



Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## PROYECTO IV

Espacios verdes urbanos como alternativa de  
reducción de obras de drenaje en la cuenca del  
Emisario 10, Rosario, Santa Fe.

Alumnos: Caballero, Ariel (C-5527/1).

Fernández, Sebastián E. (F-1960/7).

Zana, Gastón (Z-0536/3)

Director: Erik Zimmermann.

Co-Director: Raúl Navarro.

Marzo de 2015

## ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.
2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y RECORRIDAS DE CAMPO.
3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA CUENCA DEL EMISARIO 10.
4. MODELO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA-CAUDAL "ARHYMO".
  - 4.1 Descripción del modelo.
  - 4.2 Ingreso de Datos.
  - 4.3 Criterio de Selección de Parámetros.
  - 4.4 Modelo.
5. DETERMINACIÓN DE SUBCUENCAS Y PARÁMETROS FÍSICOS.
6. CALIBRACION DEL MODELO ARHYMO.
7. EXPLOTACIÓN DEL MODELO PARA ESCENARIOS FUTUROS.
8. ANALISIS TÉCNICO DE ESCENARIOS.
9. ANALISIS ECONÓMICO DE ESCENARIOS.
10. CONCLUSIONES.

- ANEXOS.

## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.**

El presente constituye el informe final correspondiente a la materia “Proyecto IV” de la carrera Ingeniería Civil. En el mismo se propone abordar la problemática que genera el aumento de la urbanización en la respuesta hidráulica de una cuenca y el cambio provocado por la implementación de pequeñas mejoras desde la urbanización. Se pretende analizar los cambios producidos en la respuesta del sistema por la introducción, no de grandes obras estructurales, sino más bien debido a la generación de pequeñas áreas verdes de infiltración tanto en las nuevas ocupaciones urbanas y periurbanas como en las existentes.

A tal fin se evaluarán los caudales generados en un sistema real existente, cuenca del Emisario 10 de la Ciudad de Rosario, a partir del planteo de distintos escenarios futuros con diferentes tipos de usos de suelo y urbanización y consecuente impermeabilidad. Entendiendo el desarrollo sustentable como el *“desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”* (Brundtland, 1987), específicamente nos proponemos estudiar la conveniencia de planificaciones urbanas que contemplen distintos grados de sustentabilidad hidráulica en la urbanización, respetando espacios verdes de infiltración y evaluando el ahorro económico supuesto en dimensiones de sistemas de drenaje pluvial.

La ciudad de Rosario y toda su zona de influencia (Gran Rosario), se encuentran en franco crecimiento y permanente expansión. Así lo demuestra la realidad cotidiana y lo respaldan los principales indicadores.

La población de Rosario creció un 4,1% en el periodo 2001-2010, según los resultados de los censos nacionales realizados por el INDEC en esos años, la población pasó de 909.397 habitantes que registró en 2001 a 948.312 registrados en el 2010. Y según los datos brindados por la Municipalidad de Rosario, en el 2014 la población es de 964.833 habitantes. Es decir que en el periodo 2001-2014 el crecimiento poblacional fue de un 5,75%.

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico y social de la ciudad de Rosario y su zona de influencia de los últimos 10 a 15 años, disparó la necesidad de vivienda y el crecimiento de la actividad productiva de la región. Este contexto generó, y actualmente genera, la expansión de las zonas residenciales e industriales hacia las zonas históricamente rurales ubicadas en los límites interurbanos para dar respuesta a estas necesidades. (Figuras 1 y 2)

Esta expansión y urbanización de zonas antiguamente rurales, provoca un importante aumento de las áreas impermeables a nivel de cuenca, lo que, ante un evento lluvioso, se traduce en una disminución de los volúmenes de agua que se infiltran en el terreno y un consecuente aumento en el escurrimiento superficial, generando hidrogramas de respuesta con mayor caudal pico y menor tiempo de concentración.

En la actualidad es frecuente dar respuestas a esta problemática mediante la aplicación de las denominadas *soluciones tradicionales*, demandando la intervención de las cuencas con medidas estructurales cada vez de mayor envergadura con su consecuente costo económico.

Esto se debe principalmente a que estas *soluciones tradicionales* buscan drenar y evacuar rápidamente los escurrimientos pluviales, reemplazando el sistema natural de drenaje por elementos artificiales como calles, cunetas y colectoras. Esto requiere inversiones en grandes obras para eliminar las inundaciones en zonas bajas que reciben los aportes pluviales generados por la urbanización, y una preocupación constante por mantener la capacidad de las soluciones a medida que crecen las ciudades (Víctor Hugo Burgos, 2014).

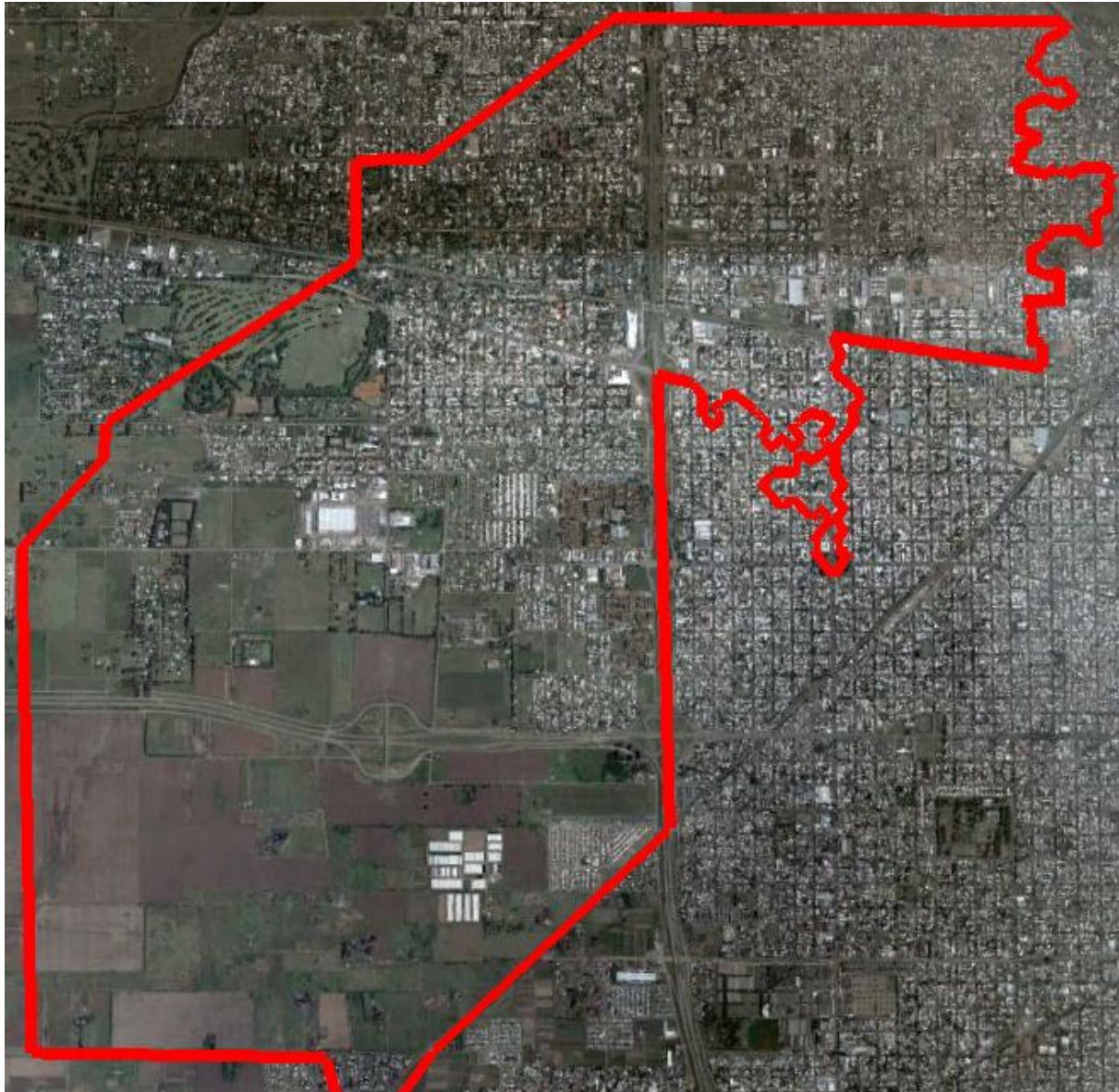


Figura 1: Urbanización cuenca año 2003.

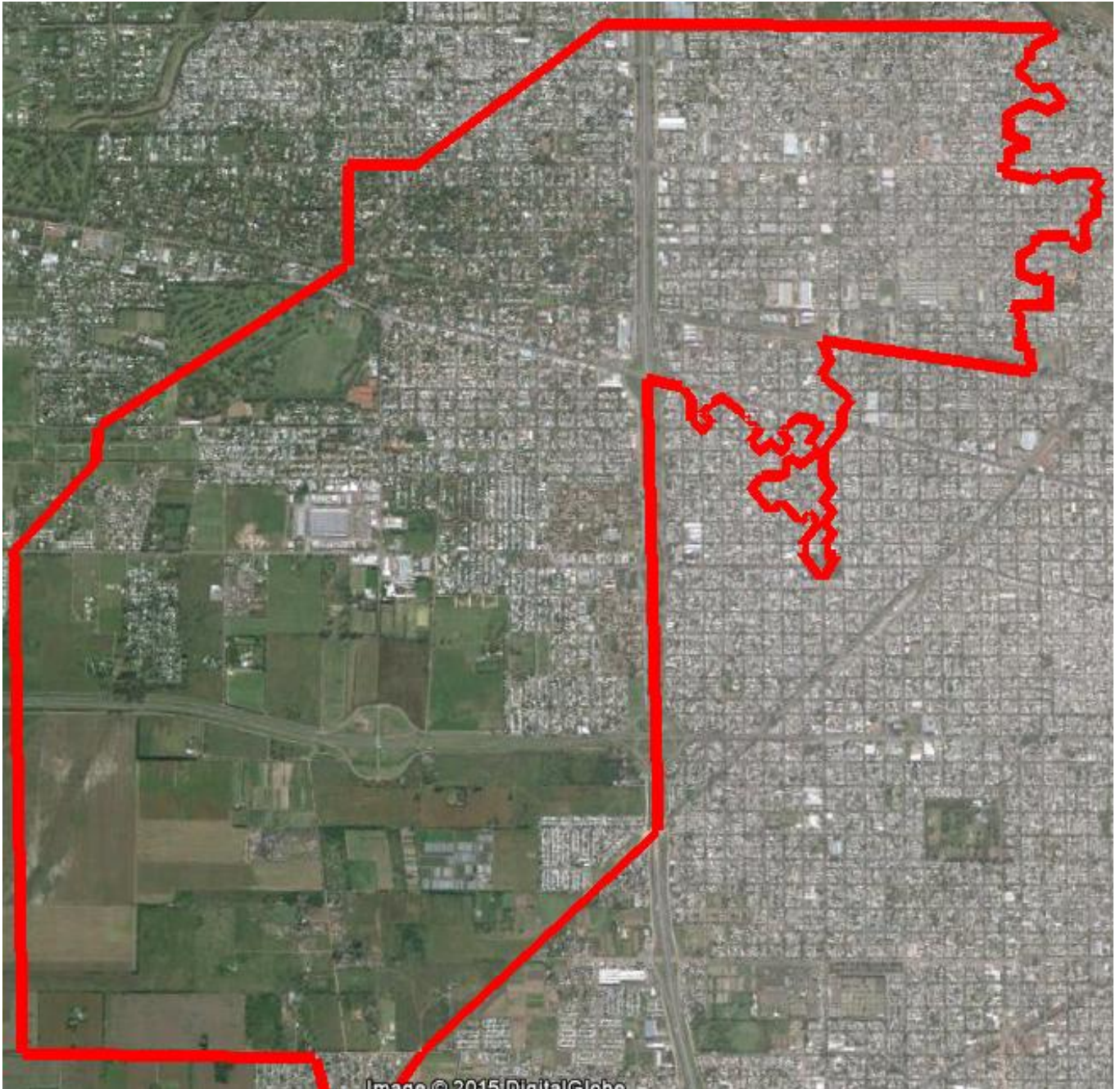


Figura 2: Urbanización cuenca año 2014.

El sistema a estudiar, cuenca del Emisario 10 de la ciudad de Rosario, es un claro ejemplo de esta situación, quedando evidenciado en el mes de Diciembre del año 2012. Para ese entonces una tormenta generó caudales que, sumado a otras causalidades<sup>1</sup>, superaron la capacidad de evacuación de los sistemas pluviales existentes provocando la inundación de la zona urbana en el oeste de la ciudad.

Está a la vista que el desarrollo urbano ilimitado, desmedido y descontrolado introduce cambios sustanciales que generan importantes impactos en el comportamiento hidráulico de las cuencas haciendo

<sup>1</sup> En dicha oportunidad la Av. De Circunvalación se encontraba en estado de obras e impedía el normal drenaje del emisario principal en esa zona, sumado a la escasa pendiente hidráulica entre el emisario y el Arroyo Ludueña debido a los caudales erogados por este último.

colapsar los sistemas de drenaje. Esta situación lleva a pensar que los sistemas de drenaje pluvial tradicionales por si solos no son suficientes. No basta con incrementar el diámetro de los conductos pluviales para mejorar la situación sino que es necesario cambiar el enfoque de la problemática modificando la generación de caudales de escurrimiento directo.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se basa en la convicción de que la introducción de cambios y regulaciones en el desarrollo urbano propiamente junto con la implementación de medidas no estructurales pueden generar importantes mejoras en las condiciones de drenaje de los sistemas pluviales, disminuyendo los caudales pico evacuados, los tiempos a dichos picos, el tamaño de los sistemas pluviales de evacuación y, en consecuencia, su impacto económico y la calidad de vida de las personas afectadas.

Para poder analizar lo explicado, se modelizará la cuenca en estudio a través de la utilización del modelo hidrológico ARHYMO (ver ítem 4 de este informe) y se estudiarán distintos escenarios futuros a fin de obtener datos comparativos entre las distintas propuestas de mejora.

Se trabajará realizando, primeramente, el análisis de la situación actual de dicha cuenca, comparando resultados obtenidos y calibrando parámetros del modelo tomando como referencia un informe del Instituto Nacional del Agua (INA) sobre la misma cuenca que incluyó una modelización previa de la cuenca de estudio. Posteriormente, se analizarán 3 escenarios futuros para poder predecir la respuesta del sistema y estudiar y compararlos tanto desde un punto de vista técnico como el económico.

**Objetivos.**

Los objetivos generales de esta investigación son:

- Reconocer y caracterizar hidrológicamente la cuenca del Emisario 10.
- Plantear cuatro escenarios de uso de suelo para el estudio: situación actual y tres escenarios posibles futuros.
- Analizar respuestas hidrológicas e hidráulicas y diseños hidráulicos en el área de estudio correspondientes a dichos escenarios.
- Comparar costos de infraestructuras necesarias para la evacuación de las aguas de lluvia en cada caso.
- Evaluar la conveniencia de implementación de sistemas de urbanización hidrológicamente sustentables.
- Sugerir o implementar medidas de regulación a partir de conclusiones elaboradas sobre el estado actual y futuro de la cuenca.

## **2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y RECORRIDAS DE CAMPO.**

Con el objeto de introducir en el estudio de la cuenca del Emisario 10, se ha recopilado la mayor cantidad de información posible de la zona de estudio.

Se obtuvieron y analizaron datos referentes a la caracterización planialtimétrica y topográfica de la cuenca tales como curvas de nivel y pendientes de suelo natural y urbanizado.

Se consiguió información oficial sobre redes de desagües principales y secundarios existentes y sus características geométricas y de trazado elaborado por la Dirección General de Hidráulica y Saneamiento (DGHS) de la Municipalidad de Rosario.

Como punto de partida y a modo de información base, se tomó como referencia un estudio de la cuenca realizado por el Instituto Nacional del Agua (INA) a cargo de la Municipalidad de Rosario, en el cual se detalla la situación urbana e hidráulica de la cuenca del Emisario 10 para el año en que se realizó dicho estudio (INA, 2003).

Conjuntamente, se ha obtenido información reciente y sumamente detallada sobre cada uno de los usos de suelos de la zona en estudio. Dicho material data del año 2013 y fue brindado por un equipo de arquitectos de la UNR (Bracalenti y Onocko, 2014, comunicación personal), quienes realizaron una minuciosa recorrida cuadra por cuadra de todo el sector en estudio con el fin de obtener parámetros actualizados que caractericen la situación urbana actual de la cuenca.

Como trabajo complementario al de gabinete se realizaron recorridas de campo con el propósito de verificar trazas, corroborar usos de suelos, ajustar límites de subcuencas y ajustar las impermeabilidades obtenidas a partir de los datos del uso de suelo, ya que existen zonas donde la urbanización es acelerada, con lo cual la información para algunas subcuencas se podrían encontrar desactualizadas.

Estas recorridas de campo sirven fundamentalmente para confirmar características observadas en el informe, hablar con vecinos, mejorar la demarcación de límites, tomar fotografías para documentar determinadas cuestiones de interés y recolectar la mayor cantidad de información posible de la zona de estudio y para verificar in situ distintos aspectos a tener en cuenta en la determinación de las subcuencas propuestas para mejorar la modelización y el estudio de la cuenca.

Los trabajos de observación en campo son muy importantes para poder conocer y comprender mejor la cuenca y su comportamiento. En ellos se busca observar, verificar y actualizar la información recolectada en el trabajo de gabinete realizado previo a las salidas al campo.

En este caso, en las tareas de gabinete, se había estudiado la cuenca con información recolectada principalmente del informe INA, notas periodísticas y usos de suelo actuales de la cuenca brindado por el grupo de arquitectura. Por lo tanto, a fin de armar correctamente el escenario actual, resultó de vital importancia la recorrida de toda la cuenca a fin de corroborar y actualizar la información disponible y ampliarla a través de la observación y diálogo con los vecinos de la zona.



En dichas salidas se estudiaron factores característicos que permitirán la modelización de la cuenca con el modelo ARHYMO. Se comprobaron niveles de urbanización a fin de caracterizar la cuenca en distintas zonas para facilitar su estudio y que, como ya se explicó, finalmente se diferenciaron a grandes rasgos tres zonas.

A partir de los datos recopilados anteriormente y los datos de campo actuales, se realizó un detallado análisis para compatibilizar la información y ajustar de la manera más aproximada posible la situación actual de la cuenca para poder comenzar con el análisis hidrológico propuesto.

### **3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA CUENCA DEL EMISARIO 10.**

La cuenca del Emisario 10 se desarrolla en el sector noroeste del Municipio de la Ciudad de Rosario, limita hacia el este con la Avenida Circunvalación, (límite de la cuenca del Emisario Nueve) y hacia el oeste con la cuenca del canal N° 4. El cierre sur coincide con el límite del municipio con el Distrito Pérez y hacia el norte con la cuenca del Emisario 3. El área de aporte al emisario es de 1877Ha (Figura 3 y figura 4 y plano adjunto).

La mayor parte de la misma forma parte del Distrito Municipal Noroeste de la ciudad de Rosario. Sólo el sector Sur corresponde al Distrito Oeste. El Distrito Noroeste tiene una población de 144.461 habitantes (15,23% del total) y una superficie de 44,14 km<sup>2</sup> (24,7% del Municipio). Presenta una densidad de 3.273 hab/km<sup>2</sup> y un total de 41 740 viviendas. El Distrito Oeste tiene una población de 106.356 habitantes (11,22% del total) y una superficie de 40,21 km<sup>2</sup> (22,5% del Municipio). Presenta una densidad de 2.645 hab/km<sup>2</sup> y un total de 31.625 viviendas (Zimmermann E, Bracalenti L. 2014).

El emisario principal comienza en la intersección con calle Mendoza (Figura 5), pasa por Furlong, luego sigue en dirección sur-norte cambiando en su recorrido de calle hasta que llega a la altura de calle Gorriti (figura 6). En ese punto pasa a calle Gorriti donde se desarrolla hasta encontrar calle Rouillion, luego por Cabal hasta Lavardén, sobre Lavardén recorre aproximadamente 2 cuadras hasta desembocar en el Arroyo Ludueña. (Ver plano adjunto).

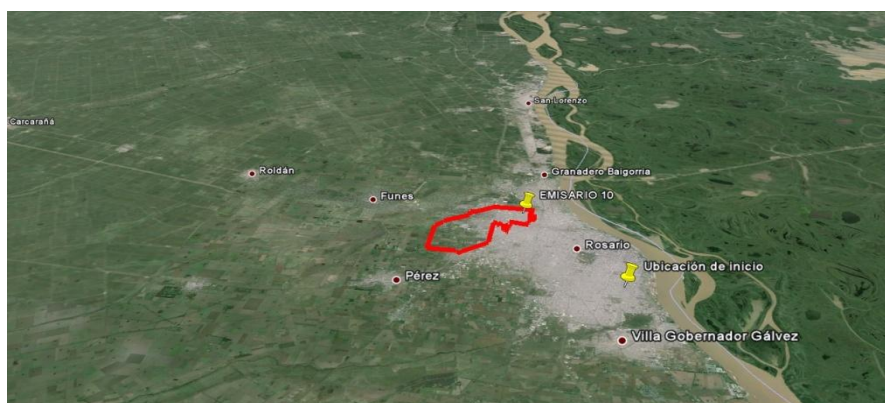


Figura 3: Ubicación espacial de la cuenca del emisario n°10.



Figura 4: Cuenca del emisario n°10.



