

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

---

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

# PRÁCTICA SUPERVISADA

## ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEEO “VALLECITO”

AUTOR: LARREA, MANUEL

TUTOR: MAG. ING. CORRAL, MARIANO A.

SUPERVISOR: ING. FELIPPA MARCOS E.

|2019|

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mis padres, Jorge y Mónica, por el inigualable esfuerzo que han hecho desde el momento en que arranque a estudiar esta hermosa carrera, pero más aún, por los valores que me han inculcado desde chiquito, por el ejemplo de persona y de vida que me han demostrado y brindado, para llegar a ser lo que hoy, con orgullo y gracias a ellos, soy como persona. Porque, a pesar de la distancia, siempre estuvieron a mi lado, en todas y cada una de las veces que necesité un consejo, por el amor que me brindaron siempre. Por todo esto y muchísimo más, de corazón, gracias eternas.

A Daiana, mi hermana, mi mano derecha, porque siempre estuvo ahí para ayudarme y aconsejarme, porque se bancó situaciones que sólo con ella hubiera podido compartir. Porque jamás dejó que bajara los brazos, porque me enseñó a transitar las malas y fue uno de los pilares que me mantuvieron en pie en esta etapa de mi vida. Por demostrarme que sea cual sea el panorama, siempre estaremos ahí, juntos, el uno para el otro. Por todo esto y muchísimo más, hasta el final, gracias eternas.

A Pilar, mi sobrina, por estar siempre pendiente del momento en el que yo pudiera volver al pueblo para compartir algunos momentos juntos, por el amor brindado a pesar de la distancia, y por siempre tratar de sacarme una sonrisa y ayudarme en cada cosa que ella pudiera hacerlo. Por todo esto y mucho más, gracias eternas.

A Olga y Nelly, mis dos abuelas, y a Cacho, mi tío, por el amor y el apoyo incondicional desde siempre, por estar siempre pendiente de como estaba y como iba progresando en la carrera, por estar siempre a la espera de alguna visita mía que en muchas ocasiones no llegó, y, aun así, siguen brindándome todo su inigualable amor. Por todo esto y muchísimo más, perdón y gracias eternas.

A mis dos abuelos, Cholo y Vasco, porque a pesar de que ya no están físicamente presentes, dejaron muchos valores y enseñanzas que me permitieron llegar a donde hoy estoy y ser la persona que soy, por todo lo vivido hasta el momento en que la vida se los llevó, y por ese tan especial e incondicional amor de abuelos. En donde quiera que estén, gracias eternas.

A Rocío, mi compañera de vida, por el amor que me brinda todos los días, porque intenta sacarme una sonrisa en todo momento, porque supo estar para mí y apoyarme en situaciones muy difíciles, y por celebrar conmigo los buenos momentos también. Porque es otro de mis pilares en esta etapa de mi vida. Celebro compartir mis momentos con vos. Por todo esto y muchísimo más, gracias eternas.

A mis amigos, los de toda la vida y los que conocí en el transcurso de la carrera, por estar ahí para apoyarme y brindarme algún consejo, y por hacer que esta etapa de la vida sea un poco más fácil y placentera de transitar, a todos ellos, muchísimas gracias.

Al Ing. Mariano Corral, mi tutor docente y, especialmente, al Ing. Marcos Felippa, mi tutor externo, por todo su tiempo que me brindaron y pusieron a mi disposición para llevar adelante el desarrollo de esta práctica, por sus consejos, sus experiencias y conocimientos transmitidos. Por todo esto, muchísimas gracias.

A Gustavo Vanoli y todo el grupo que conforma Vanoli & Asociados Ingeniería S.R.L. por brindarme la oportunidad de realizar esta práctica y tener esta grata experiencia laboral. Por incluirme, y haberme hecho sentir uno más desde el primer momento. Por su ayuda, consejos y críticas en el desarrollo de este trabajo, muchísimas gracias.

## RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO FINAL

El presente trabajo resume y detalla los criterios adoptados para la realización del *estudio hidrológico y el diseño de lagunas de retardo* del proyecto de drenaje, para el loteo denominado "Vallecito". Este, es un proyecto de urbanización que comprende un emprendimiento inmobiliario destinado a la construcción de viviendas unifamiliares y tratará de integrar la vida cotidiana de las personas que allí residan con el medio ambiente, disponiendo de diversos sectores naturales, ocupados por espacios verdes y espacios de recreación.

Se emplazará al este de la ruta provincial C45, en el sector sur del gran ejido urbano de la ciudad de Malagueño, dentro del Departamento Santa María de la Provincia de Córdoba. La superficie total que ocupará dicho proyecto será aproximadamente de 210 Has, las cuales serán divididas en 12 Macrolotes con variadas superficies desde 10 hasta 15Has., y el más extenso de ellos posee 58Has. de superficie. Dentro de los mismos, se dividen diferentes áreas destinadas a la construcción de las viviendas unifamiliares, y materialización del proyecto de vialidad interna, el proyecto de drenaje y a los ya mencionados espacios verdes y espacios de recreación.

En la actualidad, los terrenos en los que se proyecta el loteo poseen un *uso de suelo rural*, pero pasarán a ser de *uso residencial*. Este cambio en el uso de suelo generará un cierto impacto; como consecuencia de la impermeabilización del suelo que se da al momento de la consolidación de la urbanización; el cual implicará un aumento en el caudal y en el volumen de excedentes pluviales que escurren superficialmente. En función de ello, y con el objeto de mitigar los efectos que dicho aumento de excedentes pueda ocasionar aguas abajo del loteo, se considerará la proyección de un adecuado "*Proyecto de Drenaje*" que contemple la restitución de los escurrimientos actuales.

Dicho Proyecto de Drenaje estará basado en el desarrollo del correspondiente "*Estudio Hidrológico*" sobre el área de análisis, el cual comprenderá la modelación hidrológica de las cuencas de aporte a las zonas afectadas por el emprendimiento, en dos situaciones o escenarios posibles que se plantean: el "*Escenario Actual*" correspondiente al medio natural sin intervención del hombre donde se analiza el *macro drenaje* y el "*Escenario Futuro*" que se dará una vez finalizado el desarrollo urbanístico, donde se analiza el *micro drenaje*. Realizando una comparación entre ambos escenarios planteados se obtienen las diferencias existentes entre ellos, a partir de las cuales se diseña una serie de obras hidráulicas que componen el sistema de conducción y regulación de excedentes pluviales, es decir, el sistema de drenaje. Una vez finalizado dicho diseño, se continúa con la modelación de un tercer escenario denominado "*Escenario Futuro Regulado*", que permitirá la *evaluación del comportamiento de las obras de regulación*.

El Proyecto de Drenaje desarrollado tiene por objeto el diseño de las diferentes obras hidráulicas de regulación, tendientes a lograr un manejo eficiente de los excedentes pluviales y a regular los volúmenes adicionales que tendrán lugar en el futuro.

**ÍNDICE GENERAL**

<b>1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA.....	9
1.2. PRESENTACIÓN.....	9
1.3. PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA.....	9
1.4. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	10
1.4.1. Objetivos Técnicos.....	10
1.4.2. Objetivos Personales.....	10
1.5. METODOLOGÍA.....	11
1.5.1. Etapa Preliminar.....	11
1.5.2. Estudio Hidrológico.....	11
1.5.3. Proyecto de Drenaje.....	11
<b>2. CAPÍTULO 2: ETAPA PRELIMINAR.....</b>	<b>12</b>
2.1. TAREAS REALIZADAS EN CAMPAÑA.....	13
2.2. TAREAS REALIZADAS EN GABINETE.....	17
<b>3. CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>18</b>
3.1. UBICACIÓN.....	19
3.2. ACCESIBILIDAD.....	20
3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA.....	21
3.3.1. Suelos.....	21
3.3.2. Clima.....	23
<b>4. CAPÍTULO 4: IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELOS..</b>	<b>27</b>
4.1. IMPACTOS POR DESMONTES/PRÁCTICAS AGRÍCOLAS.....	28
4.2. IMPACTOS POR URBANIZACIÓN.....	29
4.3. INUNDACIONES URBANAS.....	31
4.3.1. Tipos de Inundaciones.....	31
4.3.2. Medidas para la Prevención de Inundaciones Urbanas.....	32
4.3.3. Macrodrenaje y Microdrenaje.....	35
<b>5. CAPÍTULO 5: LOTEO "VALLECITO".....</b>	<b>36</b>
5.1. ASPECTOS GENERALES DEL LOTEO.....	37
<b>6. CAPÍTULO 6: ESTUDIO HIDROLÓGICO.....</b>	<b>40</b>
6.1. DELIMITACIÓN DE CUENCAS DE APORTE.....	41
6.1.1. Situación o Escenario Actual.....	42
6.1.2. Situación o Escenario Futuro.....	45
6.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS CUENCAS.....	46
6.2.1. Área de Drenaje de la Cuenca.....	46
6.2.2. Longitud y Pendiente del Cauce Principal.....	46
6.2.3. Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo.....	48
6.2.4. Pérdidas.....	50
6.3. TORMENTA DE DISEÑO.....	56
6.3.1. Período de Retorno (TR).....	57
6.3.2. Duración (d).....	57
6.3.3. Lamina Total Precipitada.....	58
6.3.4. Distribución Temporal.....	58
6.3.5. Distribución Espacial.....	59
6.3.6. Lámina Efectiva o Lluvia Neta. Pérdidas.....	59

