

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES



CAPITULO 4

IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO

PROYECTO DE DRENAJE Y VIALIDAD PARA EL LOTEO
"ALTO MOLVENTO"

CAPÍTULO 4: IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELO

4.1 GENERALIDADES

El cambio en el uso de suelo provoca notables consecuencias en lo que respecta a los escurrimientos superficiales. A lo largo de los años, el área de trabajo presentó pequeños rasgos de modificaciones en su uso de suelo, desde un uso de suelo rural (con la presencia del monte autóctono) a un uso de suelo agrícola-ganadero. En un futuro, luego de implantado el desarrollo inmobiliario en el área, el suelo pasará a tener un uso residencial, y es este cambio el que generará las mayores consecuencias que deben ser estudiadas con atención.

A continuación, en las siguientes secciones, se desarrollan y se explican las incidencias de los ya mencionados procesos de transformación del suelo.

4.2 IMPACTO DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS.

Una modificación en un ciclo siempre genera consecuencias de mayor o menor importancia. Las prácticas agrícolas son cambios que sufre uno de los factores del ciclo del agua (el suelo), y por lo tanto impactan sobre él. Estos impactos tienen efectos como:

- a. La reducción de la infiltración del suelo
- b. La aceleración de los escurrimientos
- c. La erosión y consecuente deposición en otras áreas
- d. La contaminación de los medios receptores

En lo que respecta a los puntos a. y b., estos tienen influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los sectores bajos. Dichas inundaciones son las responsables de la deposición de suelo que pertenece a otros sectores y que llega hasta allí debido a la erosión.

Vinculado a los diferentes estados por los que atraviesa el suelo para ser utilizado con fines agrícolas-ganaderos, se encuentran los diferentes volúmenes de escurrimiento, que como consecuencia, se generan. Dicho esto, queda claro que no existirá igualdad entre volúmenes de escurrimiento de dos cuencas, de las cuales una de ellas presente cobertura vegetal autóctona, con abundante vegetación y con suelo inalterado antropicamente, a otra que presente uso agrícola-ganadero, y dentro de este último las diferentes prácticas, es decir, empobrecidas las pasturas y dificultada su regeneración, el suelo pierde capacidad de retención de agua y con ello su mejor protección contra la erosión.

La Figura 4.1 muestra los hidrogramas de escurrimiento superficial que se producen en un sector rural, dependiendo de la cubierta que tenga el suelo y su uso. Allí se puede ver según la descripción que presenta cada hidrograma (distintas gamas de verde), un suelo con cobertura vegetal autóctona, otro donde el suelo se encuentra desprotegido y por último un tercero que se ubica entre medio de los dos anteriores y que representa un suelo con siembra directa.