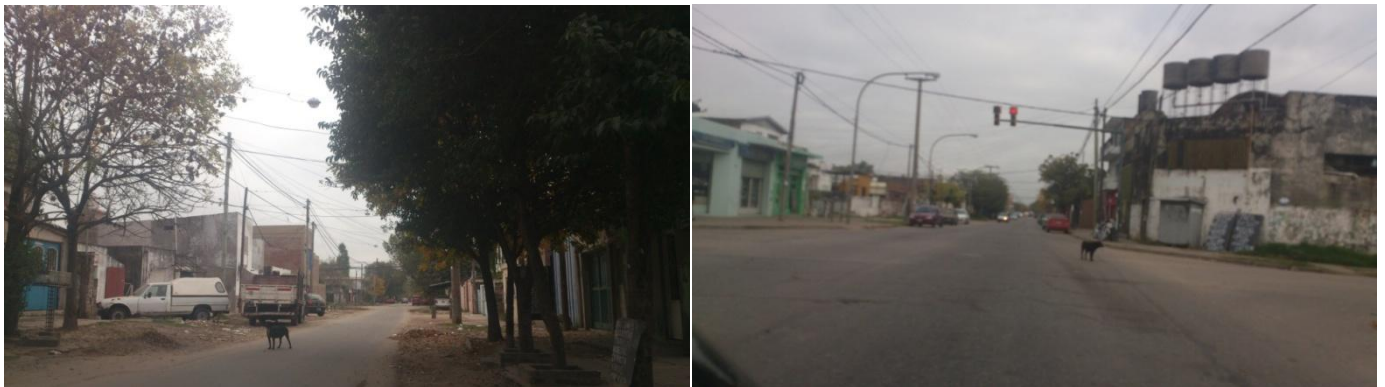
Figura 5: Entubación del conducto principal. Calles Mendoza y Furlong.



Figura 6: Zona de pasaje del conducto principal. Calles Gorriti y Provincias Unidas.

En cuanto al estado de urbanización de la cuenca, se distinguen principalmente tres zonas:

La primera, ubicada al norte y cercana a la desembocadura del conducto principal sobre el arroyo, se caracteriza por ser una zona con población de clases socioeconómicas populares bajas y medias, avanzado estado de urbanización, gran densidad demográfica donde predominan las casas familiares de 2 pisos y áreas comerciales sobre los corredores principales. El grado de impermeabilización de esta zona es muy importante, con pocas posibilidades reales de introducir cambios en el espacio urbano dentro del ámbito privado de cara a lograr mejoras hidráulicas. Por el contrario, las mayores posibilidades de introducir mejoras hidráulicas se podrían dar en el espacio público, ya que se encuentra poco desarrollado, sin la existencia de veredas uniformes ni de pavimentos permanentes y con algunos espacios verdes sin uso aprovechables como áreas de infiltración. (Figuras 7 a y b)



Figuras 7a (izq) y b (der): Viviendas tipo y área comercial. Primera zona.

Una segunda zona se ubica hacia el centro de la cuenca y es la zona de transición entre la primera y la tercera. Este sector es donde más se evidencia del avance del desarrollo urbano reciente. Son los barrios de Fisherton y Residencial Fisherton. Es una zona principalmente residencial, con familias de clases sociales medias y altas, donde el grado de impermeabilización es medio ya que predominan las casas con grandes jardines parquizados y espaciosas aéreas verdes en veredas. La posibilidad de introducir mejoras hidráulicas es compartida entre el ámbito público y privado. (Figuras 8 a y b)



Figuras 8a y b: Grandes áreas verdes en veredas y nuevas urbanizaciones. Segunda zona.

Por último, la tercera es la zona ubicada al sur de la cuenca. Esta es una zona fundamentalmente rural, con grandes extensiones de tierra sin uso o usos de huertas o agrícolas. Estas áreas verdes no urbanizadas se encuentran protegidas por la normativa municipal vigente pero se observa un avance de la urbanización residencial e industrial sobre ella. Hacia el norte de esta tercera zona se encuentra prevista la instalación de un gran parque industrial, plataforma productiva Sector Ludueña, que podría implicar un gran cambio en la impermeabilización de la misma. También se observa un gran avance en la instalación de asentamientos irregulares con distinto grado de consolidación que empeoraría la situación, no solo hidráulica sino que ante una eventualidad la gente de escasos recursos son los que resultan más afectados. (Figuras 9 a y b)



Figuras 9a y b: Suelos sin uso y asentamientos irregulares insipientes. Tercera zona.

#### **4. MODELO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA-CAUDAL "ARHYMO".**

##### 4.1 - Descripción del modelo.

El modelo HYMO, creado en 1973 , se conoce en la República Argentina desde el año 1975, fue introducido y adaptado por el Centro Regional Andino del Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (ex INC y TH, actual INA).

La versión empleada del modelo ARHYMO recoge las inquietudes y observaciones de usuarios de aquellos modelos y conforma una herramienta de trabajo de gran confiabilidad y uso amigable, apto para ser aplicada a gran parte del territorio argentino, rural y urbano, donde las condiciones generales de información de entrada están caracterizadas tanto por la escasez cuanto por su dudosa calidad.

ARHYMO es un modelo matemático que permite simular un sistema hidrológico ante el fenómeno de transformación lluvia-caudal, por lo que pertenece al contexto de los modelos determinísticos. A su vez se lo puede clasificar como:

- Conceptual.
- Lineal.
- De parámetros concentrados.
- De eventos aislados o discreto.
- Invariable en el tiempo.
- De caja negra o empírico.

Conceptual: porque en todas las operaciones hidrológicas que realiza están presentes permanentemente las interacciones de todos los factores físicos que intervienen.

Lineal: porque en todos los fenómenos hidrológicos que simula utiliza las propiedades de proporcionalidad y de superposición de los procesos lineales. Es decir que el fenómeno respuesta (caudal) está ligado al fenómeno-estímulo (lluvia) por un operador lineal.

Parámetros Concentrados: porque trata a una cuenca o subcuenca como única unidad, y en consecuencia los parámetros que la definen no varían de un punto a otro sino que están representados por valores promedios.

De Eventos Aislados o Discreto: porque no tiene capacidad de variar la humedad del suelo entre precipitaciones sucesivas.

Invariable en el tiempo: porque los parámetros utilizados en el cálculo de los procesos no varían en el tiempo, es decir que son constantes durante la simulación.

De Caja Negra o Empírico: porque el impulso (lluvia) es transformado en respuesta (caudal) sin que exista una teoría físicamente sustentada que explique el fenómeno. A la vez porque presenta los resultados de la simulación sin que aparezcan los resultados de cálculos intermedios.

Como principio de funcionamiento, el software consiste en la utilización de un modelo conceptual compuesto de 2 embalses lineales en paralelo, que simulan los hidrogramas producidos por las porciones impermeables y permeables de las cuencas.

Estos hidrogramas de escurrimiento en cuencas rurales son obtenidos a través de la convolución entre el hietograma de precipitación efectiva y el hidrograma unitario instantáneo (HUI) sintético utilizado por HYMO en su versión original.

Este HUI adimensional está formulado, desde su origen hasta el punto de inflexión ( $t_0/TP$ ) de la rama descendente, por la analogía de Nash de  $n$  embalses lineales en serie, y desde ese punto de inflexión hasta su agotamiento, por dos ecuaciones exponenciales negativas:

$$\begin{array}{ll}
 0 < \frac{t}{TP} < \frac{t_0}{TP} & \frac{q}{QP} = \left(\frac{t}{TP}\right)^{(n-1)} e^{-(1-n)\left(\frac{t}{TP}-1\right)} \\
 \frac{t_0}{TP} < \frac{t}{TP} < \frac{t_0+2K}{TP} & \frac{q}{QP} = \frac{q_0}{QP} e^{-\frac{t-t_0}{K}} \\
 \frac{t_0+2K}{TP} < \frac{t}{TP} < \infty & \frac{q}{QP} = \frac{q_0}{QP} e^{-2} e^{-\frac{-(t-t_0-2K)}{3K}}
 \end{array}$$

$K$  (constante de recesión del HUI) y  $TP$  (tiempo al pico del HUI) son parámetros de calibración o calculados por el modelo en base a ecuaciones de correlación (James, W. et al., 1987) basadas en 283 tormentas de 48 cuencas de Estados Unidos, cuyas superficies están comprendidas entre 0,73 y 62,2 km<sup>2</sup> y con pendientes medias de cuenca (WSLP) entre 0,38% y 16,70%.

Estas ecuaciones de correlación se encuentran planteadas para rangos de WSLP:

$$WSLP < 5 \% \quad 5 \% < WSLP < 10 \% \quad WSLP > 10 \%$$

Como el cálculo de WSLP es muy laborioso en la mayoría de los casos, especialmente si se la compara con la determinación de  $HT$  (diferencia de altitud en metros entre las alturas máxima y la de salida de la cuenca) y de  $L$  (longitud de la cuenca en km), se ha correlacionado  $HT/L$  con WSLP en las 48 cuencas mencionadas obteniendo:

- para el conjunto de datos correspondiente a  $WSLP < 5\%$

$$HT/L (\%) = 0,175 WSLP(\%)^{1,39} \quad \text{con } R^2 = 0,79$$

- para el conjunto de datos correspondiente a  $WSLP < 10\%$

$$HT/L (\%) = 0,1363 WSLP(\%)^{1,255} \quad \text{con } R^2 = 0,65$$

Estas correlaciones permitieron encontrar los valores 1,6 % y 2,45 % de  $HT/L$  correspondientes a 5 % y 10 % de WSLP respectivamente.

Se puede utilizar esos límites para HT/L en lugar de los límites para WSLP; sin embargo, se debe ser consciente de que es sólo una maniobra para evitar el cálculo de WSLP.

Si el usuario ha determinado WSLP para la cuenca en estudio, se aconseja utilizar las ecuaciones que brindan K y TP tomando en cuenta los límites de WSLP.

$\begin{aligned} &HT/L < 1,6\% \\ &(WSLP < 5\%) \end{aligned}$	$\left  \begin{aligned} TP &= 0,97 A^{0,4} HT^{-0,2} L^{0,2} \\ K &= 4,50 A^{0,4} HT^{-0,8} L^{0,4} \end{aligned} \right.$
$\begin{aligned} &1,6\% < HT/L < 2,45\% \\ &(5\% < WSLP < 10\%) \end{aligned}$	$\left  \begin{aligned} TP &= 1,74 A^{0,3} HT^{-0,3} L^{0,2} \\ K &= 1,48 A^{0,3} HT^{-0,4} L^{0,4} \end{aligned} \right.$
$\begin{aligned} &HT/L > 2,45\% \\ &(WSLP > 10\%) \end{aligned}$	$\left  \begin{aligned} TP &= 1,51 A^{0,3} HT^{-0,4} L^{0,5} \\ K &= 0,48 A^{0,2} HT^{-0,1} L^{0,3} \end{aligned} \right.$

Donde:

K = constante de recesión del HUI en horas.

TP = tiempo al pico del HUI en horas.

A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

L = longitud de la cuenca en km, medida sobre el cauce de mayor longitud.

HT = diferencia de altitud en metros, en la cuenca, entre la altura máxima en cabeceras y la mínima a la salida de la cuenca.

Con el transcurso del tiempo, el desarrollo del software ha incorporado la subrutina de cálculo de hidrogramas de escurrimientos en áreas urbanas y la generación de tormentas sintéticas. Además efectúa tránsitos de crecidas en cauces naturales o artificiales, tránsito de crecidas por embalses, suma hidrogramas, compara estadísticamente hidrogramas calculados y observados, etc.

#### 4.2 – Ingreso de Datos.

El diagrama topológico aplicado para la cuenca del Emisario 10 está formado por 2 subcuencas rurales y 14 subcuencas urbanas, en las cuales se ingresan diferentes parámetros de entrada (figuras 10a, 12 y 13), los cuales se mencionan a continuación.

- Información para la Lluvia de diseño.
  1. A, B y C: Constantes de la ecuación de la curva I-D-R.
  2. D (min): Duración de la precipitación.

Modificación de datos de Tormenta de Chicago G001

G001

Parámetros curva

$$\frac{A}{(\text{Duración} + B)^C} \quad \left\{ \begin{array}{l} A = 2010.684 \\ B = 14.351 \\ C = 0.829 \end{array} \right.$$

Figura 10a: Ingreso de constantes de ecuación IDR.

Hietograma a Generar

Identificación: P001

Duración: 180 minutos      Paso de tiempo: 1 minutos

Rel. Tiempo al pico/duración: 0.3      Área decaimiento espacial: 18.95 km²

Leer archivo...    Imprimir...    Copiar gráfico    Aceptar    Cancelar

Figura 10b: Generación de hietograma de lluvia de diseño.

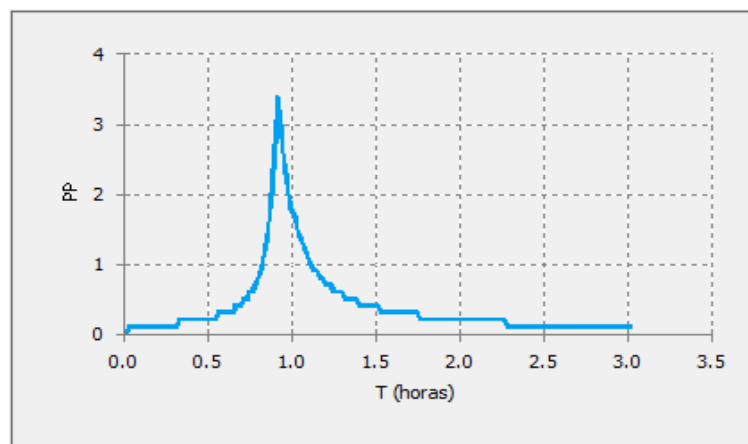


Figura 11: Hietograma lluvia de diseño



- Información para las cuencas rurales: (Figura 12)

1. DT: Delta tiempo para cálculo de la precipitación (min).
2. A: Área (km<sup>2</sup>): Área de la cuenca.
3. CN: Valor de CN (mm): Valor según metodología del S.C.S.
4. Ia: Abstracción inicial (mm): Si Ia < 0 hace Ia = 0,2 \* S.
5. HT: Diferencia de elevación (m): Diferencia de elevación entre el punto más alejado de la cuenca y el punto de obtención del hidrograma, ambos medidos sobre el cauce principal.
6. L: Longitud del Cauce (km): Longitud del cauce principal.
7. K (horas): Constante de recesión del Hidrograma Unitaria Instantáneo Sintético (HUI).
8. TP (horas): Tiempo al pico del Hidrograma Unitaria Instantáneo Sintético(HUI).

Figura 12: Cuadro de entrada de datos cuencas rurales.

- Información para las cuencas urbanas: (Figura 13)

1. DT: Delta tiempo para cálculo de la precipitación (min).
2. A: Área (Ha): Área de la cuenca.
3. Ximp: Área impermeable directamente conectada en proporción al área total de la cuenca. ( $0 < Ximp < 1$ ).
4. Timp: Área impermeable total en proporción al área total de la cuenca.  $Timp > Ximp$ . ( $0 < Timp < 1$ ).
5. DPSI(mm): Almacenamiento por depresión en las áreas impermeables. Si DPSI es especificado negativo se utilizará una ecuación interna del modelo para calcular DPSI.
6. Ki(hs): Coeficiente de almacenamiento de embalse lineal en el área impermeable.
7. Kp(hs): Coeficiente de almacenamiento de embalse lineal en el área permeable.
8. SLI (%): Pendiente del área impermeable.
9. LGI (m): Longitud del plano de escurrimiento del área impermeable.

10. MNI: Coeficiente de rugosidad del área impermeable.
11. SLP (%): Pendiente del área permeable.
12. LGP (m): Longitud del plano de escurrimiento del área permeable.
13. MNP: Coeficiente de rugosidad del área permeable.

U006    cuenca 8

**Datos generales**

Área: 33.13 ha    Delta de Tiempo para cálculo: 1 minutos

**Infiltración**

Ecuación de Horton

Infiltración máxima inicial (Fo):    mm/h    Constante de decaimiento:    1/s

Infiltración mínima final (Fc):    mm/h    Humedad acumulada antes de la tormenta:    mm

Método de SCS

Valor de CN: 90    Abstracción inicial: -1 mm

**Área permeable**

Almacenamiento por depresión: -1 mm

K del embalse lineal: 1.21 hs

**Plano de escurrimiento:**

- Pendiente: 0.14 %

- Longitud: 232 m

- Coeficiente de rugosidad: 0.03

**Área impermeable**

Proporción de área directamente conectada: 15.9 %

Proporción del área Total: 65 %

Almacenamiento por depresión: -1 mm

K del embalse lineal: 0 hs

**Plano de escurrimiento:**

- Pendiente: 0.14 %

- Longitud: 488 m

- Coeficiente de rugosidad: 0.02

**Entrada / Salida**

Identificación de tormenta: P001

Hidrograma resultante:    .dat

Hidrograma a comparar:    .dat

Imprimir...    Aceptar    Cancelar

Figura 13: Cuadro de entrada de datos cuencas urbanas.

#### 4.3 – Criterio de Selección de Parámetros.

- Lluvia de diseño:

Se utilizó para la lluvia de diseño las curvas I-D-R de la ciudad de Rosario, para una recurrencia de 10 años, los parámetros a ingresar al programa son: (Figuras 10a)

La lluvia de diseño es un patrón de precipitación formulado con el objeto de emplearse en el diseño de un sistema hidrológico y conforma la entrada a dicho sistema, empleándose leyes de transferencia lluvia-caudal y propagación de caudales para obtener hidrogramas que representan la salida del sistema en estudio.

Estas lluvias de diseño se obtienen mediante el análisis estadístico de los registros históricos de eventos sucedidos en la zona de estudio generando curvas IDR (Intensidad, Duración, Recurrencia).

Para el presente estudio, las corridas de simulación se realizaron con las tormentas de diseño generadas con la serie de datos de lluvias que van desde 1942 hasta 1997, considerando los porcentajes de impermeabilidades existente actualmente y el Emisario 10 funcionando a descarga libre, esto quiere decir que el Arroyo Ludueña se encontraría escurriendo solamente el caudal base. La recurrencia adoptada para las corridas fueron  $Tr= 10$  años.

La ecuación de las curvas IDR utilizadas tiene la forma:

$$i = \frac{A}{(C+D)^C}$$

Donde:

i: intensidad de la lluvia (mm/h)

1. A,B y C: constantes de la ecuación. En este caso, para la Ciudad de Rosario y R=10 años:

$$A= 2010,648$$

$$B= 14,351$$

$$C= 0,829$$

2. D: duración en minutos ; D= 180 min

Con los parámetros anteriores ingresados (Figura 10a), el modelo genera el hietograma correspondiente a la lluvia de diseño, quedando este como se muestra en las figuras 10b y 11.

- Cuencas rurales:

1. DT: Se adoptó el mismo  $\Delta t$  que con el que se discretizó el hietograma resultante de la tormenta.  
 $\Delta t=1\text{min}$
2. A: Las áreas de cada subcuenca se obtuvieron computándose con la utilización del software AutoCAD.
3. CN: Los números de curva (CN) son necesarios para caracterizar cada subcuenca y calcular el caudal de escurrimiento. Según el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, este valor está en función de la clase y uso del suelo (según el caso se pueden clasificar como suelos con distintas cubiertas vegetales, suelos con distintos tipos de cultivos, suelos rocosos, poblaciones, carreteras, etc.) y de las condiciones precedentes a la precipitación (suelos con potencial escurrimiento mínimo, bajo, medio y alto).

El mismo se estimó mediante la utilización de un grafico (Figura 14) que correlaciona el coeficiente de escorrentía y precipitación. Con un valor de precipitación neta aplicada de 75mm se determino un CN para cada subcuenca.

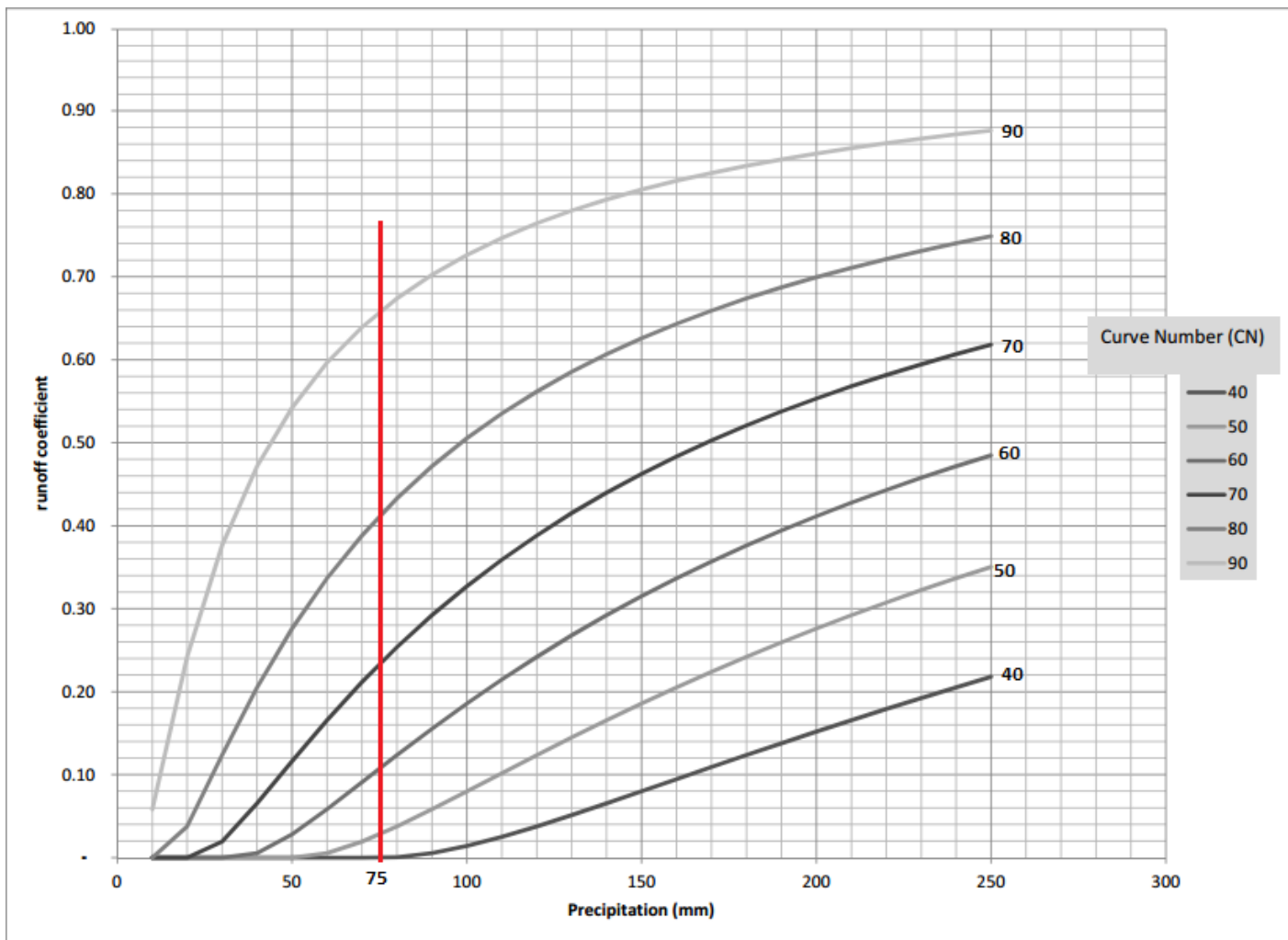


Figura 14: Numero de curva (CN) según escorrentía.