6.4.	ESTIMACIÓN DE CAUDALES.....	60
6.4.1.	Transformación Lluvia-Caudal.....	60
6.4.2.	Modelo HEC - HMS.....	61
6.4.3.	Aplicación del Modelo Hidrológico.....	64
6.4.4.	Resultados Obtenidos.....	65
<b>7.</b>	<b>CAPÍTULO 7: PROYECTO DE DRENAJE.....</b>	<b>67</b>
7.1.	OBRAS PROYECTADAS.....	69
7.1.1.	Laguna de Regulación/Retardo 01.....	71
7.1.2.	Laguna de Regulación/Retardo 02.....	71
7.1.3.	Laguna de Regulación/Retardo 03.....	71
7.1.4.	Laguna de Regulación/Retardo 04.....	72
7.1.5.	Laguna de Regulación/Retardo 05.....	72
7.1.6.	Laguna de Regulación/Retardo 06.....	72
7.1.7.	Laguna de Regulación/Retardo 07.....	73
7.1.8.	Laguna de Regulación/Retardo 08.....	73
7.1.9.	Laguna de Regulación/Retardo 09.....	73
7.1.10.	Laguna de Regulación/Retardo 10.....	74
7.1.11.	Laguna de Regulación/Retardo 11.....	74
7.1.12.	Laguna de Regulación/Retardo 12.....	74
7.2.	APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....	78
7.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	79
<b>8.</b>	<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**


Figura 2.1. Futuro ingreso controlado al loteo.....	13
Figura 2.2. Diversos usos de la tierra.....	14
Figura 2.3. Clara pendiente del terreno hacia uno de los puntos de descarga.....	14
Figura 2.4. Lugar de emplazamiento y futura descarga de Laguna de Regulación 09.	14
Figura 2.5. Abundante presencia de vegetación.....	15
Figura 2.6. Lugar de emplazamiento de Laguna de Regulación 10.....	15
Figura 2.7. Alto del terreno sobre bosque autóctono en la zona central.....	15
Figura 2.8. Pendientes del terreno hacia un bajo con presencia de agua. Suelo descubierto por prácticas agrícolas.....	16
Figura 2.9. Marcada línea de escurrimiento sobre bajo natural.....	16
Figura 2.10. Intersección camino público de ingreso a Vallecito con RP C45.....	16
Figura 3.1. Ubicación del área de estudio, dentro del Departamento Santa María, Provincia de Córdoba.....	19
Figura 3.2. Ubicación del área de estudio, en zonas rurales correspondientes al ejido urbano de Malagueño.....	20
Figura 3.3. Accesibilidad al loteo.....	21
Figura 3.4. Mapa de los Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba.....	22
Figura 3.5. Temperaturas medias en enero en Provincia de Córdoba.....	24
Figura 3.6. Temperaturas medias en julio en Provincia de Córdoba.....	24
Figura 3.7. Amplitudes térmicas anuales en Provincia de Córdoba.....	24
Figura 3.8. Climograma de Malagueño.....	25
Figura 3.9. Diagrama de Temperaturas de Malagueño.....	26
Figura 4.1. Impacto hidrológico de prácticas agrícolas.....	29
Figura 4.2. Relación entre impermeabilización y aumento escurrimiento superficial...30	30
Figura 4.3. Impacto hidrológico de la urbanización.....	30
Figura 4.4. Delimitación de los lechos de un río.....	32
Figura 4.5. Efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca.....	34
Figura 4.6. Subsistemas asociados al Drenaje Urbano.....	35
Figura 5.1. Master Plan original del loteo.....	38
Figura 6.1. Entrada Alcantarilla de Cruce RP C45.....	43
Figura 6.2. Salida Alcantarilla de Cruce RP C45.....	43
Figura 6.3. Canal trapezoidal sin revestir.....	44

Figura 6.4. Boca de acceso a servidumbre de paso.....	44
Figura 6.5. Subcuencas de aporte – Escenario Actual.....	45
Figura 6.6. Subcuencas de aporte internas del Loteo – Escenario Futuro.....	45
Figura 6.7. Solución de ecuaciones de escorrentía del SCS.....	52
Figura 6.8. Caracterización de los usos de suelo.....	55
Figura 6.9. Regiones Pluviográficas Provincia de Córdoba.....	56
Figura 6.10. Curvas I-D-F, Zona Centro.....	58
Figura 6.11. Distribución Temporal Zona Centro - Estación Córdoba Observatorio....	59
Figura 6.12. Esquema de Modelación Situación Actual, Modelo HEC-HMS.....	64
Figura 6.13. Esquema de Modelación Situación Futura, Modelo HEC-HMS.....	64
Figura 7.1. Esquema de ubicación de Lagunas de Retardo.....	70
Figura 7.2. Planta General – Laguna de Regulación 12.....	75
Figura 7.3. Obra de Ingreso – Laguna de Regulación 12.....	76
Figura 7.4. Planta Obra de Descarga – Laguna de Regulación 12.....	76
Figura 7.5. Obra de Descarga, Corte A-A. – Laguna de Regulación 12.....	77
Figura 7.6. Obra de Descarga, Corte B-B. – Laguna de Regulación 12.....	77
Figura 7.7. Esquema de Modelación Situación Futura Regulada, Modelo HEC-HMS..	78

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3.1. Tabla climática de datos históricos del tiempo en Malagueño.....	26
Tabla 6.1. Parámetros físicos de las subcuencas. Escenario actual.....	47
Tabla 6.2. Parámetros físicos de las subcuencas. Escenario futuro.....	47
Tabla 6.3. Tiempos de concentración según fórmulas para cada subcuenca del Escenario Actual.....	49
Tabla 6.4. Tiempos de concentración según fórmulas para cada subcuenca del Escenario Futuro.....	49
Tabla 6.5. Tiempos de concentración y de retardo adoptados para cada subcuenca del Escenario Actual y Futuro.....	50
Tabla 6.6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS. ....	52
Tabla 6.7. Números de curva de escorrentía para diferentes usos de la tierra.....	53
Tabla 6.8. Números de curva de escorrentía según vegetación existente.....	54
Tabla 6.9. Números de curva de escorrentía según usos de la tierra.....	55
Tabla 6.10. Intensidad y Lámina Total Precipitada. Estación Pluviográfica Córdoba Observatorio.....	58
Tabla 6.11. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Actual.....	65
Tabla 6.12. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Futuro.....	65
Tabla 6.13. Diferencia de Caudales y Volúmenes entre Situación Actual y Futura.....	66
Tabla 7.1. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Futuro Regulado.....	79
Tabla 7.2. Diferencia de Caudales y Volúmenes entre Situación Actual y Futura Regulada. ....	80
Tabla 7.3. Comparación Situación No Regulada y Regulada.....	81





# ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEO “VALLECITO”

---

## **INTRODUCCIÓN**



### **CAPÍTULO 1**

## 1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

La modalidad de Práctica Supervisada para la Carrera de Ingeniería Civil, propuesta por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, tiene como objetivo fundamental que el alumno tome contacto con el medio laboral antes de recibirse, brindando así, una experiencia complementaria a la formación académica ofrecida, facilitando su inserción en el ejercicio de la profesión.

El presente Informe Técnico Final detalla la Práctica Supervisada llevada a cabo por el autor del mismo, bajo la modalidad "Practica Supervisada Pasante No Rentado (PNR)", en la empresa Consultora "Vanoli y Asociados Ingeniería S.R.L", bajo la supervisión del Ing. Civil Marcos E. Felippa en carácter de supervisor externo, y del Mag. Ing. Civil Mariano A. Corral en condición de tutor docente.

En cuanto a la práctica propiamente dicha, tanto el tema de la misma como las tareas realizadas, surgen a partir de un proyecto que debe llevar a cabo la consultora, el cual consiste en: "Proyecto de Drenaje y Proyecto de Vialidad Interna para el Loteo "Vallecito"". El rol que desempeñó el alumno dentro del mismo, se basó en el Estudio Hidrológico que sustenta al Proyecto de Drenaje, y en el Diseño de Lagunas de Retardo y sus correspondientes obras de descarga, como parte del Sistema de Drenaje Projectado.

### 1.2. PRESENTACIÓN

Debido al gran crecimiento demográfico que se ha dado durante las últimas décadas en la Ciudad de Córdoba, se ha generado la necesidad de un aumento del nivel de urbanización. Dicho proceso de urbanización se ha concentrado, principalmente, en el sector Noroeste del Área Metropolitana de Córdoba, aunque en los últimos años, se observa una clara tendencia por parte de los emprendedores inmobiliarios a desarrollar barrios cerrados en los terrenos rurales que se extienden dentro del enorme ejido urbano de la localidad de Malagueño. Claros ejemplos pueden citarse, como lo son los barrios cerrados de Tierralta, Causana, Valle del Golf, Estación del Carmen, Las Cañitas, entre muchos más.

Este fenómeno puede explicarse desde un conjunto de factores que favorecen a dicha zona, entre los cuales se destacan la gran facilidad de accesos que brinda la Autopista Córdoba-Carlos Paz, la tranquilidad del ambiente y el gran desarrollo paisajístico que estos poseen, entre otros.

### 1.3. PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA

El desarrollo y ejecución de un emprendimiento inmobiliario en una zona rural, trae aparejado un cambio en el uso de suelo, que pasa de ser "rural" a ser "residencial".

Dicho cambio, puede traducirse como un aumento en el grado de desarrollo de urbanización de los terrenos que, sumado a la construcción de las calles y a un menor porcentaje de espacios verdes en relación a los edificados, provocan una importante variación en el ciclo del agua producto de la impermeabilización del suelo. Esta situación genera un gran impacto en el entorno natural, debido a que se produce un notable aumento de los escurrimientos pluviales, con mayores y más frecuentes caudales picos, mayores volúmenes hídricos excedentes, pudiendo éstos, afectar a terceros, aguas abajo del loteo, además de provocar daños físicos y biológicos en los cauces receptores.

