrano” (EESA N° 1). La misma no tuvo observaciones en la estación del SMN de Trenque Lauquen, o sea que allí no llovió. Este hecho muestra la variabilidad (localidad) de este tipo de precipitaciones, y cobra una importancia todavía mayor la toma de datos locales, ya que de lo contrario, dicho evento no hubiera sido registrado.
- Se destaca entonces, la posibilidad de haber podido realizar este análisis gracias a la toma de datos en la EESA N° 1 de 30 de Agosto, en este sentido, es de fundamental importancia contar con series continuas y con mediciones serias; por ello se recomienda a la EESA N° 1 a seguir en este camino de registro y documentación de eventos meteorológicos, que además de servir para la propia comunidad, con sus fines y mirada agropecuaria, sirve también para realizar este tipo de estudios y poder contribuir a un mejor entendimiento y modelación de los eventos de lluvias extraordinarias. Información ésta que, en definitiva permite realizar un mejor diagnóstico y propuestas de mejoras para el sistema de desagüe pluvial, que beneficiarán a la misma localidad.
- Esta recomendación se hace extensiva a otras variables meteorológicas y agronómicas, en especial a la profundidad de la napa freática, que como se demostró, es de particular importancia para los reservorios pluviales.

- Por último se recomienda a la Escuela, que cuenta con un pluviógrafo desde el año 2015, realizar una buena configuración y calibración del mismo, por ejemplo con toma de datos cada 5', que permita registrar intensidades de tormentas, muy valiosas para el análisis de la distribución temporal de las precipitaciones.

Respecto al sistema de desagües pluviales:

- El resultado de la modelación determinó que en general el sistema de desagües pluviales de 30 de Agosto es compatible con precipitaciones del orden de los 2 años de recurrencia (no superiores a este umbral), pero que para garantizar ese grado de protección es necesario realizar acciones tales como las recomendadas en el Escenario 1.

Sin embargo existen puntos, como los indicados en el Punto 8.1, en los cuales se registran problemas de captación y conducción independientemente del volumen de los reservorios, que ponen en juego el nivel de anegamiento de calles y veredas, y en los cuales es necesario implementar soluciones particulares.

- El sector más comprometido desde el punto de vista de los niveles de agua que se alcanzan en calles y veredas, para las recurrencia analizadas, es el de J. Mármol y 20 de Junio, situación que se agrava por la baja cota de piso de las viviendas vecinas.

A este punto le sigue la zona de Liniers y A. del Valle, altimétricamente muy comprometida respecto de su entorno.

Para ambos casos las posibles soluciones requerirán obras de captación y conducción no menores, en base a un relevamiento topográfico de detalle y adecuado proyecto ejecutivo.

- Para el caso de la zona de Gral. Paz y A. del Valle, el proyecto de prolongación del conducto por calle Gral. Paz, desde la esquina de Gral. Paz y del Valle (Hotel), hasta la esquina de Gral. Paz y Sanz Peña, conforme tiene previsto la Delegación Municipal, resulta favorable para disminuir los niveles de agua en calle, siempre y cuando se adapte el Reservorio 3 a las dimensiones sugeridas por lo menos en el Escenario 2.

En particular, respecto a la propia esquina de Gral. Paz y A. del Valle, es necesario realizar una inspección y relevamiento especial para determinar fehacientemente la interconexión que existe entre todas las cámaras, sumideros y conductos que confluyen a esa esquina.

- Lo mencionado al final del punto anterior se hace extensivo a toda la red de conductos pluviales existentes en mayor o menor medida, dado que existe una importante incertidumbre respecto a las dimensiones, diámetros, cotas de fondo, transiciones etc. En este sentido, la información recopilada en los planos adjuntos a este Informe puede servir de base para su corrección y/ correcta actualización.
- Las mejoras en la captación e ingreso del escurrimiento al Reservorio 2 resultará de un beneficio no sólo para la esquina de Dr. Eguiguren y Caseros, sino para su entorno. En ese sentido es necesario evaluar la posibilidad de ejecución de un conducto que capte los aportes desde la esquina de Laprida y Caseros, de manera de reducir el agua en superficie.

A la adecuación de este Reservoirio 2 hay que darle particular importancia, ya que es punto de descarga de un importante sector de la cuenca urbana de 30 de Agosto, incluyendo la nueva urbanización en marcha (limitada por las calles Reconquista, Spain, Caseros y Salta), y el mismo posee una buena ubicación y espacio disponible para su ampliación.

- Los desagües de las áreas denominadas como Cuencas 10 y 11 en la Tabla 6-1, deben preverse de evacuar hacia el noroeste, mediante canalizaciones (zanjas) en la prolongación de las calles Independencia y/o 25 de Mayo. Estas áreas no deberían sumarse a los aportes que recibe el Reservoirio 4 porque complicaría aún más la situación del sector de J. Mármol y 20 de Junio.
- Los tipos y dimensiones propuestas para las obras son a modo estimativo, no deben tomarse como definitivas, y en este sentido se recomienda la realización de los proyectos ejecutivos de las mismas en base a un adecuado relevamiento topográfico de detalle, que permita verificar la factibilidad de las mismas o su modificación.
- La posibilidad de vincular las estaciones de bombeo E.B 1 y E.B. 2 con el Reservoirio Lateral 1 mejorará su participación en el sistema de desagües, además de la eficiencia de los Reservoirios 1 y 2.
- La adecuación del Reservoirio 1 permitirá mejorar la situación de la zona de Sarmiento y Salta, dado que le proporcionará una mejor capacidad de descarga a ese sistema. Lo mismo ocurrirá con la esquina de Pje. P. Sanzberro y Tucumán, con un mejor ingreso al Reservoirio 3.