4. la: La tasa de infiltración depende de la condición de humedad del suelo y de sus características. La capacidad de infiltración inicial depende de la condición de humedad antecedente previa al comienzo de la tormenta. Por lo que cuando el suelo se torne más y más saturado, ella disminuirá. Como no se cuenta con este dato, ya que no se tiene información suficiente al respecto, y obtener un valor consistente requeriría de un estudio exhaustivo y que no resulta sensible al efecto de los resultados, se coloca el número -1. De manera tal que el software la calcule según propone el S.C.S, es decir, como  $la (mm)=0,2 \times S(mm)$ . Donde S es el potencial de retención máximo del suelo.  
 $S(mm) = (25400/CN)-254$  ; CN = f(tipo de suelo, humedad, cobertura vegetal)
  5. HT: Este desnivel se utiliza para determinar una pendiente que no se puede medir directamente sobre un algún cauce principal, ya que no existe un flujo encauzado que conecte el punto hidrológicamente más alejado de la subcuenca con una sección de control, sino que se presentan conductos secundarios que aportan directamente al Emisario en diferentes puntos.  
 Por lo que para calcular cada una de las pendientes medias, se estudiaron los desagües del sistema pluvial secundario, de manera de tener una idea del sentido del escurrimiento de cada una de las subcuencas. Y junto con las curvas de nivel del sector en estudio, se plantearon distintos recorridos posibles del curso del agua, hasta encontrar el camino de mayor tiempo de concentración.  
 El desnivel que existe entre el punto hidráulicamente más alejado sobre dicho cauce crítico y ficticio hasta el aporte de la subcuenca en cuestión al Emisario, es lo que se toma como la pendiente media de cada una de las subcuencas.
  6. L: Se adopta la longitud del recorrido más crítico mencionado en el ítem anterior.
  7. K (horas): Como en este caso no contamos con los datos de WSLP para nuestra cuenca, utilizamos las ecuaciones que brindan K y TP tomando en cuenta los límites de WSLP.
  8. TP (horas): Idem item anterior.
- Cuencas urbanas:
    1. DT: Se adoptó el mismo  $\Delta t$  que con el que se discretizó el hietograma resultante de la tormenta.  
 $\Delta t=1min$
    2. A: Las áreas de cada subcuenca se obtuvieron computándose con la utilización del software AutoCAD.
    3. Ximp: En este caso de cuencas urbanizadas se debe distinguir las áreas impermeables de las permeables. El espacio impermeabilizado puede ser dividido en una parte directamente conectada (hidráulicamente conectada) al sistema de drenaje y otra que no lo está. Las porciones impermeables no directamente conectadas circulan por las áreas permeables antes de alcanzar el sistema de drenaje. Algo del escurrimiento de estas superficies se infiltrará y el valor del escurrimiento será menor que el del sector impermeable directamente conectado. Un ejemplo de este caso son los techos que vierten hacia jardines y la superficie de caminos que lo hacen a cauces de tierra.  
 El cálculo del porcentaje de área impermeable directamente conectada a la red pluvial (parámetro que resultó muy sensible en la modelización) se realizó como un promedio entre los valores de

cada una de las subcuencas originales del informe INA y que conforman la subcuenca correspondiente de nuestro modelo. Esta simplificación resulta bastante convincente, ya que se considera que la tipología de viviendas de los barrios se mantiene con el paso de los años.

Como complemento, y para ajustar estos valores tan críticos en la respuesta de la cuenca, mediante recorridas de campo se realizó un relevamiento en donde se observaron las cubiertas de las casas y cantidad de conductos de desagüe en vereda.

También se corrigió el funcionamiento del sistema de desagüe pluvial de la Av. de Circunvalación y su descarga sobre el Emisario 10.

4. Timp: En la presente investigación, se realizó el cómputo de las áreas destinadas a los distintos usos de suelo de cada subcuenca. Luego, en cada una de estas, se ponderaron en las áreas los distintos coeficientes de escorrentía del método racional (C) y se obtiene el C general de cada subcuenca. Este coeficiente es el que se adopta como porcentaje impermeable de cada subcuenca, el cual se utilizará en el modelo digital para cada escenario.
5. DPSI(mm): Es usual considerar que, excepto por las pérdidas iniciales debidas a salpicaduras y almacenamiento en depresiones, la lluvia en áreas impermeables se transformará en caudal en forma completa y habrá contribución al escurrimiento aún si las tormentas son pequeñas. La distribución de precipitación efectiva para la zona impermeable directamente conectada es obtenida después de deducir el almacenamiento por depresiones DPSI.  
En cambio, de terrenos permeables se espera un elevado almacenamiento por depresión y también pérdidas importantes debidas a infiltración.  
Se adoptó un valor negativo (-1) para que el programa utilice formulas internas para su cálculo.
6. Ki(hs): Si se entra un valor ficticio de 0 significa que el coeficiente de almacenamiento será calculado con la ecuación que posee el modelo. Se ingresó con el numero 0 de modo que lo calcule el programa.
7. Kp(hs): Idem item anterior.
8. SLI (%): Se obtuvieron las pendientes de la misma manera que se explica en el ítem 5 de las cuencas rurales.
9. LGI (m): Se calculó de la misma manera que se explica en el ítem 6 de las cuencas rurales.
10. MNI: Este coeficiente de rugosidad varía con las distintas superficies por las que escurre el agua dentro de la cuenca. Se adoptó el valor de 0,02, que es el coeficiente con el que se ingresó en el Informe INA, de manera de no modificar este parámetro para que los resultados sean comparables. Este valor, un poco más grande que el de la rugosidad del hormigón (0,016), resulta lógico si pensáramos en una ponderación entre las distintas coberturas del suelo de las subcuencas.
11. SLP (%): Se obtuvieron las pendientes de la misma manera que se explica en el ítem 5 de las cuencas rurales.
12. LGP (m): Se calculó de la misma manera que se explica en el ítem 6 de las cuencas rurales.
13. MNP: Al igual que el ítem 10, el agua escurre por las distintas cubiertas vegetales de la cuenca, por lo que se toma de manera conservadora un valor de rugosidad un poco más bajo que el del césped (0,032), por lo que se ingresa con un valor de 0,030.

4.4 – Modelo.

Luego de estudiar la cuenca, la urbanización, realizar la división en 16 subcuencas, obtener parámetros de interés y estudiar la trayectoria del emisario principal se realizó un diagrama de flujo de los componentes del sistema cuenca que permitirá su modelización.

Para la realización de dicho diagrama de flujo se trató de respetar lo más fielmente posible la distribución espacial de las subcuencas, pendientes del terreno y sentidos de escurrimiento para la ubicación de nodos de suma de hidrogramas y longitudes de conexión entre nodos, de esta forma se asegura un correcto modelizado del sistema real.

En el diseño del diagrama no se tuvieron en cuenta los sistemas de desagüe pluvial secundarios ya que, para simplificar, se consideran los aportes puntuales de toda la cuenca en el punto de cierre de cada una de ellas, incluyendo así los sistemas secundarios. Debido a esta simplificación se remarca la importancia de estudiar correctamente la ubicación espacial de los nodos y sus distancias, ya que ellos representan aportes puntuales de caudales al emisario principal y deben representar los aportes hechos por la cuenca y por los sistemas secundarios.

A continuación se muestra el diagrama de flujo que representa al Informe INA (Figura 15) a modo de ejemplo y el planteado para nuestra cuenca (Figura 16) con una tabla resumen de longitudes de tramo considerados (Planilla 1).

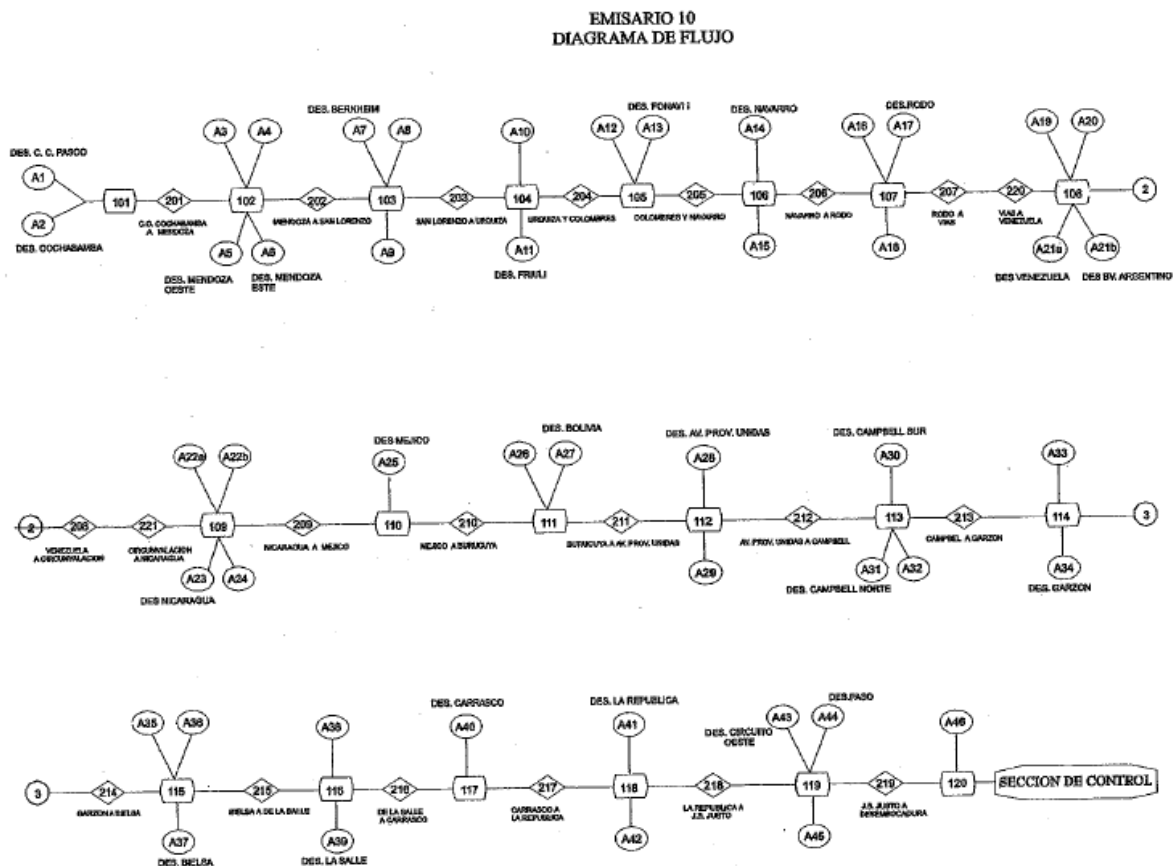


Figura 15: Diagrama de flujo del modelo del informe INA.

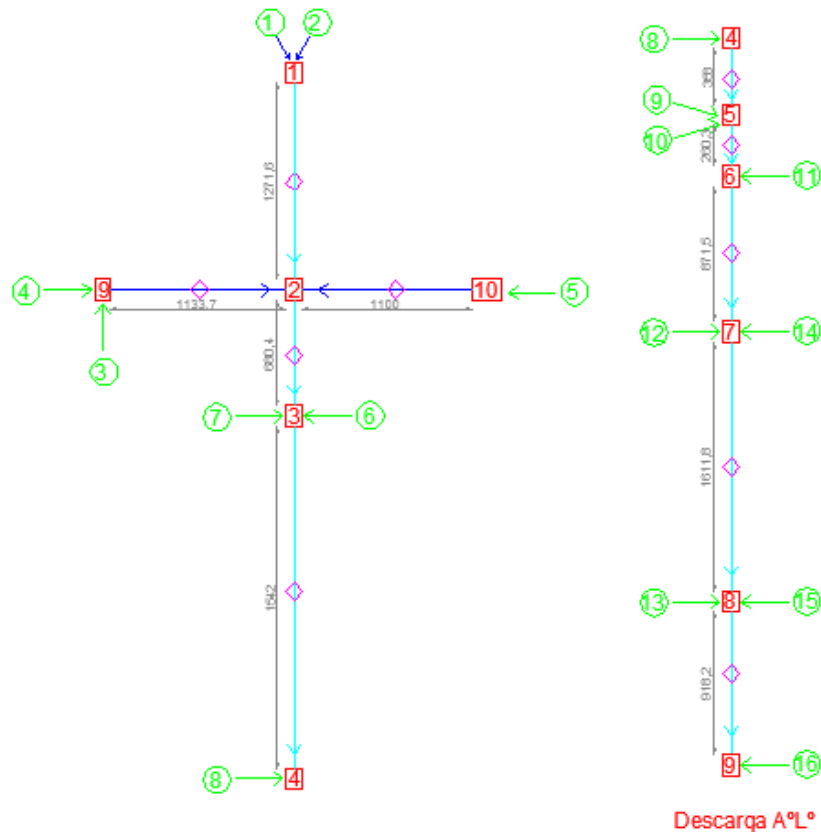


Figura 16: Diagrama de flujo del modelo de proyecto.

Tramo	Longitud (m)	Sección
1-2	1271.60	Trapezoidal
10-2	1100.00	circular
9-2	1133.70	circular
2-3	680.40	circular
3-4	1542.00	circular
4-5	358.00	circular
5-6	260.30	circular
6-7	871.50	circular
7-8	1611.80	circular
8-11	918.20	circular

Planilla 1: longitudes y sección tipo considerados para cada tramo del modelo simplificado.

Las longitudes de cada tramo fueron medidas directamente del plano general de la cuenca con el software AutoCAD.

En el diagrama de flujo propuesto para esta investigación (Figura 16) se observa que los círculos verdes numerados representan las subcuencas donde actúa la lluvia de diseño, los cuadros rojos numerados los nodos de unión donde se unen los hidrogramas de respuesta de cada subcuenca concurrente debido al evento lluvioso, los rombos magenta representa los traslados rígidos del hidrograma (un traslado rígido representa en el modelo un propagación de un hidrograma de un nodo al siguiente sin admitir aportes o



perdidas de caudal durante el traslado) suma generado en cada nodo y las líneas de unión entre nodos celestes y azules representan las trayectorias del emisario principal y secundarios importantes respectivamente.

Una vez planteado el diagrama de flujo se puede modelar el sistema en el modelo ARHYMO y realizar distintas corridas variando parámetros característicos y lluvias de diseño para evaluar distintos comportamientos y respuestas del sistema.

Para verificar el modelo simplificado a 16 subcuencas y su diagrama de flujo propuesto en esta investigación, en primer lugar se realiza una corrida del sistema con los datos del informe INA para la lluvia de diseño adoptada y se comparan valores de respuesta, los cuales deben ser compatibles y similares a los de la corrida del informe INA.

Los conceptos mencionados permitirán conocer el comportamiento de cada subcuenca ante un evento lluvioso. Es decir, que se podrá conocer el volumen de agua que retiene cada subcuenca por infiltración del suelo así como el volumen que escurre, el cual será utilizado para la verificación del conducto principal del emisario 10 para cada escenario propuesto.

A continuación se muestra el modelo de la cuenca del Emisario 10 elaborado en el modelo ArHymo a partir de los datos ingresados (Figura 17):

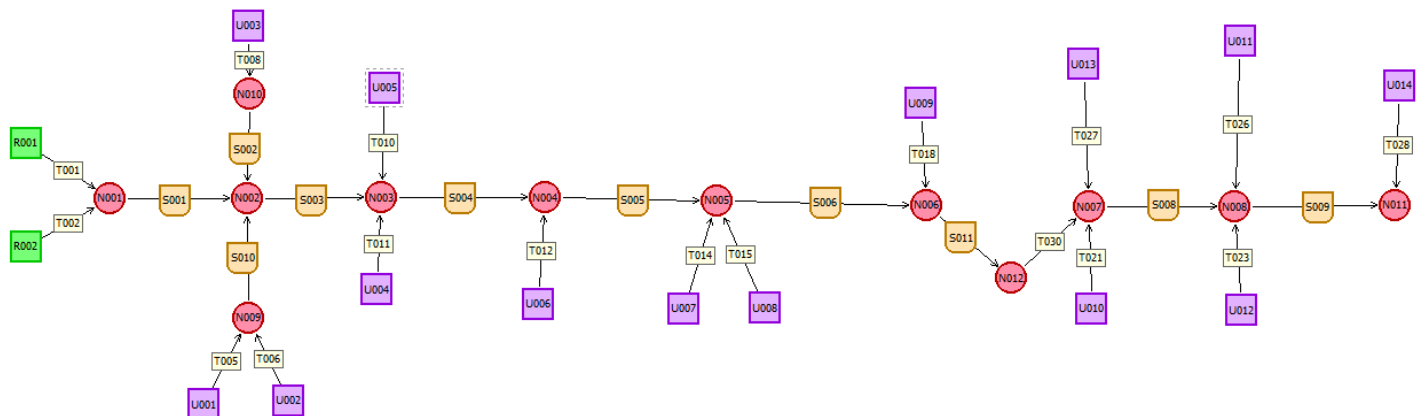


Figura 17: modelo de cuenca ingresado al modelo ARHYMO para realizar las corridas.

-Cuadrados verdes: Cuencas rurales.

-Cuadrados violetas: Cuencas urbanas.

-Círculos rojos: Nodos de suma de hidrogramas de cuencas que arriban a este.

-Cuadrados marrones: traslado rígido de hidrogramas. Equivale a los tramos del conducto del emisario con sus respectivos parámetros característicos (pendiente, rugosidad, diámetro, etc).

## **5. DETERMINACIÓN DE SUBCUENCAS Y PARÁMETROS FÍSICOS.**

Para poder realizar el análisis hidráulico de la cuenca es necesario identificar los parámetros que ayudarán a modelizar el comportamiento de la misma. Para ello se realiza una discretización del sistema en sectores (subcuencas) que reúnen similares características y se determinan esos parámetros para cada una de ellas.

En el informe del INA, en el cual se basa parte de la presente investigación, realiza una partición de la cuenca en 46 subcuencas y determinó en cada una de ellas parámetros de interés como área, porcentaje de impermeabilización, pendiente media, porcentaje de área impermeable directamente conectada al sistema pluvial, etc.

Para simplificar la determinación de características, dado que el objetivo del trabajo no consiste en una modelación tan detallada de la cuenca, se adaptó la discretización original a un sistema compuesto por 16 subcuencas en total. Dicha partición se realizó partiendo de las 46 subcuencas planteadas en el informe INA y agrupando subcuencas que tengan similares características de urbanización, pendientes y áreas para formar las nuevas subcuencas utilizadas en este trabajo. También, para dicha subdivisión, se ha tenido en cuenta la normativa vigente y los planes de urbanización futuros según se plantea en el Plan Urbano Rosario (PUR, 2007) en vigencia actual y en el Programa de Desarrollo de Suelo Industrial Futuro de Rosario, PRODESI 2008/2018, también de aplicación municipal. Es decir, que se ha subdividido la cuenca en función de las zonas que en un futuro serán destinadas a un determinado uso de suelo según consta en el PUR y el PRODESI.

Debido a estas cuestiones de trazado explicadas, se tuvo especial cuidado en la determinación de la traza de la subcuenca n°4 demarcada por las calles Filiberto al norte, Autopista Rosario – Córdoba al sur, Gallegos al oeste y Furlong al este, ya que en la actualidad son terrenos baldíos o suelos sin uso específico pero que la Municipalidad de Rosario tiene planeado en ese lugar, a través de su programa PRODESI 2008/2018, la instalación de un gran parque industrial denso o semidenso. Este gran parque industrial generará en un futuro, un importante caudal de aporte al Emisario 10 debido a la impermeabilidad introducida al suelo. (Figura 18)



Figura 18: Actual zona sin uso donde se prevé la instalación de un gran parque industrial

Otra condición particular que se tuvo en cuenta en la discretización de la cuenca, fue la obra de ampliación de la avenida de Circunvalación, que se encuentra en ejecución en la actualidad, y aporta caudales importantes al emisario en estudio. Para el tratado de esta subcuenca, número 11 de este proyecto, se obtuvieron los planos del nuevo sistema de desagüe propio de la avenida y se observó que la zona de la

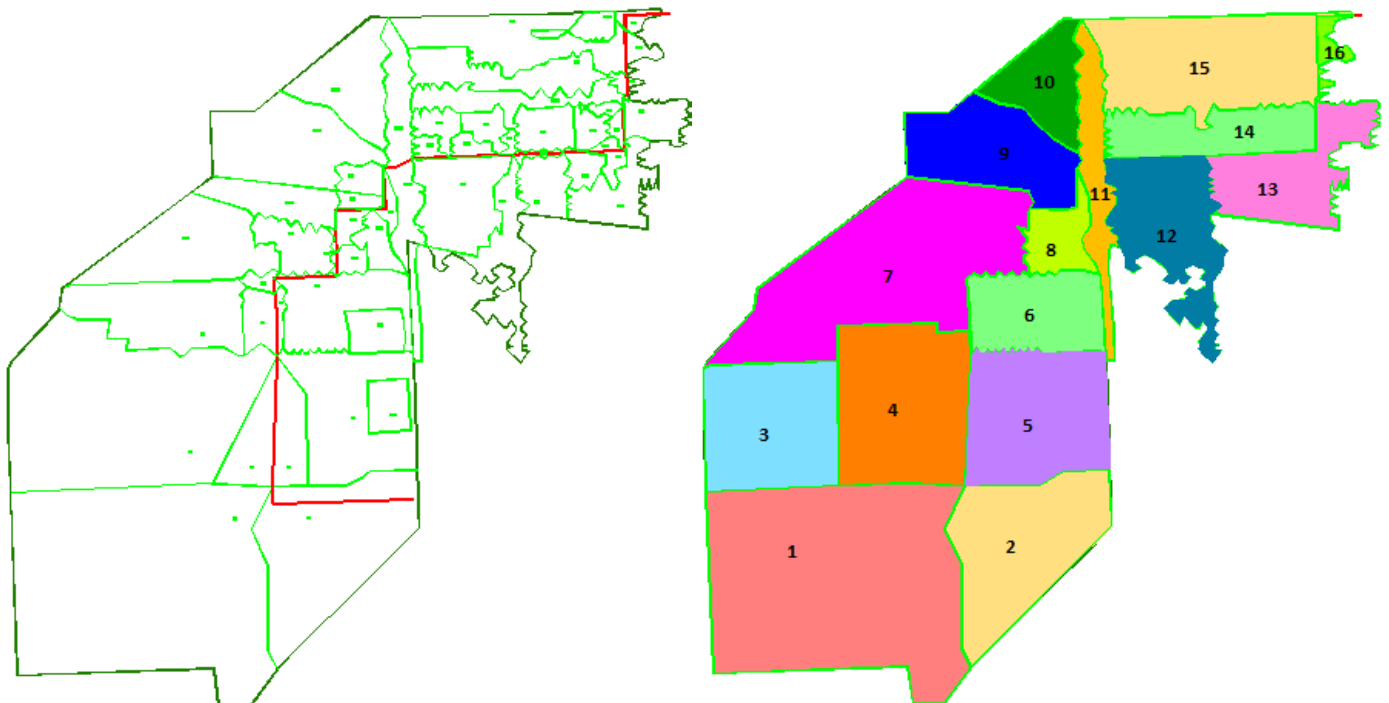
traza que pertenece a la cuenca del emisario n°10, descarga sobre el conducto principal en la intersección de Circunvalación y Gorriti. (Figuras 19a y b)



Figuras 19a y b: Embocadura del sistema de desagüe pluvial de Av. De Circunvalación sobre conducto principal del emisario.