Como solución a la problemática expuesta, se considera la proyección, diseño y verificación de un adecuado sistema de manejo y regulación de los excedentes pluviales generados por la futura urbanización del Loteo "Vallecito", tendiendo a reducir los efectos negativos que pueden provocarse aguas abajo.

#### 1.4. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

El desarrollo del presente trabajo de Práctica Supervisada abarca, básicamente, dos tipos de objetivos; por un lado, podemos destacar los objetivos con los cuales deberá cumplir de manera suficiente el proyecto, éstos son los *Objetivos Técnicos*. Por otra parte, pueden plantearse diferentes *Objetivos Personales* a alcanzar, para crecer como persona y como profesional que forma parte de un grupo de trabajo.

##### 1.4.1. Objetivos Técnicos

El objetivo general planteado para este trabajo es el "Estudio, Modelación Hidrológica e Hidráulica y Proyecto de Obras necesarias de Drenaje" para el Loteo "Vallecito", de manera que puedan establecerse diferentes propuestas para lograr la restitución de la situación actual de escurrimientos naturales, luego de consolidada la urbanización.

Previo a ello, y en un contexto de micro y macro drenaje, se deberá estudiar la situación actual del manejo de excedentes hídricos para luego plantear diferentes medidas y acciones que optimicen el manejo de dichos excedentes, mitigando los efectos que puedan provocar aguas abajo.

Para garantizar el cumplimiento del objetivo general de manera eficiente, es necesario plantear una serie de objetivos específicos, que se resumen en:

- Reconocimiento de cada componente físico del área en estudio.
- Analizar globalmente las consideraciones necesarias a tener en cuenta para la determinación del periodo de retorno más conveniente a través de un enfoque técnico/económico.
- Evaluación de los caudales máximos para el Escenario Actual y para el Escenario Futuro, teniendo en cuenta la estimación de algunos de los parámetros intervinientes.
- Dimensionado de las obras de regulación y drenaje, considerando las variables hidrológicas, topográficas y económicas; y evaluando distintas alternativas de solución para la selección del tipo de obra a ejecutar.
- Modelación de la Situación Futura con las obras propuestas (Escenario Futuro Regulado) de manera tal de entender la solución propuesta.

##### 1.4.2. Objetivos Personales

Los distintos objetivos personales planteados, se resumen en lograr aplicar, profundizar e integrar los conceptos adquiridos durante el cursado de la carrera, además de alcanzar un desarrollo e interacción personal y profesional permanente en un ámbito de trabajo cotidiano, conformado por diferentes profesionales afines a la Ingeniería.

Así mismo, aprender a utilizar diferentes softwares y herramientas de modelación hidráulica y del terreno.

## 1.5. METODOLOGÍA

Previo a la toma de decisiones, relacionadas con las acciones a llevar a cabo durante el desarrollo del proyecto, es de vital importancia establecer una metodología de trabajo que nos brinde un panorama claro de la Situación Actual de la zona de estudio, para luego definir las diferentes estrategias sobre las cuales trabajar.

De esta forma, se podrán realizar las actividades y tareas en forma ordenada y de manera eficiente, cumpliendo con todos los objetivos planteados anteriormente, alcanzando así, una solución integral a la problemática expuesta.

Las diferentes etapas de la metodología de trabajo definida, se expresan a continuación.

### 1.5.1. Etapa Preliminar


- Recopilación de antecedentes: obras ejecutadas, proyectos y anteproyectos realizados o en desarrollo, planes de obras y de estudios, medidas no estructurales (normativas, regulaciones, etc.).
- Inspección de campo: recorridas de campo para la verificación de los aspectos más destacados del sistema hídrico.
- Sistematización de la información: revisión de antecedentes recopilados, elaboración de planimetría general en donde se vuelquen los datos obtenidos.
- Diagnóstico: análisis y evaluación de los antecedentes, elaboración del diagnóstico, destacando los puntos y aspectos más importantes.

### 1.5.2. Estudio Hidrológico

- Caracterización hidrogeomorfológica de las cuencas de aporte hídrico:
  - Definición de la red de escurrimientos.
  - Definición de áreas deprimidas.
  - Delimitación de subcuencas.
  - Tipos de suelo y cobertura vegetal en los sectores rurales.
  - Uso del suelo y grado de urbanización en las áreas con asentamiento poblacional.
  - Infraestructura actual relacionada con los escurrimientos.
- Determinación de la tormenta de diseño:
  - Período de retorno.
  - Duración.
  - Lámina total precipitada.
  - Distribución temporal.
  - Distribución espacial.
  - Lluvia neta o efectiva.
- Transformación Lluvia-Caudal y Propagación de Caudales
  - Hidrogramas.
  - Determinación de los caudales picos para los distintos períodos de recurrencia adoptados.
  - Determinación de niveles de escurrimiento para los distintos períodos de recurrencia adoptados.

### 1.5.3. Proyecto de Obras de Drenaje

- Evaluación del Sistema Proyectado
  - Estructuras de escurrimiento. (Calles)
- Obras Proyectadas
  - Microembalses. (Lagunas de retardo o de regulación)



# ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEO “VALLECITO”

---

## **ETAPA PRELIMINAR**



## CAPÍTULO 2

## 2. CAPÍTULO 2: ETAPA PRELIMINAR

Para la ejecución del presente informe se consultó, tanto bibliografía técnica vinculada a la temática de análisis, como bibliografía y documentación específica, para contar con un cierto respaldo técnico sobre el tema a abordar. Además, se consultaron diferentes tipos de estudios realizados en la zona de influencia del proyecto.

En primera instancia fueron recopilados antecedentes cartográficos disponibles en variadas escalas, así como también diversas publicaciones, antecedentes bibliográficos, imágenes satelitales, fotografías aéreas del área en cuestión.

Con el fin de lograr un cuadro de situación previa al relevamiento de campaña, se clasificaron, procesaron y analizaron todos los antecedentes recientemente mencionados, además de toda información geológica, geomorfológica, de suelos, hidrológica e hidráulica disponible, conformando así una amplia base de datos para el área de estudio.

A partir de dicha base de datos, se confeccionaron cartas de cuencas y subcuencas, escurrimientos principales, infraestructuras y demás cuestiones a ser verificadas mediante las tareas realizadas en campo o campaña.

### 2.1. TAREAS REALIZADAS EN CAMPAÑA

A partir de los datos previamente elaborados mediante la información disponible, en relación al sistema de drenaje, en campaña se realizaron las siguientes tareas:

- Recorrido del área afectada para tomar contacto con la problemática in-situ.
- Reconocimiento y verificación de las principales líneas de escurrimiento hídrico.
- Relevación de obras hidráulicas en el área de estudio.
- Relevamiento de obras viales como rutas calles y caminos.
- Toma de fotografías de diferentes lugares considerados relevantes.

A continuación, se muestran las fotografías tomadas durante las tareas de campo, sobre los lugares que fueron considerados como relevantes de la zona de estudio:



Figura 2.1. Futuro ingreso controlado al loteo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.2. Diversos usos de la tierra. (Prácticas agrícolas y vegetación natural).  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.3. Clara pendiente del terreno hacia uno de los puntos de descarga.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.4. Bajo natural del terreno y descarga hacia aguas abajo.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.5. Abundante presencia de vegetación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.6. Bajo natural del terreno sobre el límite con Valle del Golf. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.7. Alto del terreno sobre bosque autóctono en la zona central. Estructura existente. Fuente: Elaboración propia.





Figura 2.8. Pendientes del terreno hacia un bajo con presencia de agua. Suelo descubierto por prácticas agrícolas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.9. Marcada línea de escurrimiento sobre bajo natural. Fuente: Elaboración propia.




Figura 2.10. Intersección camino público de ingreso a Vallecito con RP C45. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. TAREAS REALIZADAS EN GABINETE

A partir de la base de datos generada y la información relevada en campaña, fueron realizadas las siguientes tareas en gabinete:

- Se analizó la información bibliográfica antecedente y con la misma se elaboraron diagnósticos preliminares.
- Se interpretaron las fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles para diferentes fechas.
- Se confeccionó la planimetría correspondiente, integrando demás aspectos como:
  - Unidades geomorfológicas.
  - Red de drenaje.
  - Cuencas hídricas.
  - Uso del suelo.
  - Obras futuras.
- Con base en los trabajos publicados por el INA-CIRSA (Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semi Árida) se adoptaron las precipitaciones.
- Aplicación del modelo computacional HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, para la transformación lluvia-caudal, a los efectos de determinar los caudales máximos generados para las distintas cuencas.
- Interpretación de la información obtenida de la modelación hidrológica y recorridas en campaña.
- Elaboración de informes parciales de cada aspecto involucrado en el Estudio Hidrológico.
- Elaboración del presente Informe Técnico Final.



# ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEO “VALLECITO”

---

## **DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**



### **CAPÍTULO 3**



### 3. CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1. UBICACIÓN

El área en estudio, se encuentra ubicada en el Departamento Santa María, en la Provincia de Córdoba, más precisamente en la zona cercana al pie de monte al este de las Sierras Chicas.

El emprendimiento "Vallecito" se emplazará en una de las zonas rurales que posee el amplio ejido urbano de la localidad de Malagueño, cercano a la ruta provincial C-45, a 4 km aproximadamente de la intersección con la ruta nacional 20 (autopista) que une la ciudad de Córdoba y Villa Carlos Paz.

Abarca una superficie de 210ha y limita en las direcciones sur y este con lotes privados, mientras que al norte y al oeste limita con dos barrios cerrados de su misma índole; "Valle del Golf" y "Estación del Carmen", respectivamente.

Desde el punto de vista geográfico, se sitúa en las coordenadas 31°29'18.0"S 64°25'19.8"W.