En particular para este último, el cuenco existente requiere de su pronta ampliación, dado que es muy chico en relación a su cuenca de aporte, además de la presencia de la alcantarilla que lo vincula al resto del reservorio, que colabora para que el nivel del cuenco se eleve. Esta adecuación sumada a su vinculación con el nuevo conducto propuesto por calles Liniers, podrá mejorar sustancialmente la situación del barrio ubicado junto al Parque.

- Es importante garantizar, aguas abajo de los mismos, la continuidad de los canales denominados Reservoirios Laterales 1 y 2 y Reservoirio 5, evitando cualquier obra intermedia, esto es, alcantarilla de acceso a predios privados, guardaganados, postes, etc., que puedan entorpecer el normal escurrimiento del agua hasta las zonas bajas donde desaguan naturalmente.

En este sentido en las recorridas se ha verificado la presencia de obras menores que deberían ser readecuadas. No debe olvidarse que estos canales son los encargados de conducir fuera de la traza urbana los excedentes pluviales, y toda obstrucción repercute en el funcionamiento del sistema en conjunto.

En especial, para la alcantarilla de cruce con las vías del ferrocarril, presente en la traza del canal que desagua el Reservoirio Lateral 2, si bien es un cuestión complicada, pero habría que evaluar la posibilidad de ampliar su sección, y resolver el tema de la sobre elevación aguas abajo por la presencia de un tipo de suelo duro.

En todos estos casos es relevante mantener las condiciones de buena conservación, limpieza y desobstrucción de los mismos.

- La escasa pendiente regional y en particular las características planialtimétricas de 30 de Agosto requieren tomar especial atención sobre el mantenimiento de un buen estado de conservación y limpieza de las conducciones y reservorios. Esa baja pendiente y el tipo de suelo (arenoso) provoca el embancamiento de los conductos, lo cual reduce su eficiencia, e incluso la puede anular.
- Por último se recomienda buscar elevar el grado de protección del sistema de desagües pluviales, intentando llegar a los 5 años de recurrencia, grado aceptable para la localidad de 30 de Agosto, implementado un plan de proyectos, obras y acciones que en forma paulatina tienda a este objetivo.

Dentro de este Plan Integral de manejo de los desagües pluviales se deberá tener en cuenta la implementación de planes de alerta y contingencia que, implementados desde la Delegación, y conocidos por los vecinos de 30 de Agosto, ayuden a llevar adelante situaciones conflictivas como las del pasado febrero de 2015, de manera más coordinada y efectiva, de manera de minimizar las pérdidas materiales pero sobre todo resguardar la vida de su población.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Análisis estadísticos de valores extremos

- Beirlant, Jan et al. (2005); "Statistics of extremes"; Wiley.
- Caamaño Nelly, G., et al. (2003); "Lluvias de Diseño: conceptos, técnicas y experiencias", Ed. Científica Universitaria, Córdoba.
- Castillo, E. (1988); "Extreme value theory in engineering"; Acad. Press.
- Coles, Stuart (2001); "An introduction to statistical modeling of extremes values"; Springer.
- De Hann, Laurens y Ferreira, Ana (2006); "Extreme value theory, an introduction"; Springer.
- Gumbel, E. J. (2004); "Statistics of extremes"; Red. 1958, Dovel publications.
- Romanazzi, P. (2014); "Aproximación a la estimación estadística de la precipitación máxima probable para La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina"; II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, Argentina.

Diseño hidrológico e hidráulico

- Brown, S.A., Stein, S. M. y Warner, J. C. (2001); "Urban Drainage design manual", HEC-22.
- Dingman, S. L. (2002); "Physical Hydrology"; 2a Ed, Prentice Hall.
- Loague, K. (2010); "Rainfall – runoff modelling"; BPH4, IASH.
- Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011); "Manual para el diseño de Planes Maestros"; La Plata.
- Romanazzi, P. (2011); "Caracterización y tratamiento de la inundación urbana: el caso de la cuenca del arroyo del Gato en el partido de La Plata"; Laboratorio de Hidrología, Facultad de Ingeniería, UNLP; <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26662>; La Plata.
- Rühle, F.G.O. (1963); "Determinación del derrame máximo superficial de las cuencas imbríferas", DNV, 1966. Revista "La Ingeniería", N° 987.
- Singh, V. P. (1988); "Hydrologic Systems, Vol. I, Rainfall-Runoff Modeling", Prentice Hall.
- Singh, V. P. (1989); "Hydrologic Systems: Vol. II - Watershed Modeling", Prentice Hall.
- Viessman, W. y Lewis, G. (2003), "Introduction to Hydrology", 5a Ed., Prentice Hall.

Simulación matemática de sistemas de desagüe

- Brunner, G. W. (2010); "HEC-RAS, River analysis system user's manual, version 4.1 ", US Army Corps of Engineers, Institute of water resources, Hidrologic Engineering Center (HEC).
- Romanazzi, P. (2014); "Evaluación del desagüe existente y proyectado con un modelo dual: cuenca arroyo del Gato, La Plata, Buenos Aires, Argentina"; II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, Argentina.

11 ANEXO DOCUMENTACIÓN

Documentos en Formato Digital

Esta memoria es acompañada por un DVD que contiene toda la información recopilada y generada por este estudio en formato digital. El mismo ha sido organizado como sigue:

Tabla 11-1: Listado de la documentación entregada en formato digital

CARPETA DEL DVD	CONTENIDO
01_Informes	- Informe Final Estudio Hidrológico – Hidráulico
02_Planos	- 7 Planos red de desagües pluviales
03_SIG	- Bases del relevamiento y componentes .shp