Cuestiones como estas son importantes de diferenciar y estudiar en detalle ya que es importante tenerlas en cuenta en la división de subcuencas para poder obtener un modelo que permita un correcto funcionamiento para los distintos escenarios futuros a plantear.

A continuación se muestran imágenes y tablas de la cuenca del Emisario 10 con la división en 46 subcuencas realizada por el INA en su informe (Figura 20a y Planilla 2) y las 16 subcuencas que se utilizaron en esta investigación (Figura 20b y Planilla 3):



Figuras 20a y b: Subcuencas INA (izq.) y subcuencas proyecto (der.)

SUBCUENCAS INA							
Subcuencas	Aerea rural (Ha)	Aerea urbana (Ha)	Area total (Ha)	Subcuencas	Aerea rural (Ha)	Aerea urbana (Ha)	Area total (Ha)
A1	345.8	13.7	359.5	A23	-	55.1	55.1
A2 a	127.6	15.4	155	A24	-	4.81	4.81
A2 b		12		A25	-	11.1	11.1
A3	28.9	0	28.9	A26	-	6.3	6.3
A4	38	0	38	A27	-	10	10
A5	263.6	0	263.6	A28	-	43	43
A6	32.5	41	73.5	A29	-	2.2	2.2
A7	44.5	35.1	79.6	A30	-	21.4	21.4
A8	-	15.2	15.2	A31	-	19	19
A9	-	3.6	3.6	A32	-	2.46	2.46
A10	-	4.53	4.53	A33	-	9.1	9.1
A11	68.5	14.5	83	A34	-	8.9	8.9
A12	-	52	52	A35	-	2.11	2.11
A13 norte	-	17.1	33.4	A36	-	4.7	4.7
A13 sur	-	16.3		A37	-	31.2	31.2
A14	-	24.5	24.5	A38	-	3.6	3.6
A15	-	6.8	6.8	A39	-	18.1	18.1
A16	-	8	8	A40	-	3	3
A17	-	12.73	12.73	A41	-	45.9	45.9
A18	-	4.9	4.9	A42	-	1.28	1.28
A19	-	10.1	10.1	A43	-	60.5	60.5
A20	-	5.6	5.6	A44	-	74.1	74.1
A21 a	-	84.59	139.57	A45	-	5.67	5.67
A21 b		54.98		A46	-	4.97	4.97
A22 a	-	25.6	43.7				
A22 b		18.1					

Planilla 2: Áreas subcuencas informe INA.

Subuenca	Descripción	Área urbana (Ha)
1	A1	359.50
2	A2	142.00
3	*	126.00
4	Área industrial	155.00
5	A4+A6+A13 sur	127.80
6	A9+A12+A13 norte	72.70
7	A7+A8+A10+A11+A14+A44	247.83
8	A15+A16+A17+A20	33.13
9	A18+A19+A21a	99.59
10	A21b	54.98
11	A22 a + A22 b	42.30
12	A23 + A28	98.1
13	A30+A33+A36+A37+A39	84.50
14	A24+A25+A26+A27+A29+A31+A32+A34+A35+A38+A40	73.48
15	41+43+44	148.40
16	A42+A45+A46	11.92

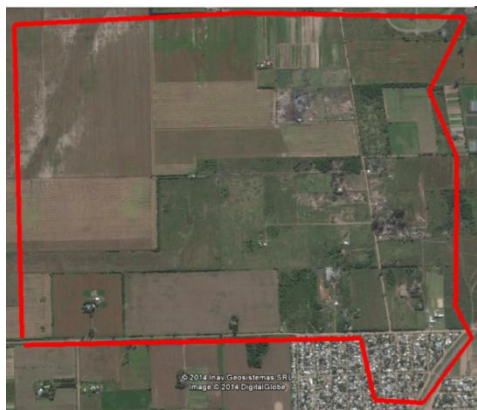
Planilla 3: Áreas subcuencas proyecto.

Para cada una de estas subcuencas, fueron calculados las áreas y las pendientes medias como primeros parámetros físicos. Las áreas de cada subcuenca se obtuvieron computándose con la utilización del software AutoCAD. Las pendientes medias surgen a partir de medir el desnivel que existe entre el punto de aporte de la subcuenca más alto y alejado sobre el recorrido ficticio más crítico, hasta que ingresa al emisario. Para poder realizar esto, se utilizaron las curvas de nivel del sector en estudio y se plantearon distintos recorridos posibles hasta encontrar el más crítico.

Se observaron características como: cantidad, distribución y dimensiones de espacios verdes en vereda, estados de pavimentación, existencia de cordón cuneta o zanjas de desagüe pluvial y lotes baldíos o no construidos a fin de cuantificarlos y tenerlos en cuenta para futuras utilización en soluciones propuestas.

A continuación se muestran imágenes satelitales de cada subcuenca con algunos datos correspondientes:

<b>Subcuenca 1</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b>ΔH (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
3,6	rural	2,73	3	0,11



<b>Subcuenca 2</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b>ΔH (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
1,42	rural	1,12	2	0,18



<b>Subcuenca 3</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
1,26	urbana	1,62	1,5	0,09



<b>Subcuenca 4</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
1,55	urbana	1,13	1,25	0,11



<b>Subcuenca 5</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
1,28	urbana	1,56	2,5	0,16



Subcuenca 6				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
0,73	urbana	1,27	2,00	0,16



Subcuenca 7				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
2,48	urbana	3,1	3,00	0,1



Subcuenca 8				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
0,33	0,72	0,72	1,00	0,14



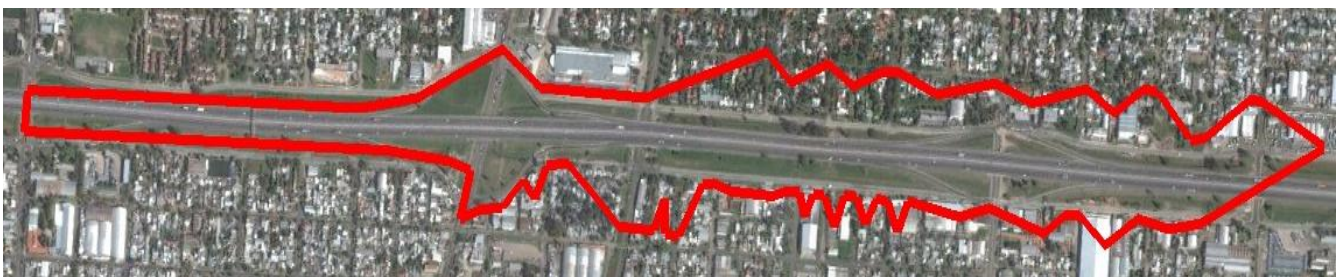
<b>Subcuenca 9</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
1	urbana	1,58	3,00	0,19



<b>Subcuenca 10</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
0,55	urbana	1,32	1,00	0,08



<b>Subcuenca 11</b>				
AREA (Km2)	TIPO	LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)	$\Delta H$ (m)	Pendiente [%]
0,42	urbana	1,74	3,00	0,17





<b>Subcuenca 12</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
0.98	urbana	1.71	4.00	0.23



<b>Subcuenca 13</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
0.85	urbana	1.01	2.50	0.25



<b>Subcuenca 14</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
0.73	urbana	0.96	3.00	0.31



<b>Subcuenca 15</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>



<b>Subcuenca 16</b>				
<b>AREA (Km2)</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONG DE ESCURRIMIENTO (KM)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	<b>Pendiente [%]</b>
0.12	urbana	0.81	2.00	0.25



A demás, se recorrió a nivel de calle la longitud total del emisario principal para estudiar su recorrido, estado actual, ampliaciones y puntos de particular interés para la modelización. Se recorrieron también con el mismo propósito, canales principales que descargan sobre el emisario principal y se observo que el estado de los mismos al momento de la recorrida no era el óptimo, sino que se encontraban muy faltos de mantenimiento con algo de basura y mucha vegetación muy crecida dentro del cauce lo cual disminuye considerablemente su eficiencia hidráulica. (Figuras 21a y b)



Figuras 21a y b: Desembocadura del emisario principal al arroyo Ludueña (izq). Canal Camino de los Muertos (der).

## **6. CALIBRACIÓN MODELO PROPUESTO.**

Para poder compatibilizar los datos de las 46 subcuencas INA con las 16 subcuencas propuestas en el presente, se adoptaron valores promedio de los parámetros de las subcuencas del informe INA que engloba cada subcuenca del presente trabajo. Es decir, se tomaron los valores del informe INA y se promediaron entre ellos para adaptarlos a las 16 subcuencas de esta investigación.

De esta forma se van realizando corridas y reajustando valores de parámetros hasta que los hidrogramas de salida sean comparables a los del informe INA para calibrar el modelo y tener certeza de su buen funcionamiento.

Como se mencionó anteriormente, con el fin de comprobar los parámetros utilizados para representar la situación actual de la cuenca y que las simplificaciones e hipótesis realizadas sean representativas, se comparan los resultados obtenidos en la corrida actual (Planilla 5), modelo propuesto con los datos originales del informe INA, con el resultado arrojado por el Informe INA del año 2003 (Planilla 4).

A partir de los resultados obtenidos se pueden comparar los caudales picos en cada tramo del conducto principal con las capacidades máximas del Emisario 10, lo cual se muestra a continuación.

<b>Informe INA</b>				
<b>Conducción por calle</b>	<b>Tramo</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Capacidad (m3/seg)</b>	<b>Tr = 10 años Q (m3/seg)</b>
Furlong	CC Cochamba - Mendoza	Trapezial		5.80
	Mendoza - San Lorenzo			7.70
Friuli	San Lorenzo - Urquiza			8.70
Urquiza	Friuli - Colombres			10.00
Colombres	Urquiza - Chassaing			10.70
Chassaing	Colombres - Rodo	3.20	19.07	13.00
	Rodo - Venezuela	3.20	19.07	15.00
Venezuela	Chassaing - Gorriti	3.90	29.98	15.00
Gorriti	Venezuela - Av. Circunvalación	3.90	29.98	22.00
	Av. Circunvalación - Nicaragua	4.20	32.16	21.70
	Nicaragua - Méjico	4.30	32.3	27.00
	Méjico - Bolivia	4.30	32.3	26.80
	Bolivia - Av. Provincias Unidas	4.30	32.3	27.30
	Av. Provincias Unidas - Campbell	4.50	32.3	33.60
	Campbell - Garzón	4.50	36.47	34.60
Rouillón	Garzón - Rouillón	4.50	36.47	34.70
	Gorriti - Bielsa	4.50	36.47	34.70
	Bielsa - De la Salle	4.50	38.66	36.40
	De la Salle - Carrasco	4.50	38.66	38.40
	Carrasco - La Republica	4.50	38.66	37.40
	Cabal	La Republica - Génova	4.50	38.66
Génova - J.B. Justo		4.50	38.66	44.00
Lavardén	Cabal - Desembocadura	4.50	38.66	50.00

Planilla 4: resultados informe INA.

## Informe proyecto

Tramos	Diámetro (m)	Capacidad (m3/seg)	Tr = 10 años Q (m3/seg)
Cochabamba - Mendoza	sección trapezoidal	-	-
2-3	3.20	16.77	14.14
3-4	3.90	26.35	18.42
4-5	3.90	26.35	18.64
5-6	4.20	28.27	24.97
6-7	4.20	26.67	24.97
7-8	4.50	32.06	35.93
8-11	4.50	33.98	Error

Planilla 5: resultados modelo simplificado con datos de Informe INA.

Actualmente el conducto existente posee, en su entubamiento, un diámetro de 3,20m y alcanza un diámetro de 4,50m en su desembocadura sobre el Arroyo Ludueña.

En el Informe INA se puede observar que solo se supera la capacidad máxima a partir de la calle La República hasta su desembocadura (filas pintadas amarillo), resultando insuficiente el caño de 4,50 m de diámetro (Planilla 4).

En la modelización para la presente investigación (Informe proyecto) (Planilla 5), se observa que el conducto actual es superado a partir del tramo 7-8, resultando insuficiente el diámetro de 4.50m.

Allí se pueden ver la consistencia de los datos, ya que ambas simulaciones presentan inconvenientes de capacidad en la misma zona aproximadamente.

En el caso del modelo de proyecto presente el conducto se ve superado aproximadamente unos quinientos metros antes que en el informe INA. Esto se debe principalmente a las simplificaciones adoptadas para la realización de este modelo propuesto.

En la anterior tabla de caudales del “Informe proyecto” se muestra un error para el último tramo. Esto se debe a que, como se ve superada la capacidad del conducto, el modelo ARHYMO arroja una inconsistencia numérica propia del software para estas situaciones, por lo que los caudales calculados resultan menores a los anteriores.

A continuación se plantearán distintos escenarios futuros de uso de suelo y se determinarán, para cada caso, coeficientes de escorrentía, áreas impermeables, porcentajes de áreas impermeables directamente conectado y demás parámetros que exige el modelo ARHYMO para poder modelizar el comportamiento de la cuenca en cada caso a fin de poder comparar distintas soluciones a la problemática expuesta y evaluar la conveniencia de cada una en la resolución del comportamiento hidráulico del Emisario 10.

## **7. EXPLOTACIÓN DEL MODELO PARA ESCENARIOS FUTUROS.**

Con el modelo de la cuenca ya establecido y en correcto funcionamiento según las calibraciones y comparaciones realizadas con los resultados del Informe INA, se pueden variar los parámetros característicos de cada subcuenca para obtener distintos resultados de caudales de escurrimiento superficial, lo que permite estudiar distintas alternativas de funcionamiento del emisario principal según diferentes estados de urbanización a proponer. Es decir, obtener distintos escenarios futuros de estudio.

A continuación se modelizará la cuenca del emisario 10 con distintos estados de urbanización propuestos, para evaluar su funcionamiento hidráulico, comparar mejoras y estimar costos de ejecución a fin de evaluar conveniencia de cada uno. Los escenarios a investigar serán los siguientes:

- ESCENARIO 0: estado actual de urbanización de la cuenca.
- ESCENARIO 1: Estado de urbanización futura de la cuenca según el PUR 2007/2017.
- ESCENARIO 2: Área rural urbanizada. Este es un escenario pesimista en el cual se considera completamente urbanizadas las subcuencas 1 y 2 del modelo, actualmente de uso agrícola.
- ESCENARIO 3: Escenario optimista. Se considera un aumento de la superficie AFUP (Agricultura y Forestación Urbana y Peri-urbana) y áreas urbanizadas con centro de manzana forestado y/o techos verdes.

Estos escenarios de urbanización futura fueron brindados por la Arquitecta Laura Bracalenti, quien con un grupo de alumnos de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (FAPyD) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) realizaron un meticuloso recorrido de toda la cuenca para establecer el Escenario 0 y proponer el resto de los escenarios futuros de manera que resulten escenarios urbanísticamente posibles de concretar. La información suministrada fue elaborada en el marco de un proyecto de investigación tendiente a la reducción de riesgo de inundación urbana mediante incremento de áreas para la agricultura y la forestación urbana y periurbana (Zimmermann y Bracalenti 2014).

La información brindada por el grupo FAPyD consiste en imágenes de la cuenca del emisario 10 en su totalidad, donde se especifica en cada color, cada uno de los distintos usos de suelo junto con una tabla donde se muestran los subtotales de cada una de las áreas (en m<sup>2</sup>) de los ítems, con su respectivo coeficiente de escurrimiento. Los mismos, son los que se muestran en la presentación de cada uno de los escenarios.

Para poder realizar las diferentes corridas de cada uno de los escenarios, se necesitó cuantificar el coeficiente de escurrimiento (C) de cada una de las subcuencas. Por lo que a partir de la información recolectada, se realizaron los cálculos individuales de cada una de las 16 subcuencas de la cuenca del emisario 10 respetando los usos de suelo propuestos por el grupo de la FAPyD (véase en Anexo 1).

A continuación se presenta un cuadro resumen donde se pueden observar dichos valores (Planilla 6):

Coeficiente C				
Subcuenca	Situación Actual	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
1	0.30	0.30	0.65	0.20
2	0.37	0.37	0.66	0.25
3	0.46	0.54	0.55	0.45
4	0.41	0.63	0.66	0.52
5	0.54	0.61	0.61	0.50
6	0.62	0.62	0.62	0.61
7	0.54	0.54	0.55	0.53
8	0.66	0.66	0.67	0.66
9	0.60	0.60	0.60	0.59
10	0.64	0.64	0.64	0.63
11	0.56	0.56	0.56	0.56
12	0.70	0.70	0.70	0.69
13	0.65	0.65	0.65	0.65
14	0.67	0.67	0.67	0.66
15	0.68	0.68	0.68	0.67
16	0.68	0.68	0.68	0.67

Planilla 6: resumen coeficientes C obtenidos para cada subcuenca en cada escenario planteado.

Del análisis de la recorrida de campo y de los escenarios obtenidos se llega a la conclusión de que, debido al avanzado estado de urbanización de la cuenca, no es posible introducir cambios o mejoras en toda la parte norte de la cuenca, esto es, en todas las subcuencas a excepción de las subcuencas 1, 2, 3, 4 y parte de la 5. Por este motivo, en los escenarios a estudiar solo se proponen cambios en esas subcuencas y todo el resto de la cuenca se deja sin cambios, a excepción de algunas modificaciones en el espacio público (calles y veredas) que serán explicados más adelante. Es por ello que en la tabla anterior se mantienen los coeficientes C de dichas subcuencas.

Según lo dicho anteriormente, la zona de la cuenca propicia a introducir modificaciones para evaluar comportamiento hidráulico, es la siguiente (figura 22):

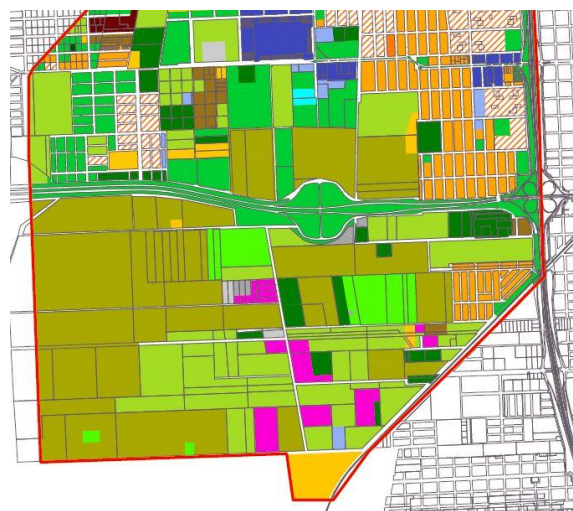


Figura 22: Escenario 0. Subcuencas a modificar.

En las siguientes imágenes de los distintos escenarios se observa en colores fuertes las subcuencas donde se introducen cambios y en colores suaves el resto de la cuenca donde por su avanzado grado de urbanización actual no es posible prever cambios a futuro.

A continuación se mostrará para cada escenario las tablas con los distintos usos de suelo computados y sus correspondientes coeficientes de escorrentía para el total de la cuenca del emisario 10, según el grupo de trabajo de la FAPyD.

- ESCENARIO 0: Situación ACTUAL

Este escenario (Figura 23) representa las condiciones actuales encontradas en la cuenca en estudio, es decir, representara el funcionamiento del emisario 10 conduciendo las aguas pluviales de escurrimiento directo producidas por las características actuales de urbanización de la cuenca.