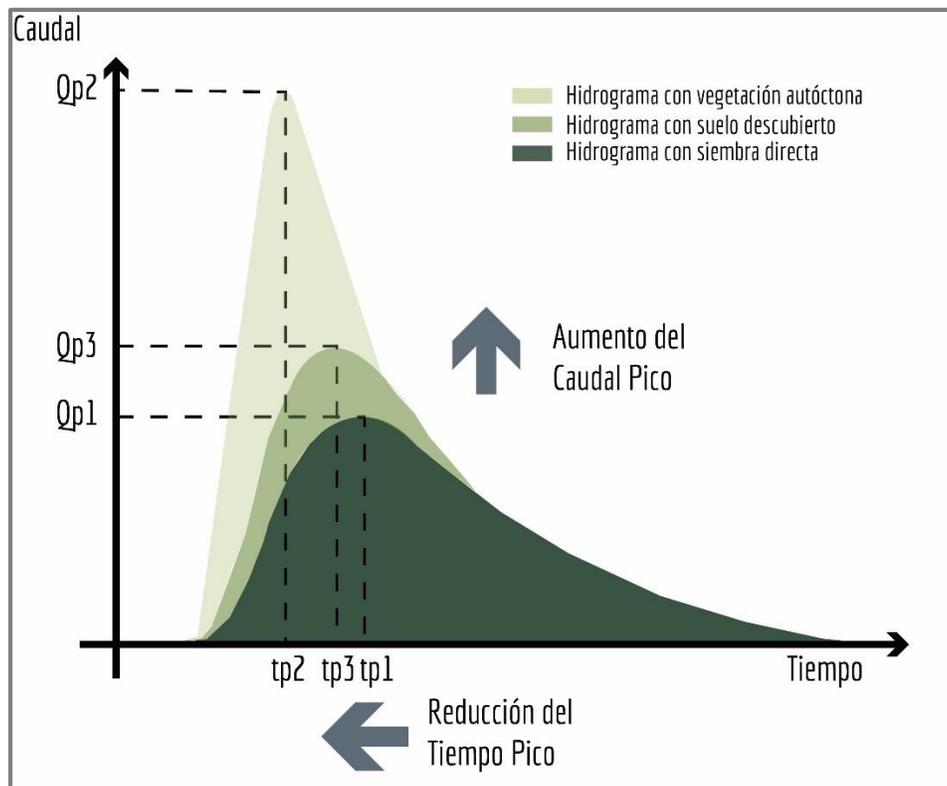


Figura 4.1. Impacto hidrológico de las prácticas agrícolas

4.3 IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN

El cambio de uso de suelo que genera mayores escurrimientos es la urbanización, pues no existen mayores grados de impermeabilización en la vida real, que los de este tipo. Como dijimos anteriormente las actividades humanas producen una perturbación en el ciclo del agua. El aumento del grado de impermeabilización de una cuenca producto de la urbanización implica modificar dicho ciclo. Chocat (1997), reconoce cinco efectos:

- La impermeabilización del suelo
- La aceleración de los escurrimientos
- La construcción de Obstáculos al escurrimiento
- La "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas
- La contaminación de los medios receptores

En base a estos efectos planteados por dicho autor, el Ingeniero Juan Carlos Bertoni y Adolfo Maza en su libro "Inundaciones Urbanas en Argentina" establecen, que los tres primeros puntos, tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos (Figura 4.2)