En la Figura 3.1 y Figura 3.2 se puede observar la ubicación relativa del predio en estudio, según lo descrito anteriormente.

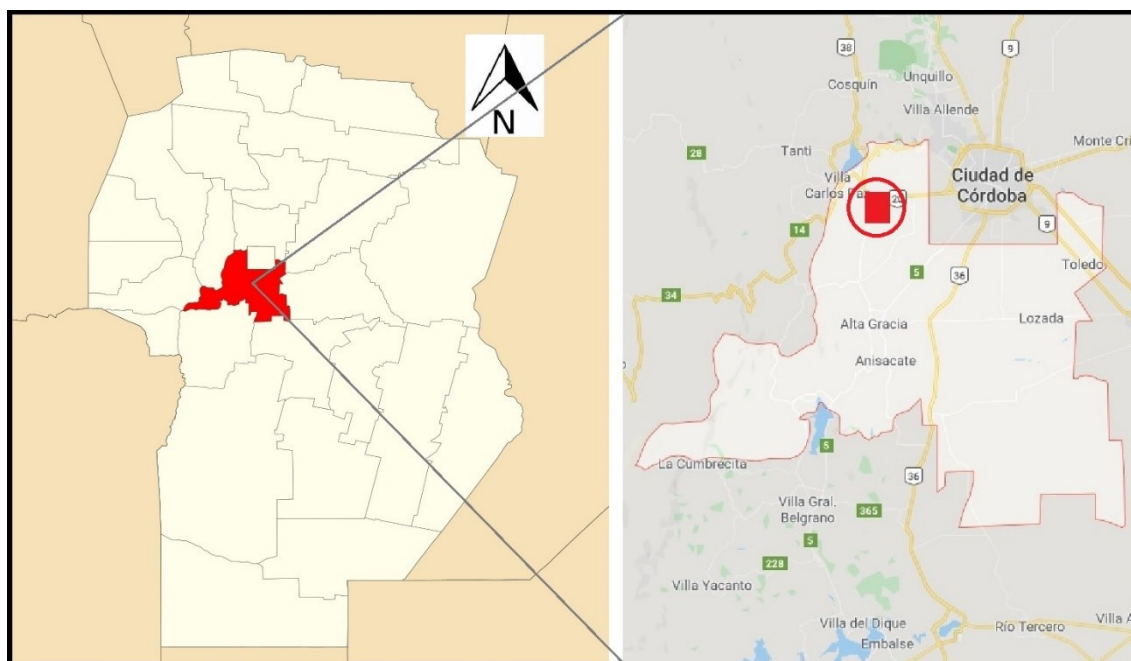


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio, dentro del Departamento Santa María, Provincia de Córdoba. Fuente: imagen Google Maps / Elaboración propia.



Figura 3.2. Ubicación del área de estudio, en zonas rurales correspondientes al ejido urbano de Malagueño. Fuente: imagen Google Earth Pro / Elaboración propia.

### 3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a los terrenos en estudio puede efectuarse por medio de dos alternativas.

Por un lado, un ingreso es proyectado a través de un camino público a ser pavimentado, al sur de la urbanización "Estación del Carmen", el cual se conecta directamente con la Ruta Provincial C45, y tiene un tiempo de viaje estimado de 36 minutos desde la Ciudad de Córdoba, que se encuentra a unos 35,5km de distancia, aproximadamente.

La segunda alternativa de ingreso al Loteo Vallecito, es proyectada en comunicación con el ya mencionado barrio cerrado "Valle del Golf"; al cual se ingresa directamente a través de la ruta antes mencionada, a una distancia aproximada de 3km de la intersección con la ruta nacional 20; por lo que ambos loteos quedarán conectados directamente entre sí, permitiendo el flujo de tránsito entre ambos barrios. Esta alternativa, a su vez, presenta dos conexiones entre ambos barrios, una situada cercana a los límites de los terrenos hacia el oeste, y la otra ubicada próxima a los límites de los terrenos hacia el este.

En la Figura 3.3 que se presenta a la brevedad, pueden observarse claramente ambas alternativas propuestas.

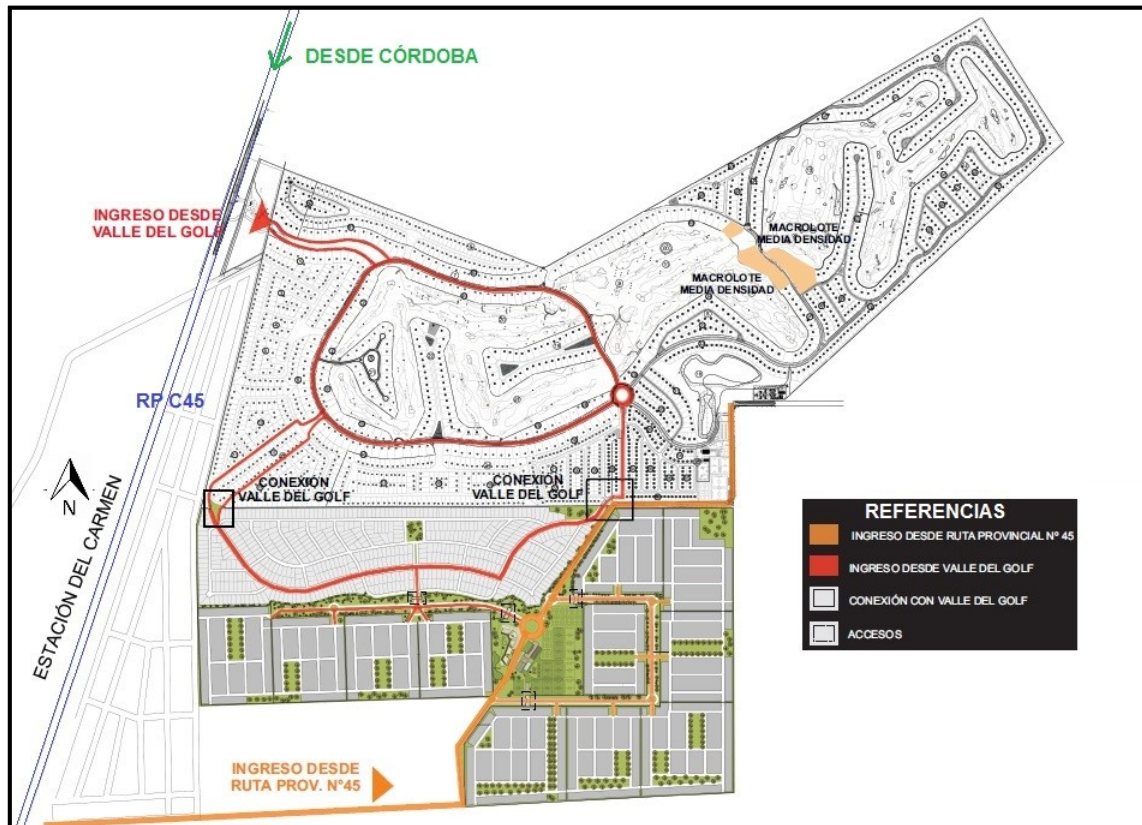


Figura 3.3. Accesibilidad al loteo. Fuente: Proyecto original / Elaboración propia.

### 3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

#### 3.3.1. Geomorfología y Suelos

La Provincia de Córdoba se divide en 24 ambientes geomorfológicos que definen diferentes aspectos geomórficos, estructurales y de vegetación bien marcados; según lo establecido en el manual "RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA – LOS SUELOS", publicado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en conjunto con la ex Agencia Córdoba Ambiente Sociedad del Estado (ACASE), en el año 2003. En la Figura 3.4 se muestra el mapa con la distribución de dichos ambientes, cada uno de ellos identificado mediante un color.

Según lo expuesto en dicho mapa, el área en la cual se emplazará el loteo, corresponde al Ambiente Geomorfológico R, denominado "Sierra Chica".

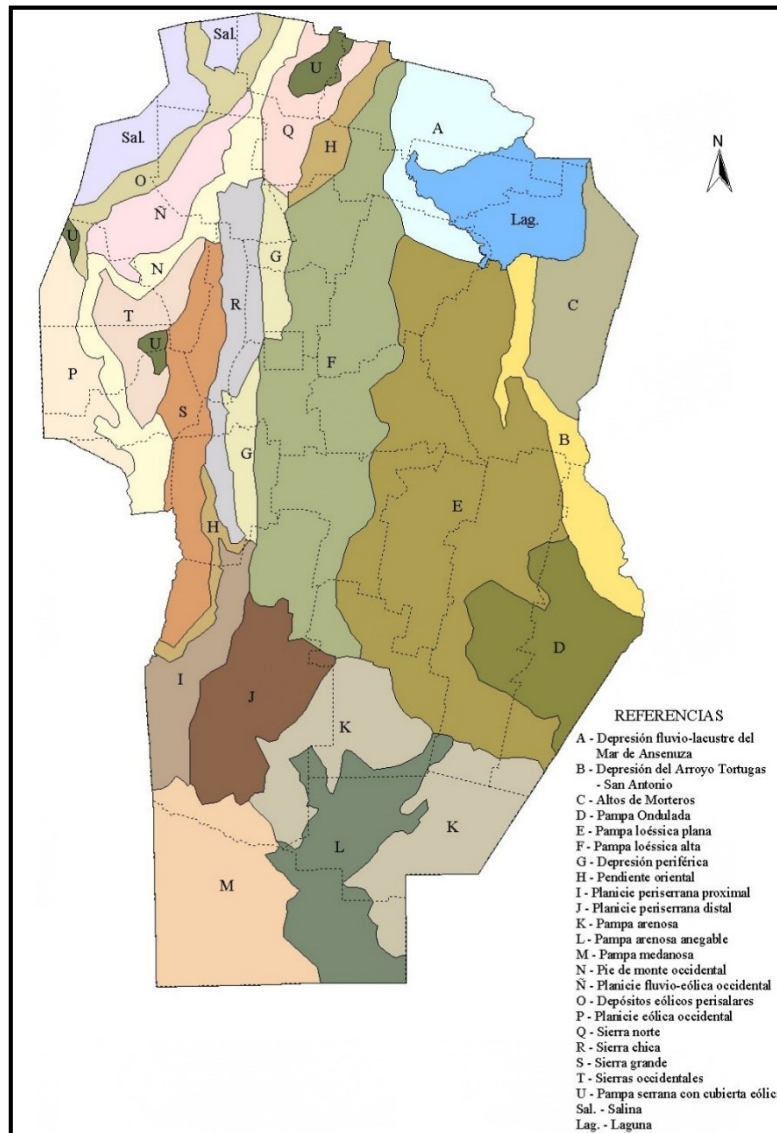


Figura 3.4. Mapa de los Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba.  
Fuente: INTA/ACASE, 2003.