El escenario actual es el siguiente:

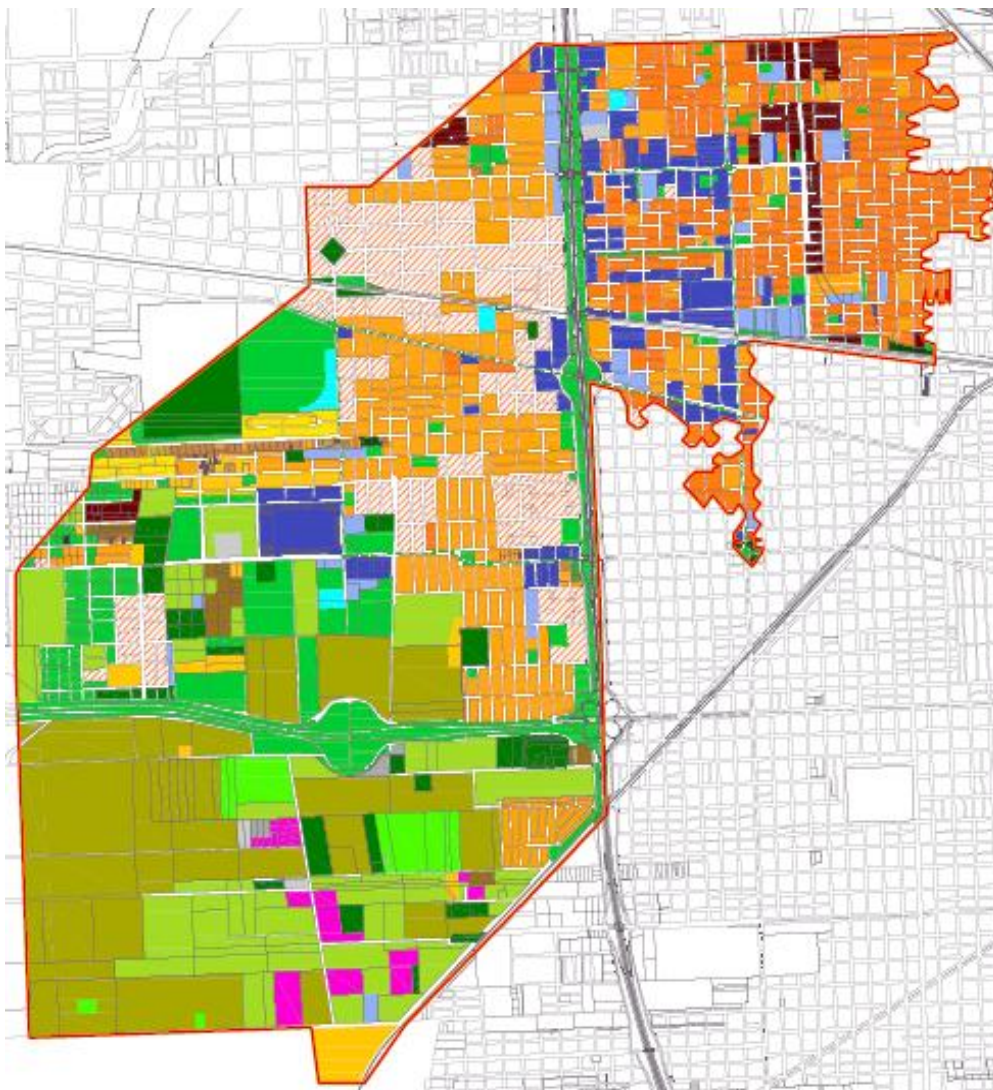


Figura 23: ESCENARIO 0. Cuenca emisario 10 y usos de suelo según colores.



Los datos computados de este escenario se muestran a continuación (Planilla 7):

**SUB CUENCA EMISARIO 10 - ESCENARIO CERO (SITUACION ACTUAL)**

CALLE	02.-PAVIMENTO (m <sup>2</sup> )		2,185,115.19	NOTA: EL VALOR DEL ITEM 01 ES SUPERFICIE TOTAL DE CALLES Y ESTA DESAGREGADO EN LOS ITEMS 02/16/17/22/23 (QUE APARECEN A LA IZQUIERDA), LOS CUALES SE SUMAN A LAS SUPERFICIES CORRESPONDIENTES A LOS MISMOS ITEMS QUE FIGURAN EN LA TABLA INFERIOR, LAS CUALES FUERON CUANTIFICADAS MEDIANTE EL ANALISIS DE LAS MANZANAS.	
	16.-VERDE en ACERAS (m <sup>2</sup> )		132,475.80		
	17.-TIERRA (m <sup>2</sup> )		702,115.08		
	22.-FORESTAL > 50 % (m <sup>2</sup> )		608,037.49		
	23.-FORESTAL < 50 % (m <sup>2</sup> )		370,155.86		
Color	Uso de suelo	Superficie en m2	C	% Sup	
1	Calles (aceras y calzadas) (*)	<b>3,997,899.43</b>			
2	Pavimentos en espacios públicos	2,187,217.67	<b>0.90</b>	11.5	
3	Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (< OCUPACION DE SUELO)	2,296,804.16	<b>0.60</b>	12.1	
4	Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (> OCUPACION DE SUELO)	1,579,613.31	<b>0.65</b>	8.3	
5	Vivienda unifamiliar con centro de manzana forestado	810,390.67	<b>0.57</b>	4.3	
6	Viviendas multi - unidades, hasta 4 pisos	5,355.96	<b>0.70</b>	0.0	
7	Viviendas multi - unidades, mas de 4 pisos	566.04	<b>0.65</b>	0.0	
8	Viviendas multi unidades con acera, centro de Mz. y terraza verde	244,904.84	<b>0.48</b>	1.3	
9	Residencial o suburbano	339,961.14	<b>0.59</b>	1.8	
10	Barrio cerrado	137,203.53	<b>0.48</b>	0.7	
11	Area comercial y de negocios	0.00	<b>0.60</b>	0.0	
12	Asentamientos irregulares incipiente	118,357.77	<b>0.56</b>	0.6	
13	Asentamientos irregulares consolidados	269,923.67	<b>0.70</b>	1.4	
14	Industrial poco densa	346,599.51	<b>0.70</b>	1.8	
15	Industrial densa	841,016.63	<b>0.80</b>	4.4	
16	Pasto/prado/césped suelo arcillo-limoso	2,035,547.84	<b>0.30</b>	10.7	
17	Suelo desnudo compactado	754,772.50	<b>0.63</b>	4.0	
18	Cultivo extensivo	2,938,434.23	<b>0.21</b>	15.4	
19	Cultivo hortícola tradicional	297,929.14	<b>0.20</b>	1.6	
20	Cultivo hortícola agroecológico	0.00	<b>0.10</b>	0.0	
21	Forestal : bosques denso	0.00	<b>0.13</b>	0.0	
22	Forestal : ( más del 50% del terreno cubierto)	633,127.51	<b>0.23</b>	3.3	
23	Forestal : ( menos del 50% del terreno cubierto)	1,044,096.14	<b>0.33</b>	5.5	
24	Escasa vegetación (no compactado por la actividad humana )	1,830,273.75	<b>0.44</b>	9.6	
25	Ladrilleras	234,080.62	<b>0.63</b>	1.2	
26	Ladrilleras con construcciones dispersas	0.00	<b>0.74</b>	0.0	
27	Basurales	30,273.60	<b>0.63</b>	0.2	
28	Cursos de agua, Cavas	0.00	<b>0.00</b>	0.0	
29	Equipamiento deportivo sobre terreno forestado	72,062.02	<b>0.30</b>	0.4	
<b>SUBTOTAL</b>		<b>19,048,512.26</b>			
		<b>C medio</b>	<b>0.51</b>		

Planilla 7: cómputo escenario 0. Situación actual.

- ESCENARIO 1: PUR 2007/2017

En este escenario (Figura 24 y Planilla 8), según el plan urbano 2007-2017, los cambios se introducen en las cuencas 3,4 y 5, en donde se planifica una zona exclusivamente industrial en la subcuena 4, y se reordenan viviendas de una misma tipología, fundamentalmente en las subcuencas 3 y 5:

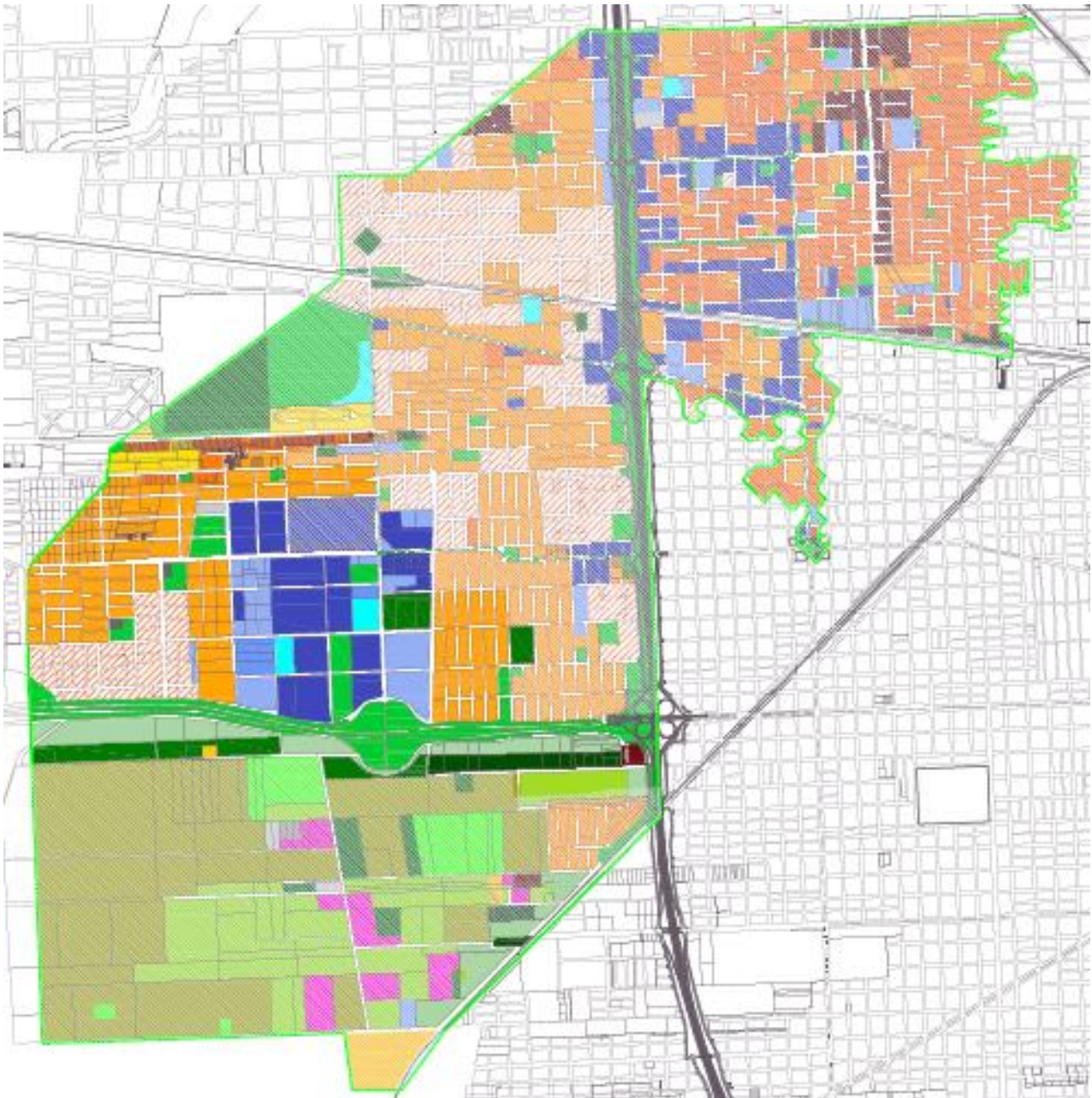


Figura 24: Escenario 1.

**SUB CUENCA EMISARIO 10 - ESENERIO UNO (PLAN URBANO ROSARIO (PUR) 2007-2017)**

**ESCENARIO 1**

<b>CALLES</b>	<b>02.-PAVIMENTO (m<sup>2</sup>)</b>	2,284,077.83	NOTA: EL VALOR DEL ITEM 01 ES SUPERFICIE TOTAL DE CALLES Y ESTA DESAGREGADO EN LOS ITEMS 02/16/17/22/23 (QUE APARECEN A LA IZQUIERDA), LOS CUALES SE SUMAN A LAS SUPERFICIES CORRESPONDIENTES A LOS MISMOS ITEMS QUE FIGURAN EN LA TABLA INFERIOR, LAS CUALES FUERON CUANTIFICADAS MEDIANTE EL ANALISIS DE LAS MANZANAS.
	<b>16.-VERDE en ACERAS (m<sup>2</sup>)</b>	143,956.50	
	<b>17.-TIERRA (m<sup>2</sup>)</b>	763,497.31	
	<b>22.-FORESTAL &gt; 50 % (m<sup>2</sup>)</b>	649,148.51	
	<b>23.-FORESTAL &lt; 50 % (m<sup>2</sup>)</b>	388,800.59	

	Color	Uso de suelo	Superficie en m2	C	% Sup
1		Calles (aceras y calzadas) (*)	<b>4,229,480.73</b>		
2		Pavimentos en espacios públicos	2,303,472.17	<b>0.90</b>	12.1
3		Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (< OCUPACION DE SUELO)	3,215,338.44	<b>0.60</b>	16.9
4		Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (> OCUPACION DE SUELO)	1,579,613.31	<b>0.65</b>	8.3
5		Vivienda unifamiliar con centro de manzana forestado	920,185.75	<b>0.57</b>	4.8
6		Viviendas multi - unidades, hasta 4 pisos	5,355.96	<b>0.70</b>	0.0
7		Viviendas multi - unidades, mas de 4 pisos	566.04	<b>0.65</b>	0.0
8		Viviendas multi unidades con acera, centro de Mz. y terraza verde	244,904.84	<b>0.48</b>	1.3
9		Residencial o suburbano	130,597.57	<b>0.59</b>	0.7
10		Barrio cerrado	137,203.53	<b>0.48</b>	0.7
11		Area comercial y de negocios	0.00	<b>0.60</b>	0.0
12		Asentamientos irregulares incipiente	0.00	<b>0.56</b>	0.0
13		Asentamientos irregulares consolidados	257,039.41	<b>0.70</b>	1.3
14		Industrial poco densa	575,154.11	<b>0.70</b>	3.0
15		Industrial densa	1,279,223.24	<b>0.80</b>	6.7
16		Pasto/prado/césped suelo arcillo-limoso	1,460,704.10	<b>0.30</b>	7.7
17		Suelo desnudo compactado	804,157.14	<b>0.63</b>	4.2
18		Cultivo extensivo	2,204,590.94	<b>0.21</b>	11.6
19		Cultivo hortícola tradicional	297,929.14	<b>0.20</b>	1.6
20		Cultivo hortícola agroecológico	456,857.07	<b>0.10</b>	2.4
21		Forestal : bosques denso	0.00	<b>0.13</b>	0.0
22		Forestal : ( más del 50% del terreno cubierto)	853,546.10	<b>0.23</b>	4.5
23		Forestal : ( menos del 50% del terreno cubierto)	1,049,988.74	<b>0.33</b>	5.5
24		Escasa vegetación (no compactado por la actividad humana )	920,757.06	<b>0.44</b>	4.8
25		Ladrilleras	234,080.62	<b>0.63</b>	1.2
26		Ladrilleras con construcciones dispersas	0.00	<b>0.74</b>	0.0
27		Basurales	13,759.62	<b>0.63</b>	0.1
28		Cursos de agua, Cavas	0.00	<b>0.00</b>	0.0
29		Equipamiento deportivo sobre terreno forestado	103,487.37	<b>0.30</b>	0.5
<b>SUBTOTAL</b>			<b>19,048,512.26</b>		
			<b>C medio</b>	<b>0.53</b>	

- ESCENARIO 2: ÁREA RURAL URBANIZADA.

Este escenario pesimista considera completamente urbanizadas las subcuencas 1, 2, que actualmente son de uso agrícola, y las 3 y 5. Además de una zona industrial densa y poco densa en la subcuenca 4 (Figura 25 y planilla 9):

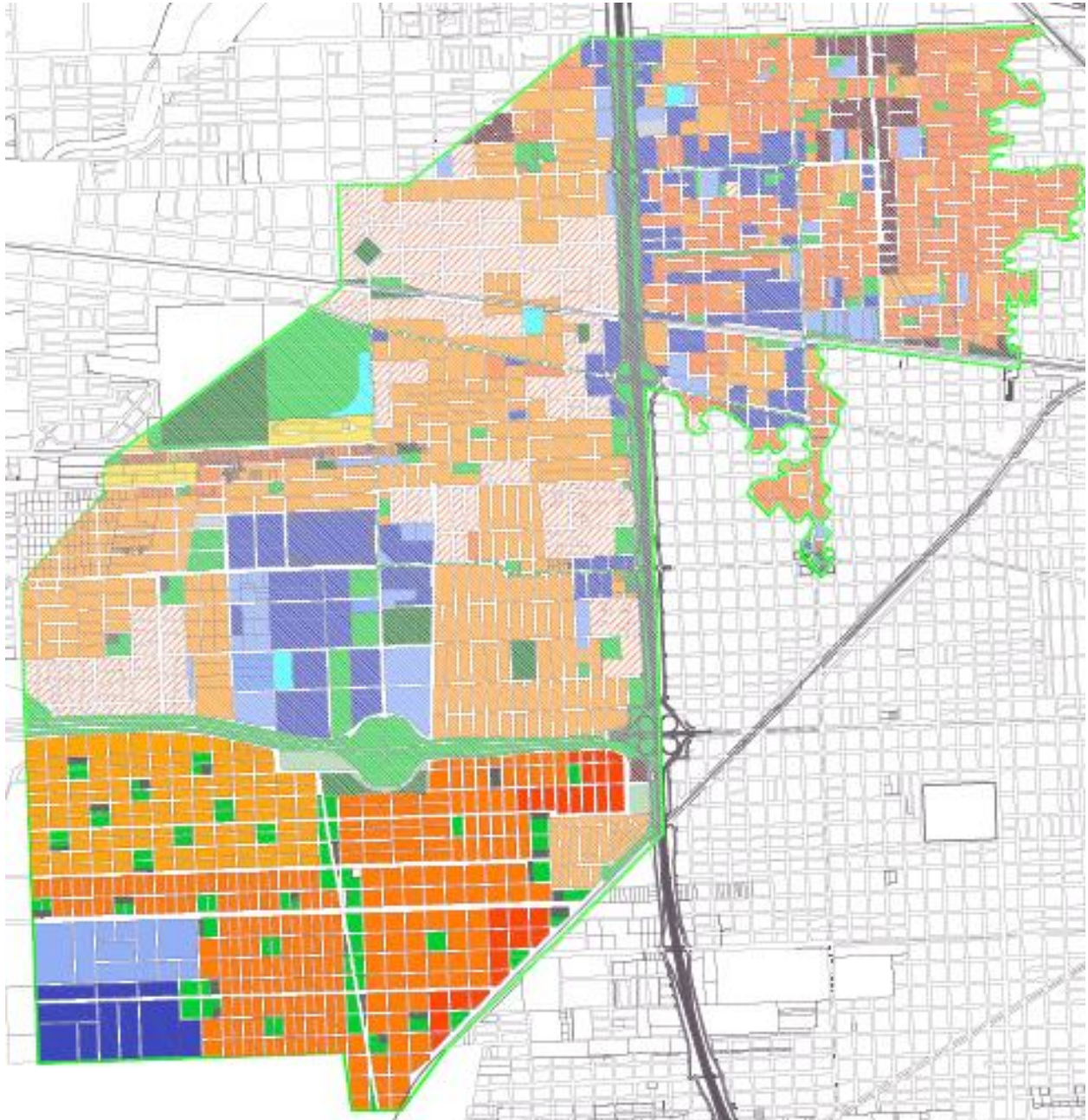


Figura 25: Escenario 2, pesimista.

**SUB CUENCA EMISARIO 10 - ESCENARIO DOS (AREA RURAL URBANIZADA)**

<b>CALLES</b>	<b>02.-PAVIMENTO (m<sup>2</sup>)</b>	2,738,728.19	NOTA: EL VALOR DEL ITEM 01 ES SUPERFICIE TOTAL DE CALLES Y ESTA DESAGREGADO EN LOS ITEMS 02/16/17/22/23 (QUE APARECEN A LA IZQUIERDA), LOS CUALES SE SUMAN A LAS SUPERFICIES CORRESPONDIENTES A LOS MISMOS ITEMS QUE FIGURAN EN LA TABLA INFERIOR, LAS CUALES FUERON CUANTIFICADAS MEDIANTE EL ANALISIS DE LAS MANZANAS.
	<b>16.-VERDE en ACERAS (m<sup>2</sup>)</b>	185,183.31	
	<b>17.-TIERRA (m<sup>2</sup>)</b>	1,235,866.15	
	<b>22.-FORESTAL &gt; 50 % (m<sup>2</sup>)</b>	792,328.88	
	<b>23.-FORESTAL &lt; 50 % (m<sup>2</sup>)</b>	331,404.83	

	Color	Uso de suelo	Superficie en m2	C	% Sup
1		Calles (aceras y calzadas) (*)	<b>5,283,511.36</b>		
2		Pavimentos en espacios públicos	2,829,513.05	<b>0.90</b>	14.9
3		Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (< OCUPACION DE SUELO)	4,182,563.31	<b>0.60</b>	22.0
4		Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (> OCUPACION DE SUELO)	3,136,644.15	<b>0.65</b>	16.5
5		Vivienda unifamiliar con centro de manzana forestado	920,185.75	<b>0.57</b>	4.8
6		Viviendas multi - unidades, hasta 4 pisos	224,077.41	<b>0.70</b>	1.2
7		Viviendas multi - unidades, mas de 4 pisos	566.04	<b>0.65</b>	0.0
8		Viviendas multi unidades con acera, centro de Mz. y terraza verde	244,904.84	<b>0.48</b>	1.3
9		Residencial o suburbano	0.00	<b>0.59</b>	0.0
10		Barrio cerrado	137,203.53	<b>0.48</b>	0.7
11		Área comercial y de negocios	0.00	<b>0.60</b>	0.0
12		Asentamientos irregulares incipiente	0.00	<b>0.56</b>	0.0
13		Asentamientos irregulares consolidados	243,019.74	<b>0.70</b>	1.3
14		Industrial poco densa	796,349.17	<b>0.70</b>	4.2
15		Industrial densa	1,585,568.73	<b>0.80</b>	8.3
16		Pasto/prado/césped suelo arcillo-limoso	1,749,728.35	<b>0.30</b>	9.2
17		Suelo desnudo compactado	1,256,387.45	<b>0.63</b>	6.6
18		Cultivo extensivo	0.00	<b>0.21</b>	0.0
19		Cultivo hortícola tradicional	0.00	<b>0.20</b>	0.0
20		Cultivo hortícola agroecológico	60,612.86	<b>0.10</b>	0.3
21		Forestal : bosques denso	0.00	<b>0.13</b>	0.0
22		Forestal : ( más del 50% del terreno cubierto)	899,441.20	<b>0.23</b>	4.7
23		Forestal : ( menos del 50% del terreno cubierto)	678,259.31	<b>0.33</b>	3.6
24		Escasa vegetación (no compactado por la actividad humana )	0.00	<b>0.44</b>	0.0
25		Ladrilleras	0.00	<b>0.63</b>	0.0
26		Ladrilleras con construcciones dispersas	0.00	<b>0.74</b>	0.0
27		Basurales	0.00	<b>0.63</b>	0.0
28		Cursos de agua, Cavas	0.00	<b>0.00</b>	0.0
29		Equipamiento deportivo sobre terreno forestado	103,487.37	<b>0.30</b>	0.5

**SUBTOTAL 19,048,512.26**

**C medio 0.62**

Planilla 9: cómputo escenario 2, pesimista.