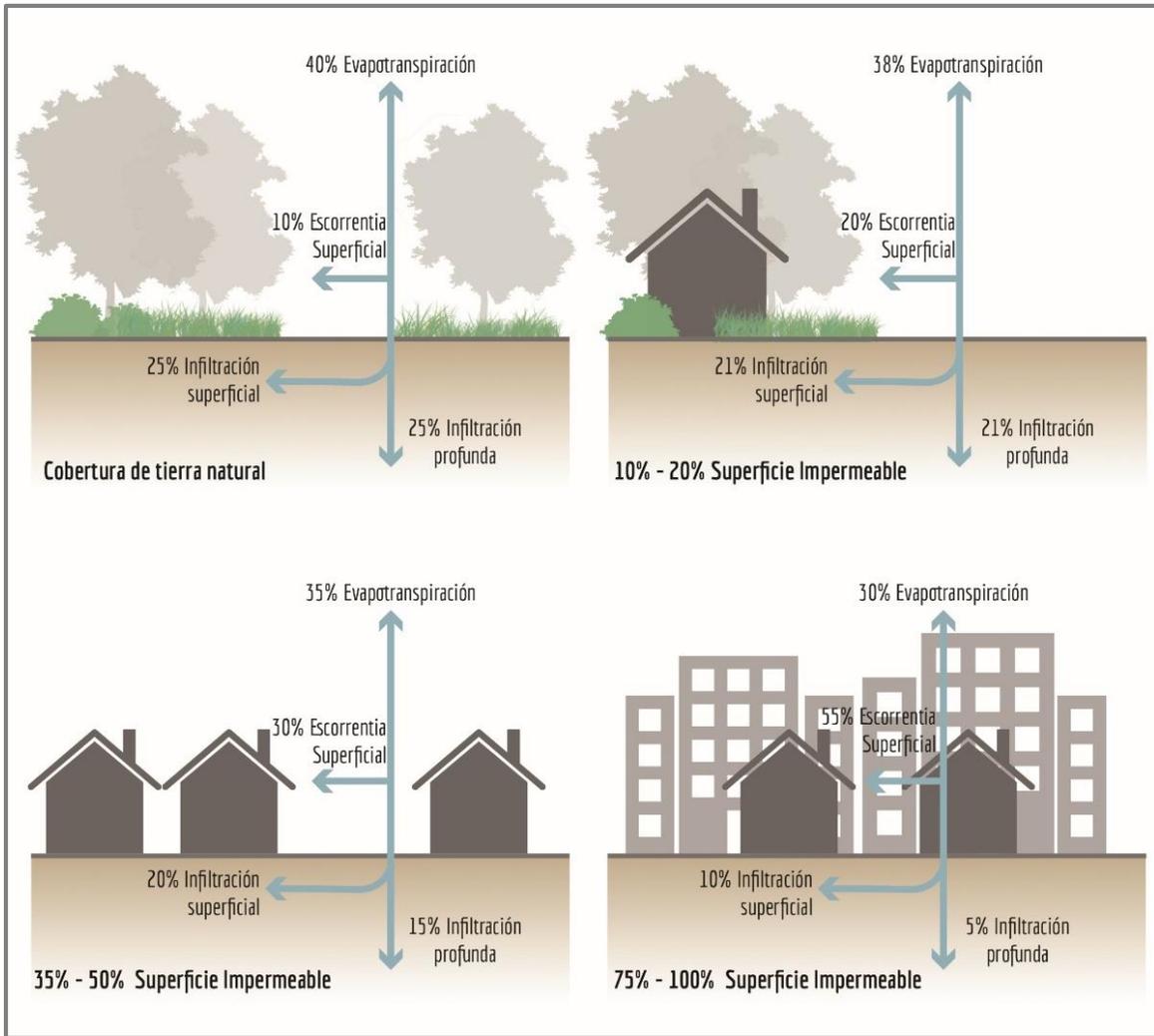


Figura 4.2. Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial

El desarrollo urbano, la pavimentación y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas traen como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades.

En las ciudades más chicas con pocas calles pavimentadas, terrenos baldíos intercalados y con casas generalmente provistas de fondos de tierra o jardines, la lluvia encuentra una gran proporción de zonas de infiltración (tierra, jardines) con relación a las zonas impermeables (techos, pavimentos). El agua que escurre como resultado de la lluvia de determinada intensidad sobre un área en esas condiciones es muy inferior a la que se produce sobre una ciudad densamente urbanizada donde prácticamente el 100% de su superficie es impermeable.

La urbanización en una cuenca tiende a llenar las áreas bajas (las cuales en un primer momento proveían almacenamiento) y a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración). La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones y cunetas colecta más escurrimiento y lo dirige a cauces, lagos o humedales. Esta acción produce un gran

volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos. Esto produce importantes daños a la integridad física y biológica del cauce receptor.

Lo mencionado anteriormente se puede observar en la Figura 4.3, donde se muestran los hidrogramas en escenario en estado natural y otro luego de que el mismo ha sido urbanizado.

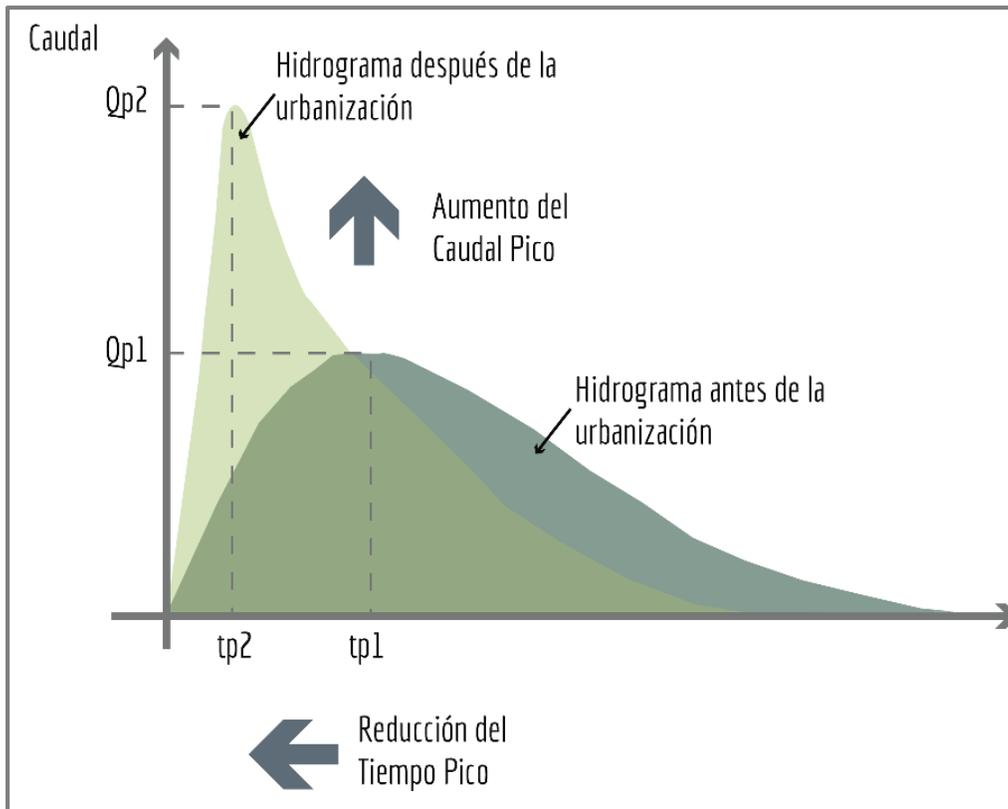


Figura 4.3. Impacto hidrológico de la urbanización

En EE. UU. se ha recomendado capturar y tratar el escurrimiento que varía de 5,8 mm por hectárea impermeable hasta el correspondiente al tiempo de retorno de 2 años y duración 24 hrs.