Dicho ambiente geomorfológico posee las siguientes características, descriptas en el manual antes presentado:

- Sierra Chica:

Cordón orientado de Norte a Sur, en el área central de la Provincia, ubicado en el borde oriental de las sierras pampeanas. Comienza al Norte con la sierra de Masa y termina al Sur con las sierras de Las Peñas. Hacia el Oeste está limitado por los valles de Punilla y Calamuchita y al Este por un amplio piedemonte con parcial cubierta fluvio eólica y la depresión periférica.

Su extremo altitudinal es el cerro Uritorco que alcanza los 1950 m.s.n.m. Siempre los gradientes son más suaves hacia el Este por el basculamiento ya mencionado. Constituye un complejo metamórfico y sedimentario e incluye algunas formas volcánicas en las proximidades de Río Tercero.



En el área del complejo metamórfico (gneis, esquistos, anfibolitas y calizas), donde el relieve es muy colinado, especialmente en la ladera occidental, por factores topográficos, los suelos están muy poco desarrollados (contacto lítico). Por el contrario, en la ladera oriental con relieve más tendido, los suelos son más profundos e intensamente meteorizados en profundidad, proceso que se favorece además por la presencia de planos de esquistosidad subverticales que favorecen la alteración y edafización de la roca madre (contacto paralítico).

En el área Norte dominan las rocas sedimentarias del Cretácico, areniscas y conglomerados con suelos calcáreos profundos (sierras de Pajarillo, Copacabana y Masa).

Finalmente, una porción del Sur de la sierra chica está constituido por afloramientos volcánicos de formas tabulares con suelos someros (área de Río Tercero).

Localmente, la red de drenaje está bien definida, con una vertiente oriental de pequeñas corrientes de agua cuyos recorridos muestran un evidente control estructural. Está atravesada por los ríos Suquía, Xanaes y Ctalamochita, cursos antecedentes que con amplias cuencas de aportes en la sierra grande y por arroyos de menor caudal que en condiciones normales se insumen en el Piedemonte oriental o las llanuras.

La vegetación consiste en bosque serrano en las laderas más bajas y quebradas; romerillal a modo de cinturón entre 1000 y 1300 m.s.n.m. y, por último, en las cumbres, pastizales de altura.

### 3.3.2. Clima

Primeramente, se presentan las características de la Provincia de Córdoba en general, para luego definir las características climatológicas más específicas del área de análisis.

- Régimen Térmico:

Las características del régimen térmico de la Provincia de Córdoba se determinan a partir de las temperaturas del mes más cálido, del mes más frío y la amplitud térmica anual, a partir de los datos publicados en el manual "RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA – LOS SUELOS" (INTA-ACASE / 2003):

- Los valores térmicos del mes de enero, que representan a las temperaturas estivales, se distribuyen en la provincia en un rango que oscila entre los 23,5°C en el Sur cordobés hasta valores superiores a 26,0°C en el extremo Norte. (Figura 3.5).
- Las temperaturas del mes de julio, en representación de la estación invernal, exponen un rango de valores que van desde los 8,0°C en el Sur hasta los 11,5°C en el Norte. (Figura 3.6).
- La amplitud anual de la temperatura representa la variación de los meses extremos, y dicho rango de temperaturas no supera los 16,0°C en toda la provincia. (Figura 3.7)

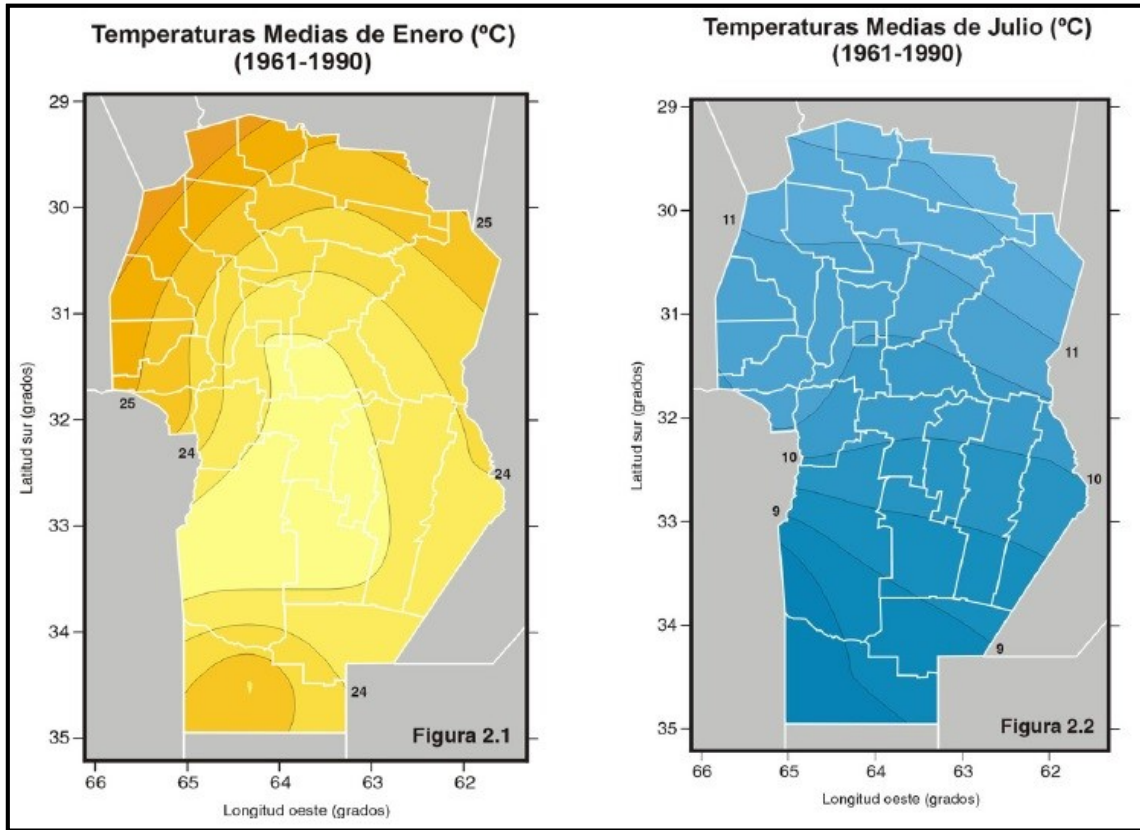


Figura 3.5. Fuente: INTA/ACASE, 2003.

Figura 3.6. Fuente: INTA/ACASE, 2003.

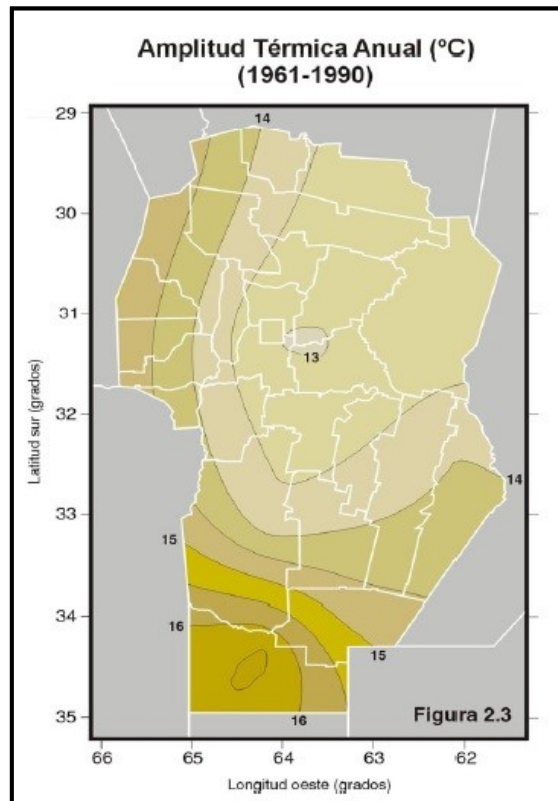


Figura 3.7. Fuente: INTA/ACASE, 2003.

Para obtener información un poco más precisa de las características climatológicas del sector de análisis se recurrió a la organización Climate-Data.org (1982).

Dicho modelo, utiliza información climática de miles de estaciones climáticas a lo largo de todo el mundo, recopilada desde 1982 hasta 2012, siendo actualizada cada cierto período de tiempo.

Los datos que se presentan a continuación corresponden a la localidad de Malagueño, dado que los terrenos en estudio pertenecen a dicha localidad:

Aquí, el clima es suave, y generalmente cálido y templado, presentando una cantidad significativa de lluvia durante el año, incluso durante el mes más seco.