- ESCENARIO 3: ESCENARIO VERDE

Este escenario optimista, considera un aumento de la superficie AFUP, Agricultura y Forestación Urbana y Peri-urbana, en las subcuencas 1 y 2, una zona industrial poco densa en la subcuenca 4 y áreas urbanizadas con centro de manzana forestado y/o techos verdes en las subcuencas 3 y 5. (Figura 26 y Planilla 10)

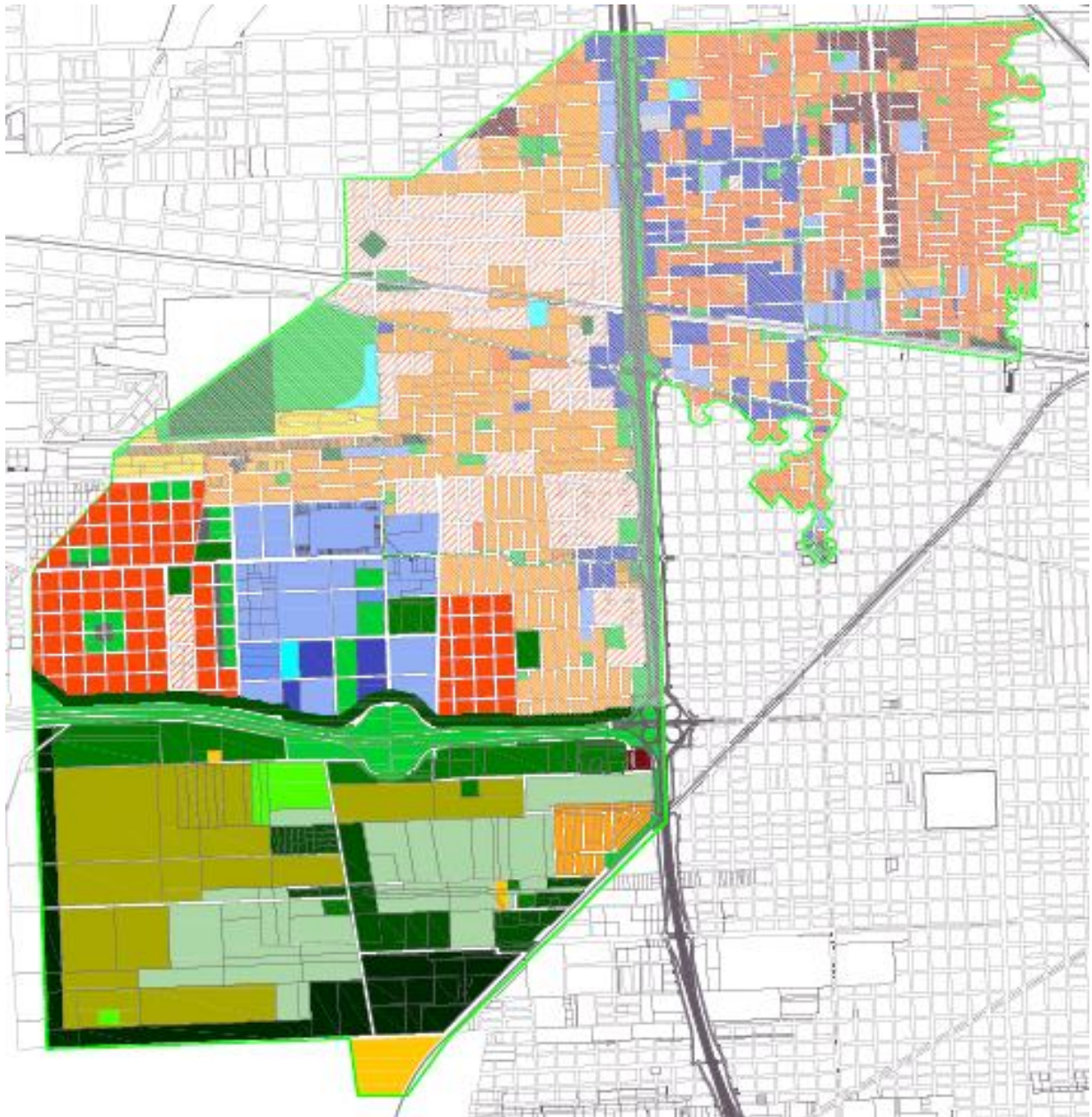


Figura 26: Escenario 3, optimista.

**SUB CUENCA EMISARIO 10 - ESENAIO TRES (INCREMENTO DE SUPERFICIE AFUP)**

CALLE	02.-PAVIMENTO (m <sup>2</sup> )		NOTA: EL VALOR DEL ITEM 01 ES SUPERFICIE TOTAL DE CALLES Y ESTA DESAGREGADO EN LOS ITEMS 02/16/17/22/23 (QUE APARECEN A LA IZQUIERDA), LOS CUALES SE SUMAN A LAS SUPERFICIES CORRESPONDIENTES A LOS MISMOS ITEMS QUE FIGURAN EN LA TABLA INFERIOR, LAS CUALES FUERON CUANTIFICADAS MEDIANTE EL ANALISIS DE LAS MANZANAS.
	16.-VERDE en ACERAS (m <sup>2</sup> )		
	17.-TIERRA (m <sup>2</sup> )		
	22.-FORESTAL > 50 % (m <sup>2</sup> )		
	23.-FORESTAL < 50 % (m <sup>2</sup> )		
		2,331,780.35	
		607,125.00	
		1,228,819.59	
		223,358.83	

Color	Uso de suelo	Superficie en m2	C	% Sup
1	Calles (aceras y calzadas) (*)	<b>4,391,083.78</b>		
2	Pavimentos en espacios públicos	2,361,514.54	<b>0.90</b>	12.4
3	Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (< OCUPACION DE SUELO)	2,259,205.14	<b>0.60</b>	11.9
4	Vivienda unifamiliar, hasta 2 pisos (> OCUPACION DE SUELO)	1,579,613.31	<b>0.65</b>	8.3
5	Vivienda unifamiliar con centro de manzana forestado	763,088.26	<b>0.57</b>	4.0
6	Viviendas multi - unidades, hasta 4 pisos	5,355.96	<b>0.70</b>	0.0
7	Viviendas multi - unidades, mas de 4 pisos	566.04	<b>0.65</b>	0.0
8	Viviendas multi unidades con acera, centro de Mz. y terraza verde	1,124,775.78	<b>0.48</b>	5.9
9	Residencial o suburbano	161,502.07	<b>0.59</b>	0.8
10	Barrio cerrado	137,203.53	<b>0.48</b>	0.7
11	Area comercial y de negocios	0.00	<b>0.60</b>	0.0
12	Asentamientos irregulares incipiente	0.00	<b>0.56</b>	0.0
13	Asentamientos irregulares consolidados	245,408.35	<b>0.70</b>	1.3
14	Industrial poco densa	1,005,499.67	<b>0.70</b>	5.3
15	Industrial densa	735,511.67	<b>0.80</b>	3.9
16	Pasto/prado/césped suelo arcillo-limoso	1,897,465.33	<b>0.30</b>	10.0
17	Suelo desnudo compactado	12,106.58	<b>0.63</b>	0.1
18	Cultivo extensivo	1,584,778.45	<b>0.21</b>	8.3
19	Cultivo hortícola tradicional	127,383.32	<b>0.20</b>	0.7
20	Cultivo hortícola agroecológico	1,236,989.79	<b>0.10</b>	6.5
21	Forestal : bosques denso	698,042.61	<b>0.13</b>	3.7
22	Forestal : ( más del 50% del terreno cubierto)	1,858,932.59	<b>0.23</b>	9.8
23	Forestal : ( menos del 50% del terreno cubierto)	1,100,277.80	<b>0.33</b>	5.8
24	Escasa vegetación (no compactado por la actividad humana )	0.00	<b>0.44</b>	0.0
25	Ladrilleras	0.00	<b>0.63</b>	0.0
26	Ladrilleras con construcciones dispersas	0.00	<b>0.74</b>	0.0
27	Basurales	0.00	<b>0.63</b>	0.0
28	Cursos de agua, Cavas	49,803.37	<b>0.00</b>	0.3
29	Equipamiento deportivo sobre terreno forestado	103,487.37	<b>0.30</b>	0.5

**SUBTOTAL 19,048,511.54**

**C medio 0.48**

Planilla 10: cómputo escenario 3, optimista.

### 8. ANALISIS TÉCNICO DE ESCENARIOS.

A continuación se mostrarán los datos ingresados al modelo para cada escenario y los resultados obtenidos luego de la modelización según se explicó anteriormente para cada escenario.

Con dichos resultados se podrá verificar el impacto de la urbanización de cada escenario en el funcionamiento hidráulico del sistema con el fin de evaluar soluciones a la problemática planteada.

- ESCENARIO 0: Situación ACTUAL:

Los datos ingresados para cada subcuenca para el análisis de este modelo son los siguientes (Planilla 11):

Escenario 0 - Situacion actual.				
Subcuenca	C	CN	Area Imp. (Ha)	% Area direct conect
1	0.30	73.00	-	-
2	0.37	78	-	-
3	0.46	82	57.83	15.00
4	0.41	80	62.94	16.00
5	0.54	84	69.31	17.00
6	0.62	88	44.74	28.00
7	0.54	84	132.67	17.00
8	0.66	90	22.00	30.00
9	0.60	87	59.70	35.00
10	0.64	89	35.05	30.00
11	0.56	86	23.84	10.00
12	0.70	92	68.60	60.00
13	0.65	89	54.84	65.00
14	0.67	90	49.26	65.00
15	0.68	91	100.51	65.00
16	0.68	91	8.07	65.00

Planilla 11: parámetros de entrada escenario 0.

Como resultado se obtiene el siguiente hidrograma de salida (Figura 27):

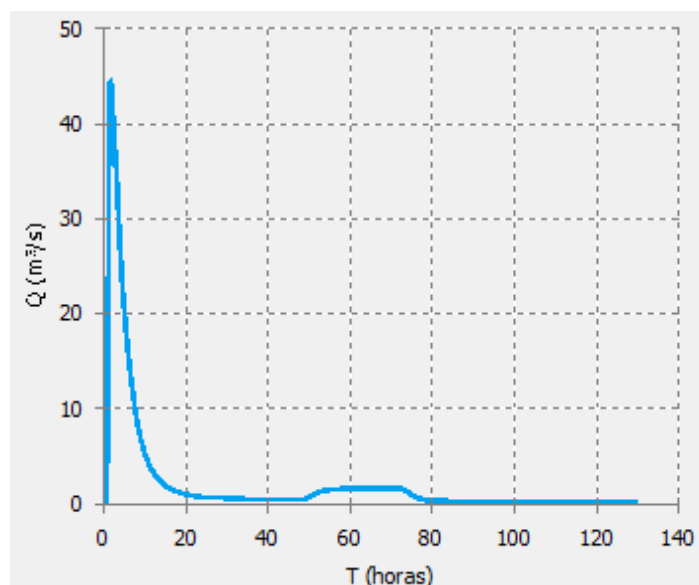


Figura 27: Hidrograma de respuesta. Escenario 0.



En función de los caudales generados en cada nodo de unión de subcuencas se requieren de los siguientes conductos para su transporte en cada tramo (Planilla 12):

<b>ARHYMO - ESCENARIO 0 (actual)</b>			
<b>Tramo</b>	<b>Seccion</b>	<b>Q (m3/seg)</b>	<b>Dimensiones – Diámetro requerido (m)</b>
1-2	Trapezoidal	1.67	h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m
10-2	circular	5.30	1.50
9-2	circular	8.20	1.50
2-3	circular	13.50	3.20
3-4	circular	19.90	4.20
4-5	circular	20.35	4.20
5-6	circular	28.36	4.30
6-7	circular	28.56	4.50
7-8	circular	38.87	5.00
8-11	circular	45.63	5.20

Planilla 12: dimensiones de conducto principal requeridas. Escenario 0.

En este escenario analizado, tal cual se muestra en la tabla anterior, se ve que a partir del nodo 7, ubicado en la intersección de las calles Gorriti y Provincias Unidas, se supera la capacidad del conducto existente de 4,50m de diámetro, por lo que se necesitaría un conducto de 5,00m para el tramo 7-8 y uno de 5,20m en el último tramo 8-11 para poder evacuar los caudales eficientemente.

Para el escenario actual (2014), se tienen subcuencas mas urbanizadas que para el análisis realizado por el INA en el año 2003 (Figuras 1 y 2), por lo que es de esperar un aumento en los caudales erogados y, consecuentemente, mayores diámetros de cañerías para su conducción. Lo que indica que los resultados obtenidos para esa situación, son los esperados.

- ESCENARIO 1: PUR 2007/2017.

Para este escenario 1 se tomaron en cuenta los siguientes parámetros (Planilla 13):

Escenario 1 - PUR				
Subuenca	C	CN	Area Imp. (Ha)	% Area direc conect
1	0.30	73.00	-	
2	0.37	78	-	
3	0.54	84	68.13	15.00
4	0.63	89	97.74	16.00
5	0.61	88	77.98	17.00
6	0.62	88	44.74	28.00
7	0.54	85	134.56	17.00
8	0.66	90	22.00	30.00
9	0.60	87	59.70	35.00
10	0.64	89	35.05	30.00
11	0.56	86	23.84	10.00
12	0.70	92	68.60	60.00
13	0.65	89	54.84	65.00
14	0.67	90	49.26	65.00
15	0.68	91	100.51	65.00
16	0.68	90	8.07	65.00

Planilla 13: parámetros de entrada escenario 1.

El hidrograma de salida es el siguiente (Figura 28):

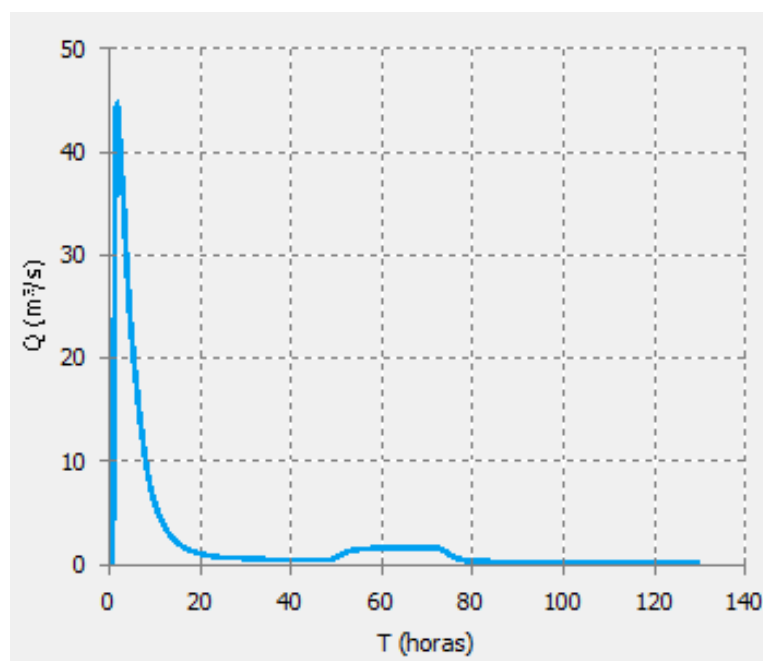


Figura 28: Hidrograma de respuesta. Escenario 1.

Los diámetros necesarios en cada tramo de conducto son los siguientes (Planilla 14):

<b>ARHYMO - ESCENARIO 1 (según PUR)</b>			
<b>Tramo</b>	<b>Sección</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/seg)</b>	<b>Dimensiones – Diámetro requerido (m)</b>
1-2	Trapezoidal	1.67	h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m
10-2	circular	5.30	1.50
9-2	circular	8.30	1.50
2-3	circular	13.62	3.20
3-4	circular	20.08	4.20
4-5	circular	20.53	4.20
5-6	circular	28.52	4.50
6-7	circular	28.76	4.50
7-8	circular	38.90	5.00
8-11	circular	45.70	5.20

Planilla 14: dimensiones de conducto principal requeridas. Escenario 1.

De los resultados mostrados en la tabla, puede verse que los caudales arrojados son muy similares a los del escenario 0, por lo que se tiene la misma consecuencia mencionada en el caso anterior.

Esta similitud en los resultados se debe a que el plan urbano 2007/2017 no introduce grandes cambios en los usos de suelo actuales, sino que solo propone un reordenamiento urbano (ver lineamientos en anexo).

A partir de esto, puede deducirse que el pequeño reordenamiento edilicio que propone el plan urbano no introduce una mejora en el sistema pluvial a futuro, teniéndose los mismos inconvenientes que en la situación actual en que se encuentra la cuenca 10, es decir, con caudales generados mayores a los admitidos por el conducto principal, al menos para la recurrencia estudiada de 10 años.

- ESCENARIO 2: ÁREA RURAL URBANIZADA.

Los parámetros característicos de este escenario pesimista son los siguientes (Planilla 15):

<b>Escenario 2 - Urbanizado.</b>				
<b>Subuenca</b>	<b>C</b>	<b>CN</b>	<b>Area Imp. (Ha)</b>	<b>% Area direct conect</b>
1	0.65	92.00	-	
2	0.66	93	-	
3	0.55	84	68.93	15.00
4	0.66	90	101.74	16.00
5	0.61	88	78.39	17.00
6	0.62	88	44.96	28.00
7	0.55	85	135.80	17.00
8	0.67	90	22.10	30.00
9	0.60	87	60.06	35.00
10	0.64	89	35.31	30.00
11	0.56	86	23.84	10.00
12	0.70	92	68.99	60.00
13	0.65	89	55.02	65.00
14	0.67	90	49.53	65.00
15	0.68	91	100.81	65.00
16	0.68	91	8.13	65.00

Planilla 15: parámetros de entrada escenario 2.

El hidrograma de respuesta es el siguiente (Figura 29):

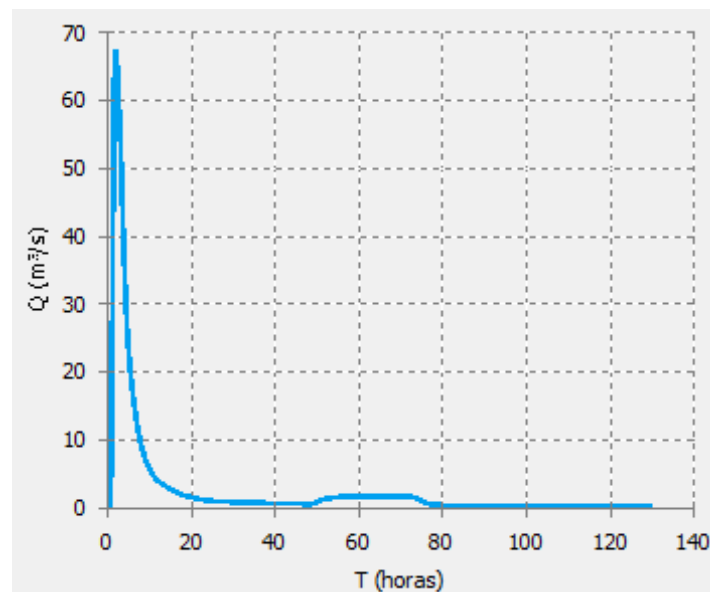


Figura 29: Hidrograma de respuesta. Escenario 1.

El conducto principal en sus distintos tramos requiere de los siguientes diámetros (Planilla 16):

<b>ARHYMO - ESCENARIO 2 (pesimista)</b>			
<b>Tramo</b>	<b>Sección</b>	<b>Q (m3/seg)</b>	<b>Dimensiones – Diámetro requerido (m)</b>
1-2	circular	33.38	4.50
10-2	circular	5.30	1.50
9-2	circular	8.30	1.50
2-3	circular	41.22	5.00
3-4	circular	49.53	5.00
4-5	circular	48.11	5.00
5-6	circular	55.55	5.80
6-7	circular	55.50	5.80
7-8	circular	63.67	6.00
8-11	circular	67.28	6.00

Planilla 16: dimensiones de conducto principal requeridas. Escenario 2.

A partir de la tabla se ve que en este escenario se disparan los caudales de los diferentes tramos, en donde se tienen caudales del orden de los 40 m<sup>3</sup>/seg en el inicio (tramo 2-3) y terminando con un caudal de 67,28 m<sup>3</sup>/seg. Por lo que el emisario existente no sería suficiente para evacuarlos y, como se observa, se necesitaría un conducto de 5,00m a 6,00m de diámetro en todo su recorrido.

Estos grandes caudales desde el inicio del emisario surgen a raíz de una fuerte urbanización propuesta en las subcuencas 1 y 2, las cuales impactan en gran medida en el comportamiento hidráulico de la cuenca ya que se trata de subcuencas cuyas áreas son grandes en proporción a la cuenca total, por lo cual queda en evidencia su importancia relativa en el funcionamiento hidráulico del sistema.

- ESCENARIO 3. ESCENARIO VERDE.

Las características de cada subcuenca en este escenario son las siguientes (Planilla 17):

Escenario 3 - Verde.				
Subcuenca	C	CN	Área Imp. (Ha)	% Área direct conect
1	0.20	92.00	-	
2	0.25	93	-	
3	0.45	84	57.28	15.00
4	0.52	89	80.38	16.00
5	0.50	88	63.32	17.00
6	0.61	88	44.37	28.00
7	0.53	85	131.42	17.00
8	0.66	90	21.82	30.00
9	0.59	87	59.10	35.00
10	0.63	89	34.63	30.00
11	0.56	86	23.84	10.00
12	0.69	92	67.95	60.00
13	0.65	89	54.54	65.00
14	0.66	90	48.81	65.00
15	0.67	91	100.00	65.00
16	0.67	91	7.97	65.00

Planilla 17: parámetros de entrada escenario 3.