UNESCO (1987) ejemplifica a través de algunas situaciones el impacto que la urbanización produce en las áreas urbanizadas:

- Un aumento de la impermeabilidad de 40% produce una disminución del 50% en los tiempos de distribución del escurrimiento y un aumento del 90% del caudal máximo de las crecidas.
- Cuando la densidad poblacional pasa de 0,4 hab./ha. a 50 hab./ha. los tiempos de distribución de los escurrimientos se reducen a la décima parte y los volúmenes escurridos aumentan diez veces.

- La evapotranspiración se reduce en un 38%.
- El escurrimiento superficial aumenta en un 88%.

La literatura especializada cita algunos valores que permiten dimensionar la magnitud de este impacto. Para una cuenca de 260 has. Leopold (1968) estimó que su urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación natural. Cabe consignar que en algunos casos el impacto hidrológico ha superado estos porcentajes. Desbordes (1989) cita que a causa de obras derivadas de la urbanización, algunas cuencas francesas han visto su tiempo de respuesta dividido por un factor del orden de 5 a 15 y, en consecuencia, la multiplicación del caudal de punta específico ha sido afectado por un factor variando entre 5 y 50. Tucci (1994) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200 %. Para la ciudad de Rafaela, Santa Fe, Bertoni (2001), determinó, en base a datos hidrológicos y de urbanización, que un crecimiento del 15 % en el porcentaje de urbanización representa 140 % de reducción del tiempo de concentración y 100 % de aumento del caudal de punta específico. Cabe aclarar también, que el remplazo de la cobertura vegetal, por superficies impermeabilizadas también influye de manera directa en el porcentaje evapotranspiración del área disminuyendo su valor, ya que la cobertura vegetal, retiene una gran cantidad de agua para ser absorbida para su crecimiento, efecto que no es capaz de realizar la superficie urbana.

4.4 INUNDACIONES URBANAS

4.4.1 Generalidades

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional (WHO-UNESCO, 2012), la inundación se define de la siguiente manera:

- Aumento en el nivel de agua de un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel de agua asciende a menor velocidad;
- Caudal alto de un río o arroyo medido por medio de la altura de nivel o por la descarga;
- Aumento de la marea.

Una inundación puede estar relacionada con precipitaciones intensas o prolongadas, la crecida de un río, la marea de tormenta, el oleaje, o con la falla de alguna estructura hidráulica, todo lo cual provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar. Otros factores que influyen en la ocurrencia de inundaciones son: la capacidad de absorción de los suelos al momento de las lluvias o crecida, la insuficiente capacidad de descarga de los cursos de agua y la pendiente del terreno (zonas de estancamiento). El desborde genera la invasión de agua en sitios en los cuales usualmente no la hay y ocasiona, por lo común, daños sobre la población y los bienes que se distribuyen sobre el territorio afectado. Es importante destacar que, en todos los casos, una inundación es un evento que forma parte de la dinámica propia de los cursos y cuerpos de agua. Por lo tanto, es esperable que ocurra cada cierto período de tiempo (recurrencia). Comprender esta característica es fundamental para llevar a cabo las tareas preventivas.

Las inundaciones urbanas se producen como resultado directo o indirecto de la modificación del ciclo del agua en las ciudades. La superficie pavimentada y las edificaciones producen un aumento del escurrimiento superficial (que también se hace más veloz) y una disminución de la infiltración, concentrándose el agua en calles y avenidas.

4.4.2 Tipo de Inundaciones

➤ *Inundaciones pluviales (anegamientos):*

También conocidas como "de drenaje urbano" (Tucci, 2005), se trata de aquellas inundaciones originadas por lluvias intensas o abundantes que superan la capacidad de conducción del sistema pluvial urbano. También son conocidas como aquellas que el aumento de su frecuencia y magnitud se debe fundamentalmente al proceso de ocupación del suelo con superficies impermeables y redes de conducciones de los escurrimientos.