En la clasificación climática de Köppen y Geiger (indican el comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones, siendo una de las clasificaciones climáticas más utilizadas debido a su generalidad y sencillez), dicha zona está caracterizada como "Cfa": clima subtropical húmedo con inviernos fríos o templados y veranos húmedos y cálidos con precipitaciones bien repartidas a lo largo del año, como se mencionó recientemente.

Dichos datos quedan sustentados por el climograma de la Figura 3.8; en el que se observa que el mes más seco es junio con un promedio de 11 mm, mientras que enero presenta el mayor promedio de precipitaciones con un registro de 99mm, siendo la precipitación media anual de 663mm; y por el siguiente diagramas de temperaturas de la Figura 3.9, el cual expone que la temperatura media anual es de 17,1°C, siendo enero el mes más caluroso del año con un registro promedio de 23,4°C y julio el mes que presenta la temperatura promedio más baja del año, con 10,6°C.

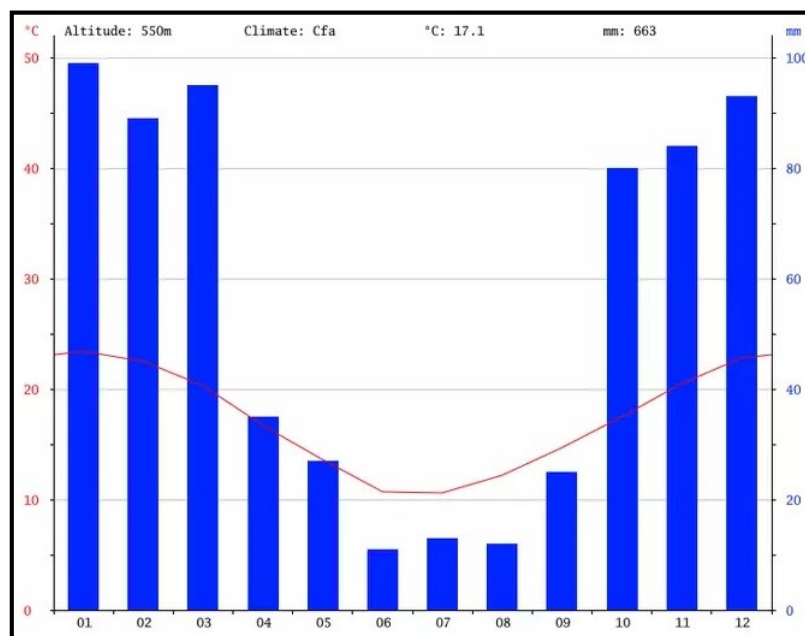


Figura 3.8. Climograma de Malagueño. Fuente: Climate-date.org.

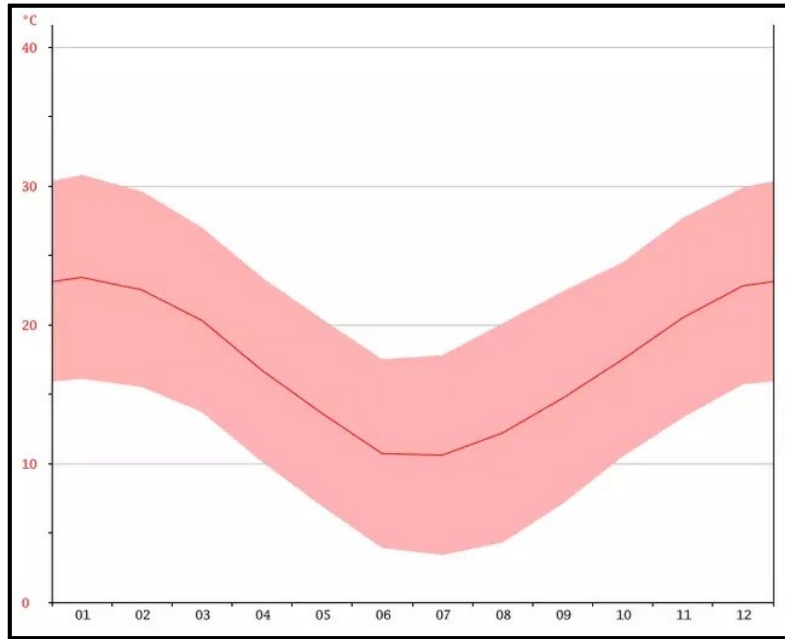



Figura 3.9. Diagrama de Temperaturas de Malagueño. Fuente: Climate-data.org.

Todos los datos anteriormente expuestos se resumen en la tabla climática (Tabla 3.1) presentada al final de este capítulo, con los datos históricos del tiempo en Malagueño.

Tabla 3.1. Tabla climática de datos históricos del tiempo en Malagueño.  
Fuente: Climate-data.org.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	23.4	22.5	20.3	16.7	13.6	10.7	10.6	12.2	14.7	17.5	20.5	22.8
Temperatura min. (°C)	16.1	15.5	13.7	10.1	6.9	3.9	3.4	4.3	7.1	10.5	13.3	15.7
Temperatura máx. (°C)	30.8	29.6	27	23.4	20.4	17.5	17.8	20.1	22.4	24.5	27.7	29.9
Precipitación (mm)	99	89	95	35	27	11	13	12	25	80	84	93



# ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEO “VALLECITO”

---

## **IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELOS**



### CAPÍTULO 4

## 4. CAPÍTULO 4: IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELOS

El principal impacto que genera la transformación del uso de cualquier suelo, se evidencia en los escurrimientos superficiales. Con el paso de los años, el área de estudio fue exponiendo pequeños rasgos de modificaciones en su uso de suelo, ya que, en un principio, el terreno presentaba características de monte autóctono y hoy en día puede identificarse, hacia los alrededores de la misma, un suelo descubierto con poca presencia de vegetación debido al desarrollo de prácticas agrícolas. Pese a estas actividades, en la zona central de los terrenos, puede notarse que una pequeña parte del monte autóctono sigue aún en pie.

En un futuro cercano, luego del emplazamiento del proyecto inmobiliario en estos terrenos, el suelo pasará a tener un uso residencial, y este cambio es el que generará los mayores impactos, es decir, un aumento notorio de los escurrimientos superficiales producto de la impermeabilización del suelo, los cuales deben ser estudiados con atención.

### 4.1. IMPACTOS POR DESMONTE/PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Las diferentes prácticas agrícolas impactan, en mayor o menor medida, directamente sobre el ciclo del agua, produciendo diferentes efectos, como pueden ser:

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

La principal consecuencia que generan dichos efectos, en mayor medida, los dos primeros, es el aumento en la frecuencia con la que se presentan inundaciones en los sectores más bajos de las cuencas. A su vez, estas inundaciones, son las responsables de la deposición de suelos pertenecientes a otras zonas, debido a la erosión que han generado.

Los volúmenes de escurrimiento que se generan durante la transformación del uso del suelo, no serán iguales para una cuenca que presenta una vegetación autóctona que para una cuenca cuyo uso de suelo es agrícola/ganadero, en la cual el suelo pierde capacidad de retención de agua y con ello su mayor protección frente a la erosión, generando mayores volúmenes de escurrimientos que en la anterior.

Dicho fenómeno queda demostrado en la Figura 4.1, a través de los hidrogramas de escurrimientos superficiales para un suelo de uso rural, más precisamente, un hidrograma correspondiente a un suelo virgen (cobertura autóctona) que genera los menores escurrimientos, uno correspondiente a un suelo sometido a prácticas agrícolas/ganaderas tradicionales que generan los mayores escurrimientos, y un hidrograma de escurrimientos intermedios que se corresponde con un suelo en el cual se desarrollan prácticas agrícolas con implementación de nuevas tecnologías (siembra directa).

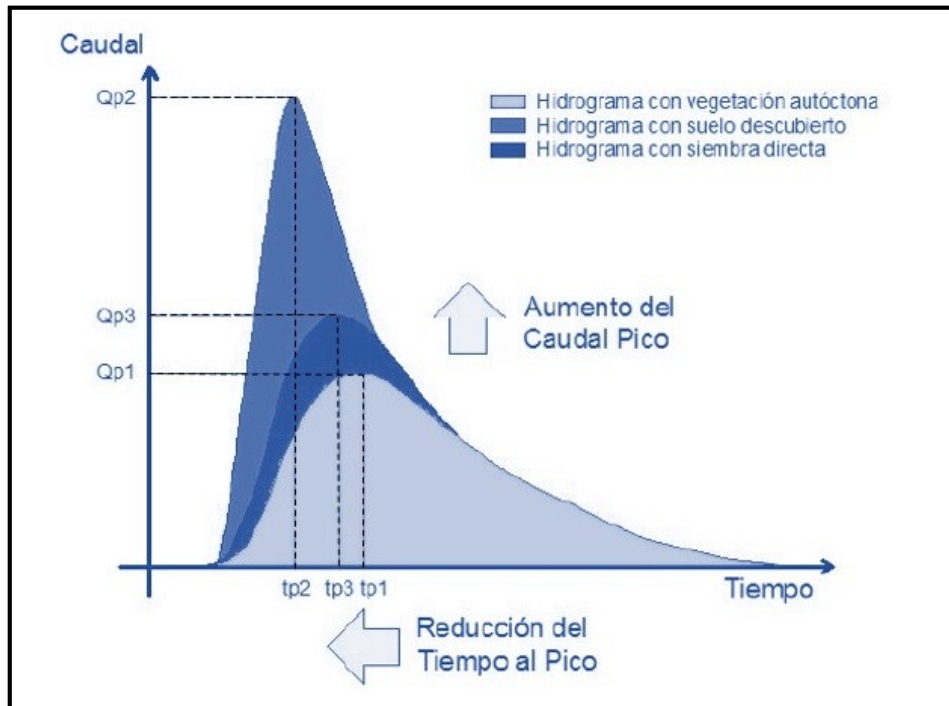


Figura 4.1. Impacto hidrológico de prácticas agrícolas.