La respuesta del sistema cuenca en este escenario es la siguiente (Figura 30):

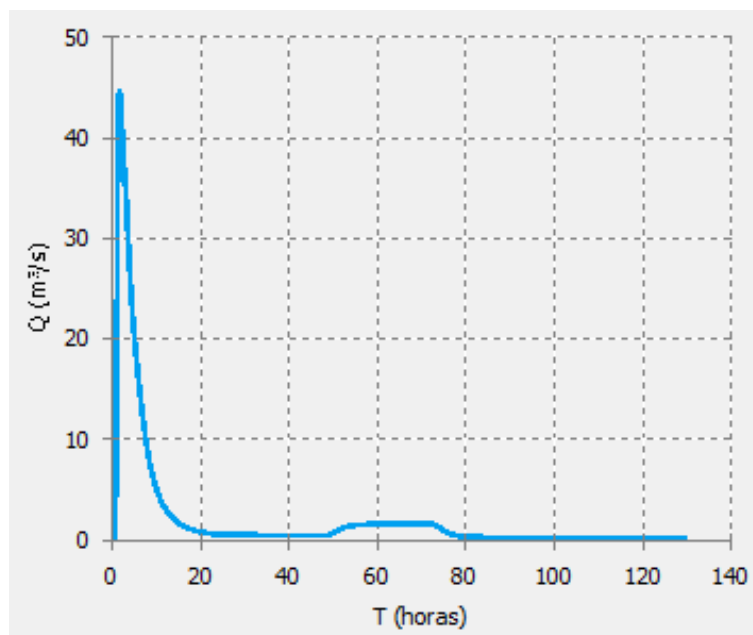


Figura 30: Hidrograma de respuesta. Escenario 3.

Los diámetros necesarios en cada tramo para la conducción de los caudales generados son los siguientes (Planilla 18):

ARHYMO - ESCENARIO 3 (verde)			
Tramo	Sección	Q (m <sup>3</sup> /seg)	Dimensiones - Diámetro requerido (m)
1-2	Trapezoidal	1.06	h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m
10-2	circular	5.25	1.50
9-2	circular	8.26	1.50
2-3	circular	13.50	3.20
3-4	circular	19.86	4.20
4-5	circular	20.30	4.20
5-6	circular	28.33	4.50
6-7	circular	28.57	4.50
7-8	circular	38.82	5.00
8-11	circular	45.60	5.20

Planilla 18: dimensiones de conducto principal requeridas. Escenario 3.

En este hipotético escenario, no se observan grandes cambios en los caudales arrojados con respecto al escenario actual (del orden de 45 m<sup>3</sup>/seg en el tramo final) pero si hay un gran cambio en la urbanización de la cuenca y la densidad demográfica de la misma, ya que se estarían urbanizando 70 manzanas cuya tipología es “viviendas multi unidades hasta 4 pisos”, lo cual significaría alojar, aproximadamente, unas 50.000 personas más, siempre estimando 50 viviendas por manzana y una familia tipo. Esto permitiría mantener el sistema de drenajes propuesto en el escenario actual.

Se consideran áreas verdes mejoradas ya que este escenario propone usos de suelo que optimizan la capacidad de infiltración del terreno reduciendo, en consecuencia, los caudales de escurrimiento directo. Esta mejora se tiene en cuenta en las subcuencas 1 y 2 proponiendo el uso de diferentes cultivos y su perímetro forestado con bosques densos (superficie AFUP) y las subcuencas 3 y 4 proponiendo la urbanización con la tipología ya mencionada.

También se deben considerar las ventajas que tiene una tipología de vivienda verde desde el punto de vista hidráulico, lo que se traduce en una disminución del caudal de escurrimiento.

Los tipos de viviendas que se proponen para construir en los sectores permitidos tienen en cuenta la necesidad de alojar a una o varias familias sin descuidar el aspecto hidrológico de las mismas. Se proponen viviendas unifamiliares o multifamiliares de 2 a 4 pisos con áreas verdes de infiltración como veredas y centros de manzana forestados o los denominados “techos verdes”, es decir, techos de viviendas parqueizados, lo cual presenta el doble beneficio de mejora hidráulica y mayor aislamiento térmico.

Si bien los resultados obtenidos en el escenario 3 son muy buenos, en función de que la tipología de la urbanización planteada permitiría albergar muchas familias casi sin causar efecto en la respuesta hidráulica actual del sistema, estos resultados no son del todo convincentes como se esperaba. Por ello se procede a

re investigar las variables intervinientes y su sensibilidad dentro del modelo para cada escenario de manera de poder plantear alternativas que generen resultados más satisfactorios.

En las tablas anteriores se observa que los mayores caudales aportados al conducto principal corresponden, independientemente del escenario estudiado, a todas las subcuencas de la parte norte de la cuenca, por lo tanto resulta de interés intervenir estas áreas para lograr un cambio significativo en la respuesta hidráulica del sistema.

Los caudales de escurrimiento directo derivan directamente de la superficie impermeable de cada subcuenca, la cual es apreciada a través del coeficiente de escorrentía C, por lo tanto como primera medida se encaró un estudio más detallado de las áreas verdes de infiltración en la totalidad de la cuenca, de manera tal de poder ajustar aun más los coeficientes de escorrentía de cada subcuenca y así esperar una disminución en los caudales directos aportados.

Se observaron los terrenos que en la actualidad no tienen un uso específico (terrenos baldíos), ya que funcionan como áreas de infiltración y otros terrenos que actualmente se encuentran sin cuidado y son utilizados como basureros ilegales, lo cual implica valores de C muy grandes lo que se traduce en una muy pobre capacidad de infiltración en el suelo.

Los cambios obtenidos fueron mínimos ya que la superficie ocupada por estos terrenos es muy pequeña en relación a la cuenca y, además, en los escenarios futuros estos terrenos tienen usos específicos asignados, por lo cual ya se los había considerado.

Este primer resultado acerca del poco impacto del coeficiente C en la respuesta del sistema debido a la pequeña proporción de superficie de la cuenca intervenida en los escenarios propuestos, demuestra como un parámetro fundamental en la descripción de una subcuenca resulta casi imperceptible debido al avanzado estado de urbanización de toda la parte norte de la cuenca, por lo que el estudio se debió enfocar en los demás parámetros.

Debido a que las variables topográficas de la cuenca (áreas y pendientes) no resultan prácticas de modificar y, teniendo en cuenta el avanzado estado de urbanización de las subcuencas 5 a 16, se enfoca el estudio en un parámetro cuya influencia se consideraba pequeña. Este es la "*proporción de área directamente conectada*" a la red pluvial, es decir, un parámetro que tiene en cuenta la cantidad de superficie impermeable, entre techos y veredas, que desaguan directamente al conducto principal del emisario a través de sistemas de cordón cuneta o zanjas, según la zona.

Tal como se comentó, este parámetro se estimó promediando valores del informe INA y ajustándolo con las observaciones hechas en las recorridas de campo.

Realizando el estudio de sensibilidad de parámetros, se presenta que la respuesta del sistema varía mucho con pequeñas modificaciones de este, por lo tanto se propone estudiar más en detalle los cambios producidos debido a la modificación de este parámetro.



Para ello se parte del estudio del escenario 3, ya que es el que mejores condiciones presenta y resulta de particular interés a los propósitos de esta investigación y se proponen mejoras en proporción de área impermeable directamente conectada.

Se observa, mediante la recorrida de campo, que gran parte de las subcuencas urbanizadas del norte de la cuenca cuentan con muy precarias o nulas veredas y asfaltos definitivos con cordón cuneta, por lo tanto representan una gran posibilidad de poder introducir mejoras urbanas que resulten hidráulicamente positivas para aliviar el conducto principal del emisario 10.

Una manera de aprovechar esta situación es mediante la planificación de espacios verdes en vereda. Si la reglamentación prevé esta condición con carácter de obligatoriedad, se pueden considerar estas pequeñas parcelas debidamente parquizadas en las veredas como espacios que desconectan las cubiertas de las casas y la vereda impermeable del sistema pluvial. La desconexión en cuestión se logra conduciendo los caudales provenientes de techo y vereda impermeable a estas áreas verdes, los cuales son atenuados por infiltración en el terreno.

Teniendo en cuenta esta propuesta se realizan cambios en las proporciones de áreas impermeables directamente conectadas para evaluar la respuesta del sistema. Se estima que un valor aceptable y realmente probable de alcanzar de este parámetro sería el de lograr que el 50% de estas áreas se desconecte del sistema pluvial. Este valor de parámetro se debe a que la situación socioeconómica de las subcuencas a intervenir, sumadas a la real disposición de terreno disponible para lograr la desconexión planteada, limita mucho la ejecución total de este escenario, motivo por el cual se adopta un valor intermedio para evaluar sensibilidad en la respuesta.

Se podrían generar varias formas de ejecutar la desconexión total o parcial de áreas impermeables del sistema pluvial. Algunas soluciones investigadas son, por ejemplo, las de generar un reservorio en cada vivienda de manera de atenuar el pico y el tiempo a este del hidrograma de respuesta. Esta solución queda descartada dada la imposibilidad de llevar un real control de ejecución y mantenimiento en propiedades privadas, fundamentalmente ya que el costo inicial de la solución lo debería afrontar el propietario.

Otra solución evaluada es la de generar zonas que favorezcan la infiltración en el terreno, como pozos filtrantes o zanjas de lecho filtrante. Estas son soluciones posibles y de eficacia comprobada. En este caso no se las plantea para una primera etapa ya que se pretende evaluar el impacto hidráulico que genera en la respuesta del sistema las pequeñas obras o modificaciones, basados en la creencia de que pequeños cambios en áreas impermeables pueden generar gran impacto en la respuesta del sistema sin recurrir a soluciones más complicadas.

Debido a esto, la solución planteada para este escenario es la de evaluar el impacto producido por la desconexión de las áreas impermeables mediante la parquización parcial de la superficie de vereda.

Para evaluar la relación entre superficie permeable e impermeable de este nuevo escenario 3 modificado, se propone una manzana tipo de 100m por 100m de longitud de lado y una vereda tipo de 1,50m de ancho impermeable, 3,00m de césped y 6,00m de ancho de calle con cordón cuneta o zanja (mejor), tal como se muestra en la siguiente imagen (Figura 31):

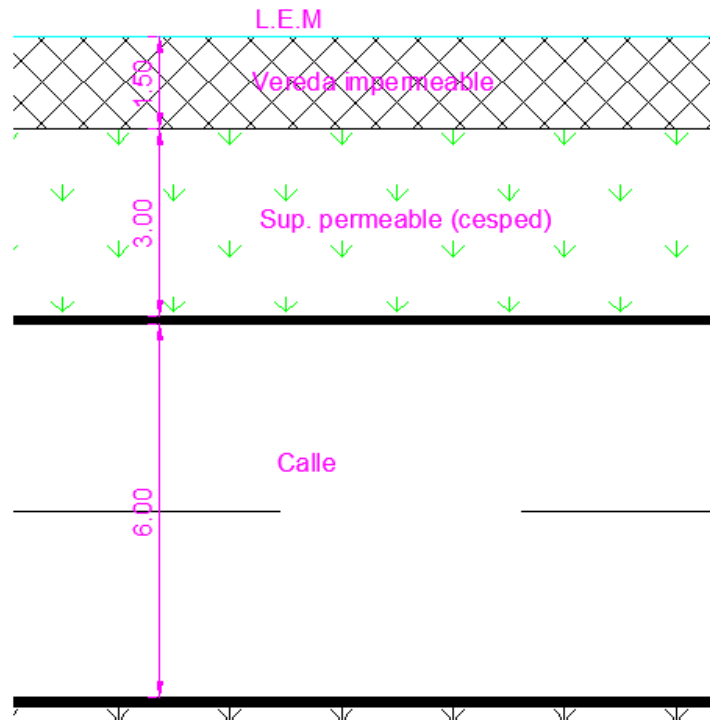


Figura 31: Dimensiones de vereda tipo. Escenario 3 modificado.

Se propone desconectar el 50% de las casas del sistema pluvial (columna de % Área desconecta), quedando el resto de las proporciones como se muestra en la siguiente tabla (Planilla 19):

Escenario 3 modificado								
Subuena	C	N (Rec=5años)	Area Imp. (Ha)	% Area direct conect	% VEREDA	% Area conectada sin vereda	% Area desconectada	% Area direct conectada
1	0.20	67	-					
2	0.25	68	-					
3	0.44	84	54.83	15.00	0.90	14.10	11.28	3.7
4	0.50	89	78.12	16.00	0.96	15.04	12.03	4.0
5	0.48	84	60.82	17.00	1.02	15.98	12.78	4.2
6	0.60	88	43.64	28.00	1.68	26.32	21.06	6.9
7	0.52	85	128.31	17.00	1.02	15.98	12.78	4.2
8	0.65	90	21.48	30.00	1.80	28.20	22.56	7.4
9	0.58	87	57.90	35.00	2.10	32.90	26.32	8.7
10	0.61	89	33.78	30.00	1.80	28.20	22.56	7.4
11	0.56	86	23.84	10.00	0.60	9.40	7.52	2.5
12	0.68	92	66.66	60.00	3.60	56.40	45.12	14.9
13	0.64	89	53.94	65.00	3.90	61.10	48.88	16.1
14	0.65	90	47.91	65.00	3.90	61.10	48.88	16.1
15	0.67	91	98.98	65.00	3.90	61.10	48.88	16.1
16	0.65	90	7.77	65.00	3.90	61.10	48.88	16.1

Planilla 19: parámetros de entrada escenario 3 modificado.

La columna de color de fuente en rojo muestra los valores ingresados en el software ArHymo para el parámetro de entrada “proporción de área directamente conectada”.

El resto de los parámetros de entrada del programa permanecen sin cambios respecto del escenario 3, es decir, que en este nuevo escenario 3 modificado solo se varía la proporción de área impermeable directamente conectada.

El hidrograma de respuesta de este escenario 3 modificado es el siguiente (Figura 32):

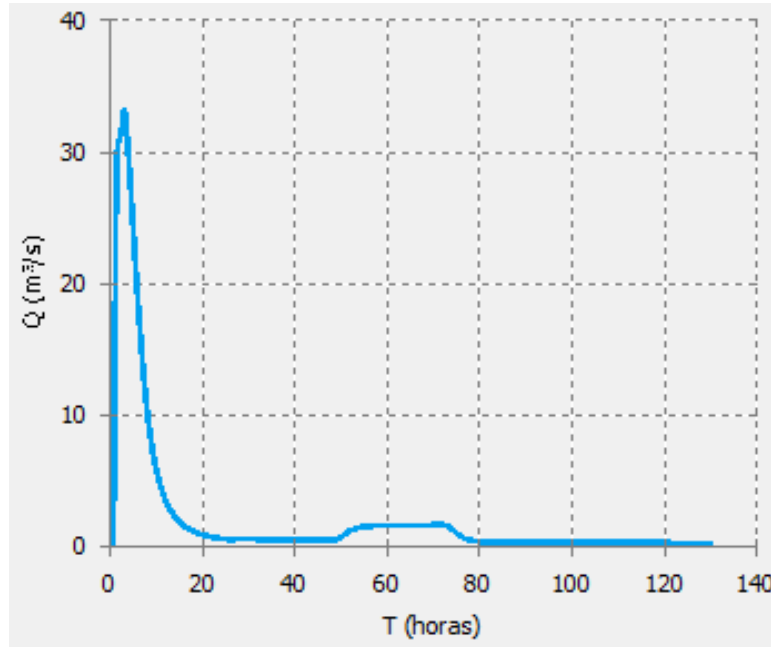


Figura 32: Hidrograma de respuesta. Escenario 3 modificado.

En cuanto a los caudales transportados en cada tramo y su diámetro necesario queda como sigue:

ARHYMO - ESCENARIO 3 (verde modificado con el 50%)			
Tramo	Sección	Q (m3/seg)	Dimensiones – Diámetro requerido (m)
1-2	Trapezoidal	1.06	h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m
10-2	circular	2.20	1.50
9-2	circular	5.20	1.50
2-3	circular	7.98	3.20
3-4	circular	13.93	3.90
4-5	circular	15.02	3.90
5-6	circular	20.97	4.20
6-7	circular	21.85	4.20
7-8	circular	27.22	4.50
8-11	circular	33.35	4.60

Planilla 20: dimensiones de conducto principal requeridas. Escenario 3 modificado.

Según se observa en la tabla anterior, los resultados arrojados mejoraron mucho respecto del escenario 3 original, incluso estos resultados son mejores que los de la situación actual del conducto ya que a igualdad de diámetros los caudales erogados son notablemente menores para cada tramo.

Este escenario demuestra como una simple solución como prever pequeños espacios verdes en vereda beneficia de forma importante la respuesta hidráulica del sistema, favoreciendo la infiltración de las aguas de lluvia y reduciendo los caudales de escurrimiento directo, requiriendo consecuentemente, menores tamaños en las cañerías de conducción de los sistemas pluviales.

Del estudio hidráulico de los distintos escenarios, se observan los siguientes hidrogramas:

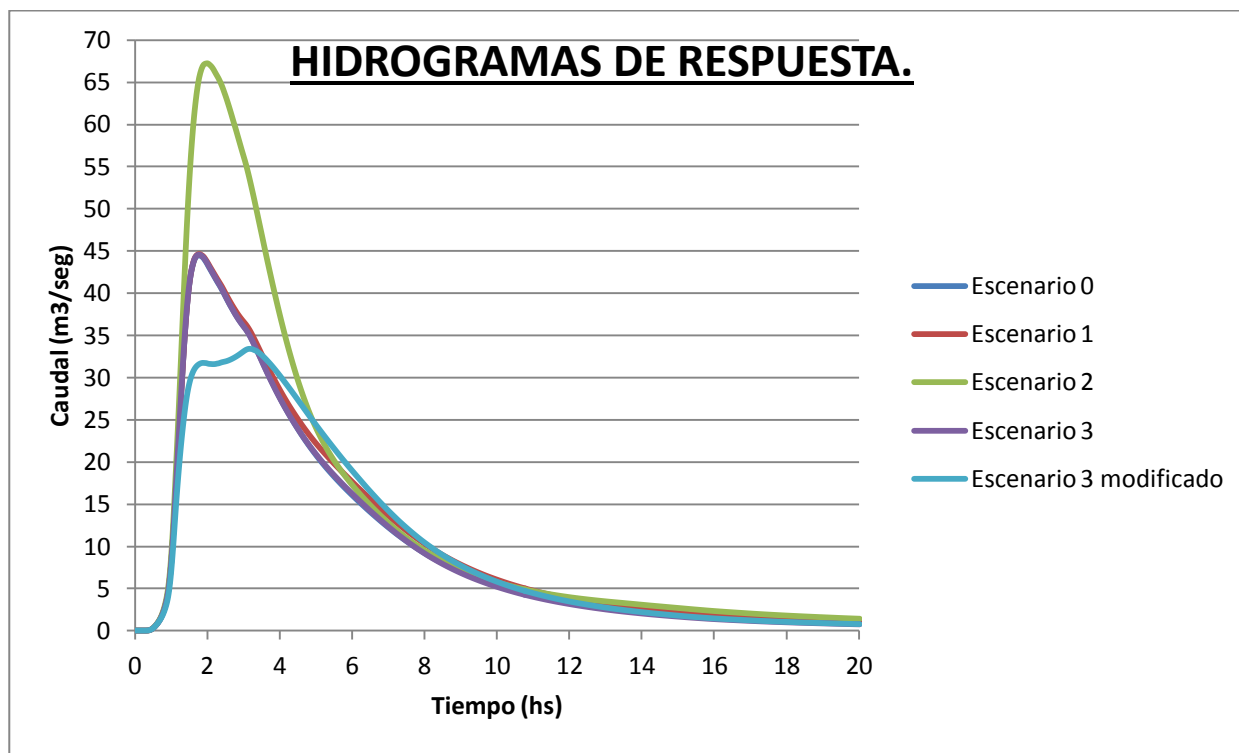


Figura 33: Hidrogramas de respuesta comparativos de los diferentes escenarios

## **9. ANÁLISIS ECONÓMICO DE ESCENARIOS.**

Una vez analizados los escenarios y determinados los caudales directos a evacuar por cada tramo y su diámetro de conducto correspondiente, se puede realizar un análisis económico para entender la magnitud de cada propuesta estudiada, con el fin de comparar las distintas alternativas entre sí, evaluar su conveniencia y posibilidad de ejecución.

A continuación se propone cuantificar el monto de infraestructura de esos diferentes escenarios propuestos, lo que ayudará a comprender aun más la magnitud de los cambios que suponen las diferentes situaciones e interpretar mejor la problemática.

Para poder cuantificar en valor económico las obras necesarias para cada uno de los escenarios, se adoptó como hipótesis la construcción de un conducto aliviador que copiaría la traza del emisario existente hasta su desembocadura.

El dimensionamiento de este conducto paralelo, se realizó de la siguiente manera: una vez corridos los escenarios, se compararon los caudales de salida resultantes con la capacidad del emisario existente para cada uno de los tramos. Luego, para desaguar los caudales remanentes, se calcularon los diferentes diámetros necesarios correspondientes a cada tramo.

Cabe mencionar que como punto de partida para el cálculo de estas obras ficticias, se tomó como referencia una tabla brindada a nuestro grupo por el departamento de hidráulica de la municipalidad de Rosario. En la misma se especifican los costos unitarios de cada una de las tareas necesarias para la realización del aliviador y el costo de los diferentes materiales que se podrían utilizar.