En las zonas de baja altitud dentro de las ciudades, la formación de reservorios o depósitos de agua se produce no sólo debido a las altas tasas de precipitación, sino también debido a las obstrucciones del drenaje causadas por los escombros y por los bloqueos de alcantarillas y puntos de recolección, a menudo debido a la falta de mantenimiento.

Este tipo de evento tiene las características de una inundación repentina, pues se asocia con frecuencia a tormentas severas con importante desarrollo convectivo, de corta duración y concentrada en un área relativamente pequeña. La calificación de "repentina" refiere a la rapidez de la formación de la corriente debido a la intensidad de las lluvias y a las consiguientes altas velocidades que alcanza el flujo de agua. Esta rapidez las hace particularmente peligrosas para las personas y sus bienes, ya que, dependiendo de la configuración territorial de la ciudad y su entorno, pueden transformarse en flujos de lodo y escombros. En general, estas inundaciones pueden ser constantes u ocasionales. En el caso de inundaciones constantes la causa básica radica en errores en el proyecto o en la ejecución de pavimentos de calles y avenidas, en la modificación local de la rasante de la calle por la acción de árboles o lomadas, en la ubicación inadecuada o insuficiente de bocas de tormenta o en la falta de análisis de las consecuencias de la concentración excesiva del flujo sobre ramales existentes. También puede ser una causa la falta de capacidad del sistema de drenaje en los conductos de aguas abajo. Este tipo de inundaciones se asocia con el sistema de microdrenaje.

➤ *Inundaciones ribereñas o costeras*

Típicas de ciudades ubicadas sobre las márgenes de cursos de agua, mares y sistemas mixtos (como los estuarios), se producen como consecuencia del desborde de ríos y arroyos o por crecidas del mar. El aumento en el caudal de los ríos y el derrame del agua sobre sus llanuras de inundación afectan las ciudades que allí se desarrollan, muchas veces a pesar de contar con sistemas de defensas o terraplenados artificiales. Así, la decisión de "ganar" terrenos al río y ocupar áreas inundables a través de la construcción de infraestructura como canales, entubamientos y terraplenes suele generar condiciones de vulnerabilidad y exposición de la población frente a las inundaciones (Viand y González, 2012).

En sistemas particulares como los estuarios, las inundaciones se producen en general cuando los efectos de las mareas generadas por los centros de baja presión y los vientos persistentes e intensos se superponen con un período de mareas altas. La forma de embudo característica de muchos estuarios provoca un aumento en los niveles altos de

agua en la parte superior, estrechando tramos del río asociado. Estos tipos de inundaciones son experimentados sobre todo en deltas y son más frecuentes y menos graves en términos de profundidad que las inundaciones causadas por las mareas de tormenta. En general, estas inundaciones están asociadas con el sistema de macrodrenaje.

➤ Inundaciones mixtas

Como su nombre lo indica, se trata de inundaciones urbanas donde se combina la crecida de un río con la falta de capacidad del sistema pluvial para la evacuación de los excedentes generados por lluvia.

4.4.3 Medidas para la reducción del riesgo de inundaciones urbanas

Los efectos de las inundaciones pueden minimizarse a partir de la implementación de una serie de medidas. Hablamos de minimizar y no de eliminar totalmente estos efectos, debido a que, pese a los esfuerzos del hombre, es inadecuado suponer que se pueden controlar todos los efectos de las inundaciones. Estas medidas se clasifican en estructurales y no estructurales (Bertoni, 2004).

➤ Medidas no estructurales:

Estas se basan en que los perjuicios ocasionados por las inundaciones son reducidos a través de una mejor convivencia de la población con las crecidas del río. Incluimos dentro de estas medidas las acciones de cuño social, económico y administrativo. A veces estas medidas también se las denomina "No Obras", para distinguirlas de las anteriores.

➤ *Medidas estructurales*

Son aquellas que modifican el sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica a través de obras, generalmente de ingeniería civil, para evitar o minimizar los principales inconvenientes y daños que generan las inundaciones. También incluimos en este tipo de obras las de ingeniería forestal y de ecoidrología (forestación, renaturalización de laderas y cauces, etc.).

Las medidas estructurales tienen la ventaja de que, generalmente, permiten obtener los resultados deseados de manera inmediata luego de su realización. Sin embargo, usualmente, suponen mayores costos que las medidas no estructurales.