#### 4.2. IMPACTOS POR URBANIZACIÓN

Las actividades antrópicas son las que más influencia tienen en los cambios del ciclo del agua. Entre ellas, los procesos de urbanización, se corresponden con el cambio en el uso de suelo que mayores escurrimientos genera, como consecuencia directa del mayor grado de impermeabilización del suelo.

Dentro de los numerosos impactos que la urbanización tiene sobre el ciclo del agua, Chocat (1997) cita y destaca cinco de ellos:

- Impermeabilización del suelo
- Aceleración de escurrimientos
- Construcción de obstáculos al escurrimiento
- "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas
- Contaminación de medio receptores.

En función a estos efectos, en el libro "Inundaciones Urbanas en Argentina" los Ingenieros Juan Carlos Bertoni y Jorge Adolfo Maza (2004) establecen, que los tres primeros puntos, tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos, como se explica a continuación:

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.

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.

Dichos efectos, se ejemplifican en la Figura 4.2, presentada a la brevedad:

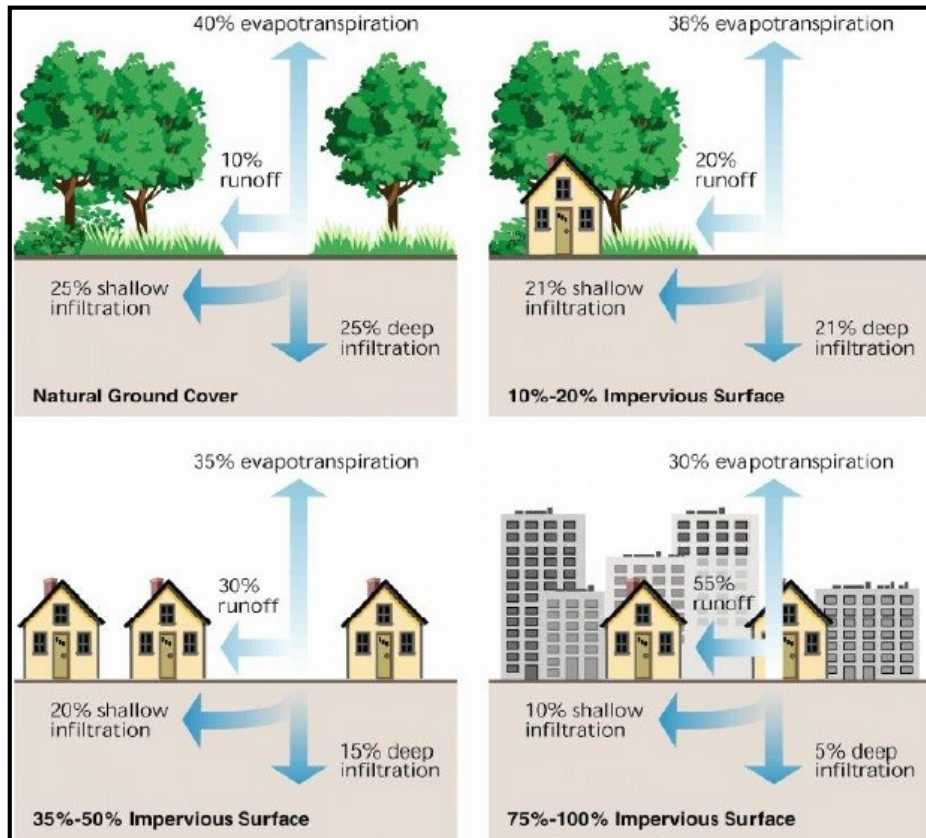


Figura 4.2. Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial.  
Fuente: Filminas Ingeniería Sanitaria, FCEFyN.

La urbanización en una cuenca tiende a llenar las áreas bajas (las cuales, previamente, proveían almacenamiento) y, además, a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración). La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones-cunetas colectan más escurrimientos y lo dirigen a diversos cauces. Esta acción produce un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos.

Este fenómeno puede observarse en la Figura 4.3, donde se muestran los hidrogramas en escenario previo y posterior a la urbanización.

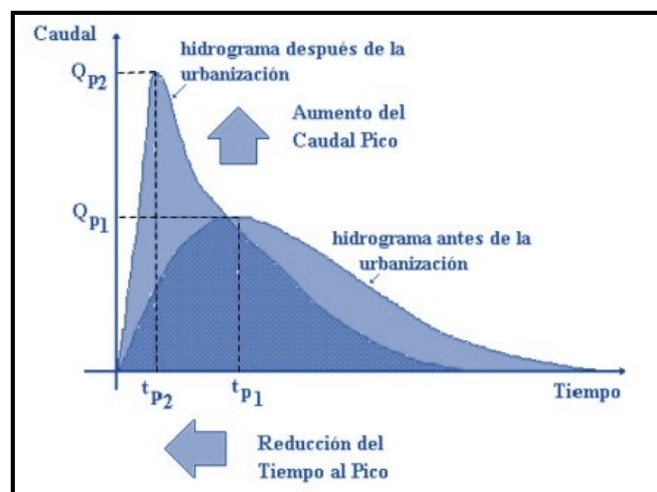


Figura 4.3. Impacto hidrológico de la urbanización.



Otro efecto de la urbanización sobre el ciclo del agua es la reducción del porcentaje de evapotranspiración del área, debido a la sustitución de la cobertura vegetal, que retiene una gran cantidad de agua para ser absorbida para su crecimiento, por superficies impermeables que no tienen la capacidad para realizarlo.

### 4.3. INUNDACIONES URBANAS

A continuación, se describen algunos conceptos generales, vinculados a las inundaciones en ambientes urbanos, o bien, debidas al proceso típico de la expansión y desarrollo de áreas próximas a las grandes metrópolis.

Básicamente, el escurrimiento pluvial puede producir dichas inundaciones e impactos negativos en las áreas urbanas, como consecuencia de una interrelación de factores que les dan origen, como pueden ser: la capacidad de absorción de los suelos, la pendiente del terreno, la falta o falla de alguna estructura hidráulica, etc., obviamente combinados con la ocurrencia de precipitaciones intensas y/o prolongadas en el tiempo. Frente a los proyectos de desarrollos urbanísticos, es inevitable que se realice la pavimentación de las superficies, por lo que se genera un aumento del escurrimiento superficial, así como también de su velocidad, y una disminución de la capacidad de infiltración del terreno. Éste fenómeno, representa la modificación del ciclo del agua en las ciudades, generando la concentración y acumulación del agua en calles y avenidas, y las consecuentes inundaciones de las mismas.

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 el fenómeno se de cada cierto tiempo (*período de recurrencia*). *Comprender esta característica es fundamental para llevar a cabo las tareas preventivas.*

#### 4.3.1. Tipos de Inundaciones

Para el correcto análisis es necesario distinguir dos tipos básicos, asociados a procesos que ocurren en forma aislada o integrada. En efecto, según lo publicado en el "Curso de Gestión de Inundaciones Urbanas" por Carlos E. M. Tucci (2006), en un área urbana pueden ocurrir:

- Inundaciones provocadas por la Urbanización (de Drenaje Urbano):

Son aquellas en las cuales el aumento de su frecuencia y magnitud se debe, fundamentalmente, al proceso de ocupación del suelo con superficies impermeables y redes de conducción de los escurrimientos.

Se establece que dicho evento tiene las características de una inundación repentina, ya que se lo asocia con frecuencia a tormentas severas, de corta duración y concentradas en un área relativamente pequeña, por lo que, los elementos de conducción del sistema pluvial urbano ven superada su capacidad, provocando que los excedentes pluviales se concentren en los sectores más bajos de calles y/o avenidas. Además, a este tipo de inundaciones, se lo relaciona con el *sistema de microdrenaje* de una cuenca.

- Inundaciones Ribereñas (o Costeras):

Por lo general, estas inundaciones están directamente asociadas a la urbanización indebida de ciertas áreas propensas a recibir una mayor cantidad de agua que la que reciben normalmente, es decir, urbanización en áreas cercanas a los cursos de agua, y son producidas como consecuencia del desborde de ríos y/o arroyos o por crecidas del mar.

Los ríos generalmente poseen dos lechos: el lecho menor, donde el agua escurre en la mayoría del tiempo, y el lecho mayor, formado por terrazas o planicies de inundación laterales a los cursos. Éste último, es el espacio que ocupa el río cuando se produce una crecida del mismo como consecuencia del ciclo hidrológico natural del agua.

Los impactos debido a la inundación son frecuentes y ocurren cuando esta área de riesgo del lecho mayor es ocupada por la población mediante la construcción de infraestructura como canales, entubamientos y terraplenes, que generan condiciones de vulnerabilidad y exposición frente a las inundaciones, como puede observarse, a modo esquemático, en la Figura 4.4. Estas inundaciones se encuentran vinculadas al *sistema de macrodrenaje* de una cuenca.