Lo dicho se puede observar en las tablas de a continuación para cada escenario:

• ESCENARIO 0:

ESCENARIO 0 (actual)						
Tramo	Diámetro actual (m)	Capacidad actual (m3/seg)	Q (m3/seg)	Q remanente (m3/s)	D paralelo necesario [m]	D paralelo adoptado [m]
1-2	sección trapezoidal: h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m		1.67			
2-3	3.20	19.07	13.50			
3-4	3.90	19.07	19.90	0.83	1.04	1.00
4-5	3.90	29.98	20.35			1.00
5-6	4.20	29.98	28.36			1.00
6-7	4.20	32.30	28.56			1.00
7-8	4.50	38.66	38.87	0.21	0.67	1.00
8-11	4.50	38.66	45.63	6.97	2.48	2.50

En la tabla a continuación, se muestra el resumen del costo total de infraestructura para este escenario:

Escenario 0			
Tramo 1		Tramo 2	
Excavación a cielo abierto		Excavación con tunelera	
Diam. Necesario (m) =	1	Diam. Necesario (m) =	2.5
Longitud (m)=	4350	Longitud (m)=	1200
Área de calle a romper (m2) =	6525	Área de calle a romper (m2) =	4500
Profundidad (m) =	2	Profundidad (m) =	5
Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770	Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770
Costo unit. Excavación a cielo abierto (\$ x m3) =	570	Costo unit. Excavación en túnel (m3) =	815
Costo unit. Conducto circulares prefabricados (\$ x m) =	2800	Conducto H°A° in-situ en túnel (m) =	5900
Costo excavación (\$) =	\$ 7,438,500	Costo excavación (\$) =	\$18,337,500
Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 5,024,250	Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 693,000
Costo de materiales (\$) =	\$ 12,180,000	Costo de materiales (\$) =	\$7,080,000
Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 1,232,138	Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$1,305,525
<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 25,874,888</b>	<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$27,416,025</b>
<b>Costo total (\$) = 53.290.913</b>			

- **ESCENARIO 1:**

El conducto suplementario paralelo tendría los siguientes diámetros para cada tramo:

ARHYMO - ESCENARIO 1 (según PUR)						
Tramo	Diametro actual (m)	Capacidad actual (m3/seg)	Q (m3/seg)	Q remanente (m3/s)	D paralelo necesario [m]	D paralelo adoptado [m]
1-2	sección trapezoidal: h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m		1.67			
2-3	3.20	19.07	13.62			
3-4	3.90	19.07	20.08	1.01	1.12	1.20
4-5	3.90	29.98	20.53			1.20
5-6	4.20	29.98	28.52			1.20
6-7	4.20	32.30	28.76			1.20
7-8	4.50	38.66	38.90	0.24	0.70	1.20
8-11	4.50	38.66	45.70	7.04	2.49	2.50

El costo de ejecución de obras complementarias para este escenario es el siguiente:

Escenario 1			
Tramo 1		Tramo 2	
Excavación a cielo abierto		Excavación con tunelera	
Diam. Necesario (m) =	1.2	Diam. Necesario (m) =	2.5
Longitud (m)=	4350	Longitud (m)=	1200
Área de calle a romper (m2) =	7830	Área de calle a romper (m2) =	4500
Profundidad (m) =	2.4	Profundidad (m) =	5
Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770	Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770
Costo unit. Excavación a cielo abierto (\$ x m3) =	570	Costo unit. Excavación en túnel (m3) =	815
Costo unit. Conducto circulares prefabricados (\$ x m) =	3760	Conducto H°A° in-situ en túnel (m) =	5900
Costo excavación (\$) =	\$ 10,711,440	Costo excavación (\$) =	\$ 18,337,500
Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 6,029,100	Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 693,000
Costo de materiales (\$) =	\$ 16,356,000	Costo de materiales (\$) =	\$ 7,080,000
Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 1,654,827	Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 1,305,525
<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 34,751,367</b>	<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 27,416,025</b>
<b>Costo total (\$) = 62.167.392</b>			

- ESCENARIO 2:

Infraestructura complementaria necesaria:

ARHYMO - ESCENARIO 2 (pesimista)						
Tramo	Diámetro actual (m)	Capacidad actual (m3/seg)	Q (m3/seg)	Q remanente (m3/s)	D paralelo necesario [m]	D paralelo adoptado [m]
1-2	sección trapezoidal; h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m		33.38			
2-3	3.20	19.07	41.22	22.15	3.55	
3-4	3.90	19.07	49.53	30.46	4.00	4.20
4-5	3.90	29.98	48.11	18.13	3.39	4.20
5-6	4.20	29.98	55.55	25.57	4.04	4.20
6-7	4.20	32.30	55.50	23.20	3.90	4.20
7-8	4.50	38.66	63.67	25.01	4.01	4.20
8-11	4.50	38.66	67.28	28.62	4.22	4.4

Costo de ejecución de escenario 2:

Escenario 2			
Tramo 1		Tramo 2	
Excavacion con tunelera		Excavacion con tunelera	
Diam. Necesario (m) =	4.2	Diam. Necesario (m) =	4.4
Longitud (m)=	4350	Longitud (m)=	1200
Área de calle a romper (m2) =	27405	Área de calle a romper (m2) =	7920
Profundidad (m) =	4.2	Profundidad (m) =	5
Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770	Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770
Costo unit. Excavación en túnel (m3) =	815	Costo unit. Excavación en túnel (m3) =	815
Conducto H°A° in-situ en túnel (m) =	9800	Conducto H°A° in-situ en túnel (m) =	10350
Costo excavación (\$) =	\$ 93,807,315	Costo excavación (\$) =	\$ 32,274,000
Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 21,101,850	Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 6,098,400
Costo de materiales (\$) =	\$ 42,630,000	Costo de materiales (\$) =	\$ 12,420,000
Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 7,876,958	Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 2,539,620
<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 165,416,123</b>	<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 50,792,400</b>
<b>Costo total (\$) = 216.208.523</b>			



• ESCENARIO 3:

ARHYMO - ESCENARIO 3 (verde)						
Tramo	Diametro actual (m)	Capacidad actual (m3/seg)	Q (m3/seg)	Q remanente (m3/s)	D necesario [m]	D adoptado [m]
1-2	sección trapezoidal: h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m		1.06			
2-3	3.20	19.07	13.50			
3-4	3.90	19.07	19.86	0.79	1.02	1.00
4-5	3.90	29.98	20.30			1.00
5-6	4.20	29.98	28.33			1.00
6-7	4.20	32.30	28.57			1.00
7-8	4.50	38.66	38.82	0.16	0.60	1.00
8-11	4.50	38.66	45.60	6.94	2.48	2.50

Escenario 3			
Tramo 1		Tramo 2	
Excavación a cielo abierto		Excavación con tunelera	
Diam. Necesario (m) =	1	Diam. Necesario (m) =	2.5
Longitud (m)=	4350	Longitud (m)=	1200
Área de calle a romper (m2) =	6525	Área de calle a romper (m2) =	4500
Profundidad (m) =	2	Profundidad (m) =	5
Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770	Costo unit. Rotura y reparación (\$ x m2) =	770
Costo unit. Excavación a cielo abierto (\$ x m3) =	570	Costo unit. Excavación en túnel (m3) =	815
Costo unit. Conducto circulares prefabricados (\$ x m) =	2800	Conducto H°A° in-situ en túnel (m) =	5900
Costo excavación (\$) =	\$ 7,438,500	Costo excavación (\$) =	\$ 18,337,500
Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 5,024,250	Costos de rotura y reparación (\$) =	\$ 693,000
Costo de materiales (\$) =	\$ 12,180,000	Costo de materiales (\$) =	\$ 7,080,000
Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 1,232,138	Costo de Mov. De suelo y Accesorios (\$) =	\$ 1,305,525
<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 25,874,888</b>	<b>Costo total (\$) =</b>	<b>\$ 27,416,025</b>
<b>Costo total (\$) = 53.290.912</b>			

- ESCENARIO 3 modificado con el 50%:

<b>ARHYMO - ESCENARIO 3 (verde modificado con el 50%)</b>			
<b>Tramo</b>	<b>Diámetro actual (m)</b>	<b>Capacidad actual (m3/seg)</b>	<b>Q (m3/seg)</b>
1-2	sección trapezoidal; h=3m ; Bf=2m ; Bsup=5m		1.06
2-3	3.20	19.07	7.98
3-4	3.90	19.07	13.93
4-5	3.90	29.98	15.02
5-6	4.20	29.98	20.97
6-7	4.20	32.30	21.85
7-8	4.50	38.66	27.22
8-11	4.50	38.66	33.35

Se puede observar que en la solución planteada el conducto existente del emisario 10 cumple con las demandas hidráulicas, por este motivo, no existe necesidad de ampliación, pero la ejecución de la propuesta requiere el mejoramiento del suelo de la zona permeable de la vereda en las subcuencas a intervenir, que son fundamentalmente las subcuencas cercanas a la desembocadura del emisario sobre el arroyo. Esto implica un costo de rotura y remoción de veredas existentes, parquización y arreglo de vereda según propuesta, que es mostrado a continuación:

**Escenario 3 (modificado 50%)**

Ancho de la vereda [m]	4.5
Ancho de la zona permeable [m]	3
Porcentaje de la vereda en la cuenca [%]	4.6
Porcentaje de vereda permeable en la cuenca [%]	3.07
Área total a afectar [m <sup>2</sup> ]	3178759
Área vereda permeable [m <sup>2</sup> ]	48,741
Longitud de la vereda permeable [m]	16,247
Costo unitario de mejoramiento de suelo [\$/m]	500

Costo total del mejoramiento de suelo [\$/]	\$ 24,370,486
Costo por imprevistos, accesorios y desc. de caños [\$/]	\$ 1,218,524.3
<b>Costo total [\$/]</b>	<b>\$ 25,589,010</b>

Una vez determinados y computados los conductos suplementarios necesarios para evacuar dichos caudales en cada escenario, se realizo el costo de ejecución de cada uno llegando a los siguientes resultados:

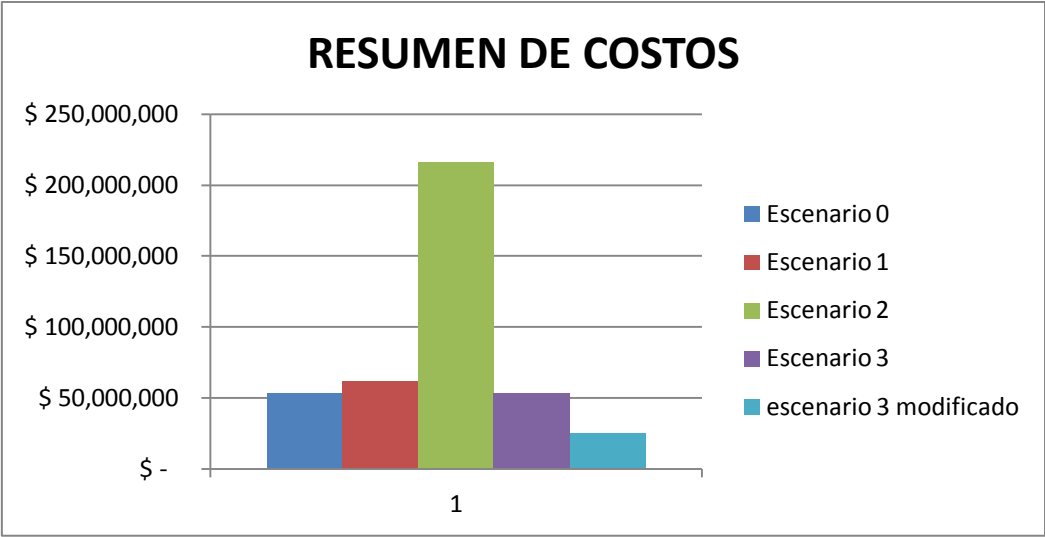


Figura 34: Diagramas de costos comparativos de los diferentes escenarios

## **10. CONCLUSIONES.**

El estudio de los distintos escenarios planteados y sus resultados, ayudan a entender un poco más el funcionamiento del sistema de drenaje actual de la cuenca. La interpretación de los resultados junto con el conocimiento que se tiene de la misma a partir de las recorridas de campo, brinda herramientas para comprender aun más la situación y la problemática existente.

La valoración de las distintas alternativas permite observar la respuesta de la cuenca para los diferentes grados de impermeabilización del suelo. Esto, junto con una evaluación económica que permita comprender la magnitud de los cambios y obras, ayudan a desarrollar criterios para ajustar posibles cambios e intervenir de la manera más adecuada.

De este manera, se cuenta con una serie de datos tanto hidráulicos como económicos, que induzcan a la toma de decisiones los más exacta posible y compatible con la realidad social de la cuenca.

Se nota que, según era de esperar, entre el escenario 0 (situación actual) y escenario 1 (PUR 2007/2017) no existen variaciones importantes en los caudales erogados y sus hidrogramas son prácticamente coincidentes, con un caudal pico cercano a los 45m<sup>3</sup>/seg (Figura 33).

Los resultados obtenidos para el escenario 1 planteado, regido a futuro por el Plan Urbano Rosario, no causan mayor sorpresa, fundamentalmente porque se trata de un escenario en donde solo se propone un cierto reordenamiento urbano, sin tener en cuenta aspectos de sustentabilidad hidráulicos de cara a mejorar la respuesta hidráulica del sistema.

Este resultado puede causar la falsa sensación de mejora o, mejor dicho, no empeoramiento de la situación del emisario a futuro ya que, como se observa, la respuesta del sistema futuro es casi coincidente con la respuesta del sistema actual. Pero hay que tener en cuenta que en la actualidad el conducto principal del emisario ya se encuentra, para un evento de recurrencia R=10 años, muy comprometido en sus tramos finales, cercanos a la desembocadura sobre el Arroyo Ludueña. De hecho, ya se han registrado eventos lluviosos que provocan caudales de escurrimiento directo que superan la capacidad del conducto anegando ciertas zonas de la cuenca provocando inundaciones y pérdidas materiales importantes y esa es, fundamentalmente, la situación que motiva la presente investigación.

El escenario 2 representa un escenario pesimista, considerando que la expansión demográfica y la necesidad de vivienda, sumadas a las presiones inmobiliarias, conlleven a una urbanización excesiva de toda cuenca, perdiendo las valiosas superficies verdes de infiltración con que se cuentan en la actualidad.

Si bien este es un escenario extremista, todo indica, según se observa en la velocidad de urbanización actual, rápida y sin control de ningún tipo, que este no es un escenario del todo lejano.

Esta urbanización descontrolada y sin cuidado del impacto hidráulico generado, provoca una respuesta del sistema muy rápida, con un caudal pico muy grande, mayor a los 65m<sup>3</sup>/seg (Figura 33), es decir, caudales aproximadamente 50% mayores a los actuales. Situación que requeriría de un sistema pluvial primario suplementario semejante al actual para poder evacuar las aguas de lluvia eficientemente, con el

consecuente costo económico que esto conllevaría. Lo que indica a las claras que en el caso de urbanizar, deben tomarse las medidas correspondientes y considerar dicho efecto.

La propuesta del escenario 3 es la de tratar de brindar una respuesta hidráulicamente sustentable a las necesidades habitacionales requeridas, sin perder demasiada superficie filtrante.

La urbanización de las subcuencas 3 y 4 con viviendas unifamiliares o multifamiliares con centros de manzana forestados, veredas parqueadas y techos verdes representa una gran muestra de urbanización responsable, ayudando a crear conciencia social de la problemática, pero que con sí sola no logra generar grandes cambios respecto de las condiciones hidráulicas actuales de la cuenca.

Igualmente los resultados no son del todo malos. Es decir, en este caso se logra una respuesta del sistema prácticamente similar con la condición actual. Pero este no es un falso buen resultado como el caso del escenario 1, ya que se logra urbanizar un área donde ubicar unas 50000 personas sin empeorar la situación actual, ya delicada, del conducto principal.

Según se comentó, estos resultados pueden deberse a que solo se estaría introduciendo verdaderos cambios en una pequeña parte de la cuenca total, ya que el resto de la cuenca se encuentra en la actualidad casi totalmente urbanizada, por lo tanto los cambios en la respuesta logrado por el escenario propuesto quedan ocultos por la magnitud de caudales erogados en el resto de la cuenca.

Debido a esto surgió la necesidad de generar un nuevo escenario a partir del escenario 3, donde se propuso cambios en la totalidad de la cuenca y no solo en los sectores aun no urbanizados.

El escenario 3 modificado surge para demostrar que para generar cambios significativos en la respuesta del sistema total no alcanza con solo modificar un parámetro, reducción de superficie impermeable, en una parte de la cuenca, sino que los cambios deben ser a nivel cuenca y abarcar otros parámetros importantes. En este caso se demuestra que el parámetro "*proporción de área directamente conectada*" tiene una sensibilidad muy importante en la respuesta del sistema. Tanto que se logra reducir el caudal pico a menos de 35m<sup>3</sup>/seg, es decir un 40% menos que la situación actual (Figura 33).

Si se quiere una real mejora en la respuesta del sistema, los cambios deben abarcar la totalidad de la cuenca, regulando la urbanización en los sectores rurales e introduciendo mejoras en las subcuencas urbanizadas. De esta manera se asegura una correcta urbanización respetando áreas de infiltración por un lado y minimizando aportes de caudales directos al sistema pluvial actual por el otro.

Como punto de comparación, se observa que en todos los escenarios planteados la respuesta del sistema es muy rápida, alcanzando el caudal pico muy prontamente. En todos los casos el tiempo al pico ronda las 3 horas o menos. Esto se debe a que las subcuencas más urbanizadas con grandes extensiones impermeabilizadas se encuentran sobre el norte de la cuenca, cercanas a la desembocadura del emisario sobre el Arroyo Ludueña.

Por este motivo no se observa con mucha notoriedad en el escenario 3, escenario verde, una de las grandes ventajas de los espacios verdes de infiltración que es la de generar hidrogramas de respuesta con largos tiempos al caudal pico, retardando la respuesta del sistema y permitiendo a la cuenca drenar los

caudales en un mayor tiempo de manera más equitativa, reduciendo la necesidad de grandes diámetros en las cañerías de conducción.

Se observa en el cuadro comparativo de hidrogramas que el correspondiente al escenario 3 modificado es el que presenta el mayor tiempo al caudal pico. Si bien este tiempo es relativamente corto, demuestra que el camino elegido es el correcto: con los cambios propuestos en la totalidad de la cuenca se logra el menor caudal pico y el mayor tiempo al pico de todos los escenarios.

Al momento de evaluar la posibilidad de ejecución de cada escenario planteado surge, indefectiblemente, la necesidad de realizar un análisis económico de cada uno.

Como era esperable, las obras necesarias para evacuar los grandes caudales generados por la urbanización del escenario 2 demandan muchísimos mayores gastos, mas del cuádruple, que los demás escenarios (Figura 34).

Por otro lado tenemos el escenario 3 modificado, que es el escenario especialmente estudiado para mejorar hidráulicamente la cuenca y que resulta el escenario con menor inversión económica para su ejecución. Claro que la ejecución real de este escenario requiere otros esfuerzos además que los económicos, que son los de tener la decisión política de llevar adelante un plan urbano que contemple la problemática hidráulica y regule la urbanización de las zonas teniendo en cuenta estos conceptos. Pensar la urbanización y la construcción desde un nuevo punto de vista para minimizar impactos, crear conciencia social al respecto y llegar a un acuerdo con desarrolladores inmobiliarios para la eficaz implementación del plan.

Allí se observa la conclusión más importante de esta investigación, es muchísimo más preferible y económicamente factible realizar mayores controles en la urbanización teniendo en cuenta el aspecto hidráulico, que realizar inversiones posteriores en soluciones estructurales.

En este trabajo ello queda demostrado en la elección de los escenarios 3 y 3 modificado, en el cual se proponen modificaciones en aspectos constructivos de las nuevas urbanizaciones sumado a cambios en la actual forma de desaguar las áreas impermeables, logrando resultados notables en la repuesta del sistema y en el aspecto económico en comparación al escenario 2.

Para ello es necesario incluir la problemática hidráulica en los planes urbanos a futuro, de manera tal de tener una herramienta legislativa que asegure el correcto crecimiento urbano de la ciudad, de la forma esperada, prolija y controlada. Respetando por cada área impermeable, residencial o industrial, un porcentaje de área de infiltración, reduciendo la proporción de área impermeable directamente conectada a la red pluvial.

Aquí es sumamente importante honrar en las denominadas “soluciones no estructurales” de la problemática, es decir, promover a la conciencia social y a la construcción hidráulicamente responsable de cada vivienda, calle, plaza o edificio público. Teniendo la certeza de todos somos vecinos responsables del impacto urbano e hidráulico y del buen funcionamiento de la red pluvial.

Se debe pretender que las soluciones no estructurales sumadas a las estructurales apunten a optimizar el comportamiento hidráulico del sistema, generando un desarrollo sustentable desde el punto de vista hidráulico de la zona.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- Desarrollo Urbano de Bajo Impacto Hidrológico (DUBI), Víctor Hugo Burgos. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino.
- “Estudios hidrológicos e hidráulicos en el Emisario n°10 de la Ciudad de Rosario”, Instituto Nacional del Agua, Marzo 2003.
- PRODESI 2008/2018, Fuente: <http://www.rosario.gov.ar/mr/multimedia/repositorio/plan-urbano-rosario-2007-2017/prodesi-2008-2018/areas-industriales/plataforma-productiva-sector-luduena/view>
- Plan Urbano Municipal 2007/2017. Fuente: [http://www.rosario.gov.ar/sitio/arquitectura/urbanismo/plan\\_urbano4.jsp](http://www.rosario.gov.ar/sitio/arquitectura/urbanismo/plan_urbano4.jsp)
- Google (2014), imágenes de Rosario. <http://earth.google.com>
- Hidrología – Procesos y métodos. Orsolini, Zimmermann, Basile. 2009. UNR Editora
- Wikipedia (2015), [http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo\\_sostenible](http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sostenible)
- Manual Modelo ARHYMO.
- Instituto Nacional del Agua (2014), <http://www.ina.gov.ar/>
- Diario La Capital (2010), <http://www.lacapital.com.ar/la-ciudad/Desde-el-uacuteltimo-censo-en-2001-la-poblacioacuten-de-Rosario-crecioacute-el-55-20100728-0008.html>
- Instituto Nacional De Estadísticas y Censos, Indec (2015), <http://www.indec.mecon.ar/buscador.asp?t=rosario>
- Zimmermann E, Bracalenti L. 2014. Reducción de riesgo de inundación urbana mediante incremento de áreas para la agricultura y la forestación urbana y periurbana. Informe final. Proyecto conjunto FCEIA-RUAF Foundation (<http://www.ruaf.org>).