Las medidas estructurales nunca son proyectadas para dar una protección completa y total, ya que ello exigiría construir obras que aseguraran el resguardo aún frente a la mayor crecida posible, lo cual suele resultar física y económicamente inviable. Por lo tanto es imprescindible complementar las obras con la adopción de medidas no estructurales. Hasta hace unos años se creía, de manera errónea, que la solución a los problemas de las inundaciones era dada exclusivamente por obras de ingeniería, tales como canales, conductos, alcantarillas, diques laterales de protección y presas. Actualmente ya no existen dudas de que ninguna obra podrá funcionar tal como originalmente fue prevista si junto a la misma no implementamos también un conjunto de medidas no estructurales.

Las medidas estructurales pueden ser:

- **Intensivas:** cuando se realizan dentro del sistema de drenaje, es decir, dentro del curso del río principal y/o sobre los cursos de agua de menor envergadura (arroyos, quebradas, lagunas, etc.).
- **Extensivas:** cuando se realizan y actúan en distintas partes de la cuenca hidrográfica. Se trata de medidas que intentan modificar las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento superficial, como ser la alteración de la cobertura vegetal del suelo, que reduce y retarda los picos de crecidas y controla la erosión de la cuenca.

Las medidas intensivas, es decir aquellas que se realizan dentro de los cauces de los cursos de agua, pueden ser de tres tipos:

- **Obras que aceleran el escurrimiento:** construcción de diques y pólderes, el aumento de la capacidad de descarga de los ríos y el corte de "meandros" (curvas naturales de los ríos), hecho que hace que aumente en dicho sector la pendiente del río y se logre así un aumento local de la capacidad de drenaje del río;
- **Obras que retardan el escurrimiento:** reservorios y lagunas de amortiguación de caudales máximos. Este tipo de obras es ampliamente utilizado en la ejecución de loteos.
- **Obras que desvían el escurrimiento:** obras como canales de desvíos.

Las medidas intensivas pueden ser realizadas dentro del lecho menor o mayor de un curso de agua. El lecho (o cauce) menor es aquel que es ocupado permanentemente por el flujo de agua. El lecho mayor está formado por terrazas o planicies de inundación laterales a los cursos y es aquel que ocupa el río cuando se producen las crecidas. Tanto el cauce menor como el mayor forman, en conjunto, el cauce completo del curso de agua. En los ríos de montaña el cauce mayor es de reducida (o nula) extensión, mientras que en los cauces de llanura puede ocupar hasta varias decenas de km a cada lado del curso menor.

Cuando la frecuencia de desbordamiento del lecho menor es superior a 2 años, existe la tendencia de la población a ocupar las terrazas o planicies laterales que conforman el lecho mayor. Debido a las crecidas, esta ocupación genera daños importantes a los ocupantes de estas áreas y también a las poblaciones aguas arriba, que son afectadas por las elevaciones de niveles a consecuencia de la obstrucción del escurrimiento natural causado por los primeros ocupantes.

A continuación, se describen las obras que retardan los escurrimientos, ya que las mismas son ampliamente utilizadas en el presente estudio.

Reservorios o Lagunas de Retardo/Laminación

Las lagunas de laminación para el control de crecidas funcionan reteniendo temporariamente parte del volumen de las crecidas, reduciendo así el caudal pico y el impacto aguas abajo de la obra. En la Figura 4.4 se observa el hidrograma que muestra la variación de los caudales del río en función del tiempo.

Un reservorio capaz de almacenar temporariamente un cierto volumen del hidrograma produce la reducción del caudal máximo y el retraso de la onda de crecida, con los beneficios que ello presupone hacia aguas abajo (hidrograma amortiguado).

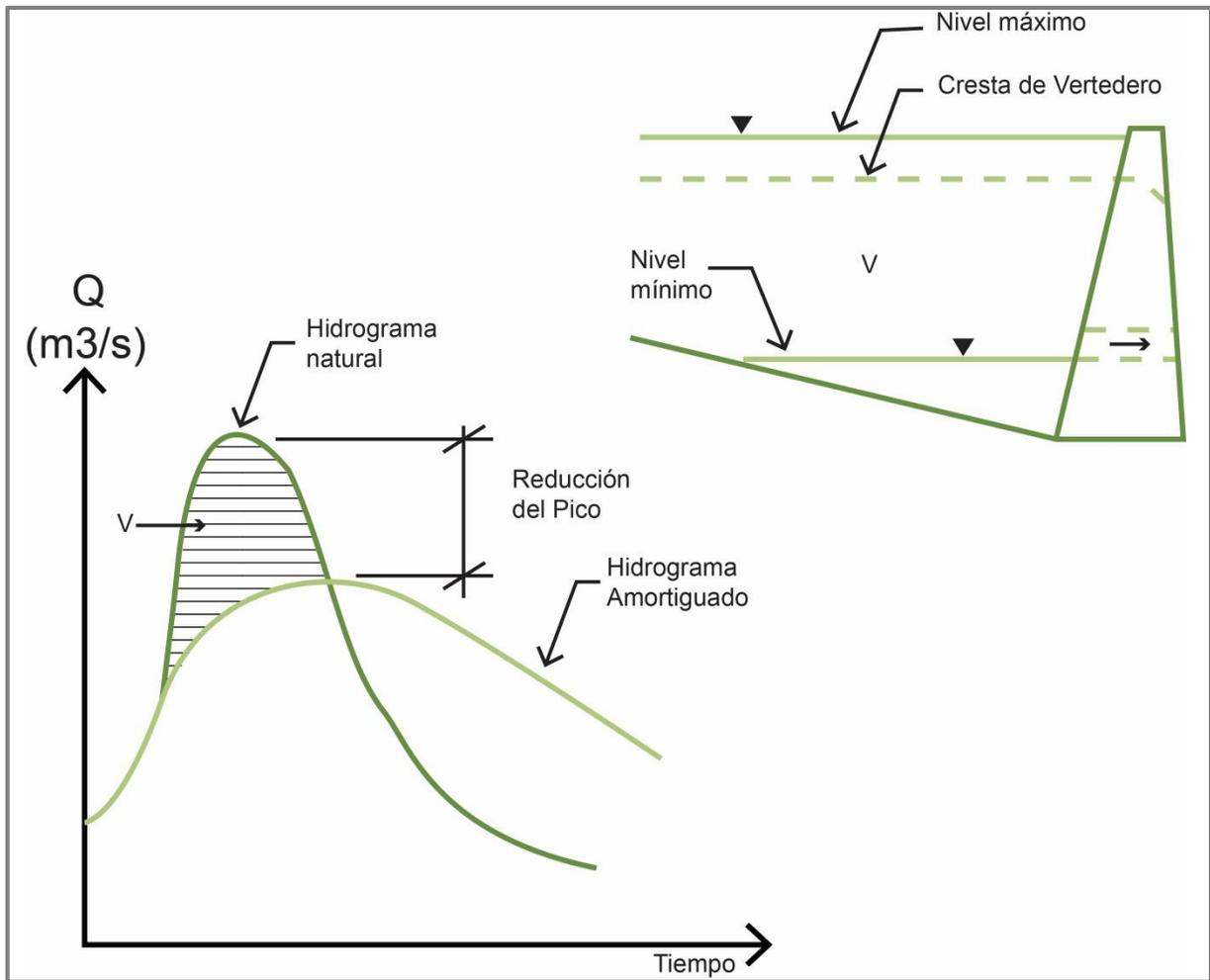


Figura 4.4. Perfil típico y efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca.

Obras de control de escurrimiento urbano

Para lograr un adecuado control de escurrimiento asociado al drenaje urbano es conveniente que se promuevan obras y medidas orientadas a laminar los caudales picos producidos por las lluvias y, de ser posible, a reducir el volumen de escurrimiento.

Estas obras de control podrán ser realizadas en tres niveles diferentes:

- En la "fuente" (dentro del lote o bien dentro del loteo).
- En el microdrenaje.
- En el macrodrenaje.

Uno de los criterios a considerar en áreas urbanas con desarrollo futuro es el de promover el control en la "fuente" toda vez que ello sea posible, ya que está comprobado que a medida que aumenta la distancia entre la fuente de producción del escurrimiento y la ubicación de la obra de control, también aumenta de manera considerable el costo necesario para lograr un manejo sustentable del drenaje urbano.

El criterio que generalmente se aplica en la laminación de caudales máximos es el de lograr el "Impacto Hidrológico Cero" (o Nulo). Este importante criterio, sobre el cual se basa el presente estudio, consiste en ejecutar obras de control de modo que el caudal pico producido por el lote urbanizado sea similar a aquel producido en la situación previa a la urbanización, como ya se explicó en secciones anteriores. Este concepto es de aplicación para los tres niveles antes señalados.

En lo que respecta a las obras de control en el microdrenaje y macrodrenaje serán explicados en la siguiente sección.

4.4.4 Macrodrenaje y Microdrenaje

Existe una marcada tendencia respecto a la planificación, proyecto y operación de un sistema de drenaje pluvial urbano a distinguir entre dos componentes o subsistemas para el análisis de los mismos. Estos son el macro y el micro drenaje, como se puede ver en la Figura 4.5.

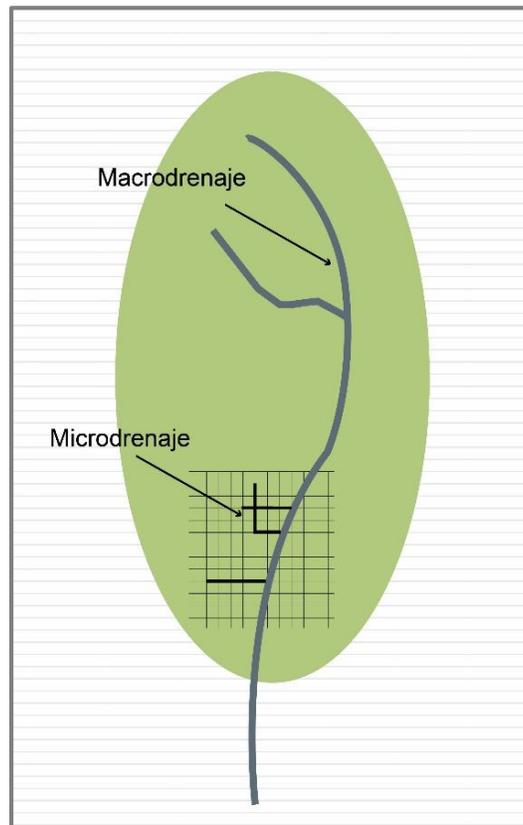


Figura 4.5. Subsistemas asociados al drenaje urbano

Así, cuando nos referimos al macrodrenaje, estamos hablando de todos aquellos cursos naturales de escurrimiento, sin importar la magnitud que presenten, definidos por las depresiones propias de la topografía de la cuenca. Se encuentra siempre, independientemente si se ejecutan o no obras específicas de drenaje y por lo general,

drenan áreas mayores a 5 Km² dependiendo del tamaño de la cuenca y el relieve de la región. Está asociado a lluvias excepcionales, y en relación con el proyecto, debe poder eliminar o reducir al máximo posible los daños provocados por estas, convenientemente aquellas que presenten tiempos de recurrencia de entre 10 y 100 años, con tendencia (cuando sea posible) de concentrarse en períodos de retorno superiores a 25 años.

Las obras de control en el macrodrenaje drenan áreas de aporte superiores a 1 ó 2 km². En este caso, la acción típica para el control del drenaje urbano es la planificación de los espacios urbanos para el desarrollo de áreas de detención y de retención.

Las lagunas de retención sirven para amortiguar el pico de la crecida y se mantienen secos la mayor parte del tiempo; por lo general se trata de que el tiempo de vaciado sea menor a 1 día, aunque ello depende de la frecuencia con que se repitan los eventos severos. A estos reservorios se los emplea para el control cuantitativo del escurrimiento.

Por otro lado, el subsistema de microdrenaje se compone por todas aquellas obras de drenaje urbano realizadas en áreas donde el escurrimiento natural no se encuentra claramente definido, sino que el mismo se determina por la ocupación del suelo, es decir, existe una definición artificial del drenaje. Se encuentra asociado a lluvias frecuentes y debe estar proyectado para un funcionamiento sin inconvenientes ante tormentas con tiempos de retorno entre 2 y 25 años, dependiendo del tipo de ocupación del sector. En las ciudades y demás áreas urbanas, este tipo de subsistemas quedan definidos por componentes tales como: trazado de calles, cordón cuneta, badenes, alcantarillas, los sumideros o bocas de tormentas y los sistemas de conducción subterránea hasta la salida hacia el macrodrenaje.

Las obras de control en el microdrenaje drenan loteos y áreas de aporte de hasta 1 ó 2 km² aproximadamente. Estas medidas se orientan a incrementar la infiltración (paseos, plazas y áreas públicas con el incremento de áreas verdes) y el almacenamiento local (reservorios de amortiguación en paseos, plazas, zonas bajas, bañados, etc.).

Para el proyecto de las obras de amortiguación debemos tener en cuenta aspectos tales como: tipología de la urbanización, tamaño de los lotes urbanos incluidos dentro de la urbanización, grado de impermeabilización de los lotes y pendiente general del sector.