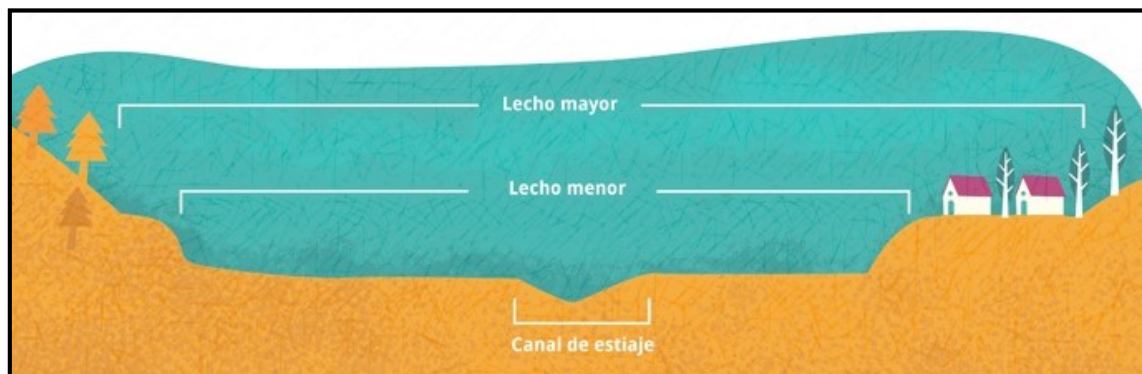


Figura 4.4. Delimitación de los lechos de un río. Fuente: <https://www.aprendeconenergia.cl/el-fluir-del-agua-poderosa-fuente-de-energia>.

Como se dijo al inicio de este apartado, las inundaciones pueden darse de manera aislada, es decir, uno u otro tipo de los recientemente descritos, pero también pueden darse de forma integral. Aquí es donde se reconoce, un tercer tipo de inundaciones, denominadas:

- "Inundaciones Mixtas":

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

#### 4.3.2. Medidas para la Prevención de Inundaciones Urbanas

Todos los efectos que producen las inundaciones y que han sido mencionados en el desarrollo del presente capítulo, pueden tratar de minimizarse mediante la implementación de una serie de medidas.

Como en toda medida en torno al ámbito de la Ingeniería, se habla de minimizar y no de eliminar totalmente los efectos que diferentes fenómenos pueden causar, ya que, pese a los esfuerzos que realice el hombre, es erróneo suponer que se pueden controlar todos los efectos, y en este caso en particular, el de las inundaciones.

En función de ello y según lo expuesto en el documento "Gestión de Inundaciones Urbanas" por Carlos E.M. Tucci y Juan Carlos Bertoni en el año 2006, se presentan las medidas a adoptar para los dos tipos de inundaciones descritos en el apartado anterior.

- En cuanto a la *Gestión de Inundaciones Ribereñas*, las medidas a adoptar se clasifican de la siguiente manera:
  - Medidas no estructurales:

Son medidas preventivas, tales como: la alerta de inundación, la zonificación de las áreas de riesgo, el seguro contra inundaciones, y las medidas de protección individual, que permiten reducir los perjuicios ocasionados a la población.

- Medidas estructurales:

Estas se caracterizan porque tienden a modificar 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. Además, deben incluirse otras obras, como la forestación y renaturalización de laderas y cauces, que pertenecen a otras ramas de la Ingeniería.

A pesar de que esta clase de medidas exigen siempre, un esfuerzo económico mucho más elevado que las medidas no estructurales (también llamadas "No Obras"), poseen la ventaja de que permiten obtener los resultados deseados en forma inmediata luego de su realización.

En este sentido, nunca son proyectadas para dar una protección total, ya que, para ello, se deberían construir obras que aseguraran un resguardo completo aún frente a la mayor crecida posible, lo cual resultar física y económicamente inviable, de manera que es imprescindible complementar las obras con la adopción de medidas no estructurales, para asegurar su correcto funcionamiento. Dichas obras pueden clasificarse en:

- a) 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. Estas, a su vez, pueden ser:

a.1) Obras que aceleran el escurrimiento; como el aumento de la capacidad de descarga de los ríos;

a.2) *Obras que retardan el escurrimiento*; reservorios y lagunas de regulación de caudales máximos. Este tipo de obras es ampliamente utilizado en la ejecución de loteos, por lo que serán descritas en detalle, al final de este apartado.

a.3) Obras que desvían el escurrimiento; como pueden ser canales de desvíos.

- b) Extensivas: cuando se realizan y actúan en distintas partes de la cuenca hidrográfica, intentando modificar las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento superficial. (alteración de la cobertura vegetal del suelo).

A continuación, se describen las *obras que retardan los escurrimientos*, ya que las mismas son utilizadas en gran medida en el desarrollo del proyecto en general, y representan el cierre del diseño del Proyecto de Drenaje.

#### ➤ **Reservorios o Lagunas de Retardo/Regulación:**

Las lagunas de retardo para el control de crecidas funcionan almacenando temporariamente parte del volumen de las crecidas, reduciendo así el caudal pico, el tiempo en el cual se produce el mismo, y, por lo tanto, el impacto aguas abajo de la obra.

En la Figura 4.5 pueden observarse dos hidrogramas que muestran la variación de los caudales del río en función del tiempo:

- uno es el hidrograma natural que se generaría sin la obra de regulación,
- el otro, un hidrograma laminado/amortiguado, que se genera a partir de que el reservorio entra en funcionamiento, produciendo la reducción del caudal máximo y el retardarlo del mismo en el tiempo (retraso de la onda de crecida).

El volumen almacenado por la obra, se encuentra como el área comprendida entre ambas curvas, representada con la letra "V", en la Figura 4.5.

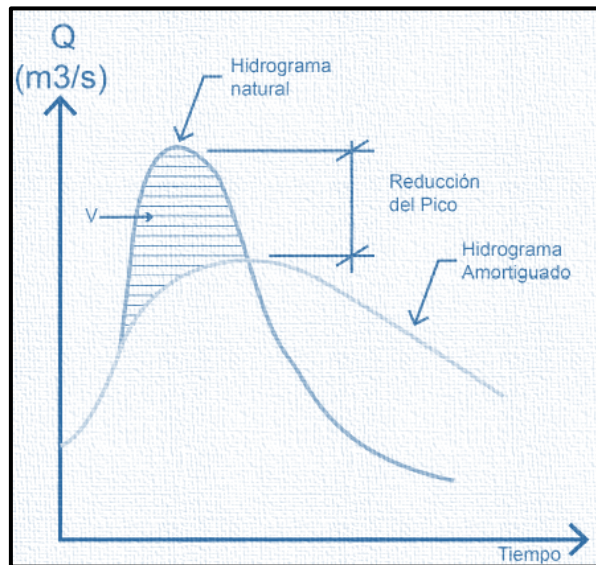


Figura 4.5. Efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca.

- Respecto a la *Gestión de Inundaciones de Drenaje Urbano*:

es conveniente que se promuevan obras y medidas orientadas a amortiguar los caudales picos producidos por las lluvias y, de ser posible, a reducir el volumen de escurrimiento, logrando así, un adecuado control de excedentes pluviales asociados a las urbanizaciones. Dichas obras de control podrán ser realizadas en tres niveles diferentes:

- Medidas de Control Distribuido o "en la Fuente";
- En el macrodrenaje;
- En el microdrenaje.

Uno de los criterios a considerar con desarrollo futuro se basa en promover, fundamentalmente, el control dentro del lote, es decir, "en la fuente", en la medida de que ello sea posible. Dicho criterio posee un fundamento sólido, 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 se produce un aumento considerable del costo necesario para lograr un manejo sustentable del drenaje urbano. Dentro de las principales medidas a adoptar bajo este criterio, se destacan: el aumento de áreas de infiltración y percolación y el almacenamiento temporario en reservorios (residenciales, en tejados, etc.).

A pesar de ello, el criterio que generalmente se aplica en la regulación de caudales máximos es el de lograr el "*Impacto Hidrológico Cero*" (o Nulo).

Este criterio, en el cual está basado el presente informe, consiste en ejecutar obras de control de manera de lograr que el caudal pico producido por el lote urbanizado sea idéntico al producido en la situación previa a la urbanización.

Este concepto es de aplicación para los tres niveles antes señalados, y en lo que respecta específicamente a las obras de control en el macrodrenaje y microdrenaje, serán explicadas en la siguiente sección, y según la bibliografía consultada.

### 4.3.3. Macrodrenaje y Microdrenaje

La literatura especializada en la planificación, proyecto y operación de un sistema de drenaje urbano, evidencia una tendencia cada vez más marcada en distinguir dos niveles o subsistemas diferentes: el macro y el microdrenaje (Figura 4.6).

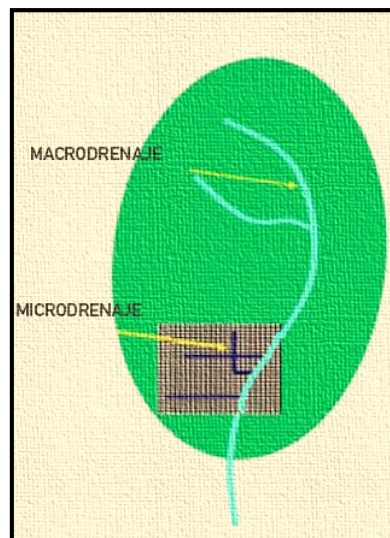



Figura 4.6. Subsistemas asociados al Drenaje Urbano.

El subsistema de *macrodrenaje* incluye todos los cursos del escurrimiento definidos por las depresiones topográficas naturales de la cuenca. Por lo general drena áreas mayores a 5 km<sup>2</sup>, dependiendo del tamaño de la cuenca y relieve de la región. Una característica fundamental de este componente es que siempre existe, aun cuando no se ejecuten obras específicas de drenaje. A los fines del proyecto este subsistema debe ser capaz de eliminar o reducir los daños provocados por lluvias excepcionales, convenientemente entre 25 y 100 años de tiempo de recurrencia.

Por su parte, el subsistema de microdrenaje abarca todas las obras de drenaje realizadas en áreas donde el escurrimiento natural suele no estar bien definido, siendo determinado por la ocupación del suelo. En un área urbana el subsistema de microdrenaje, típicamente, incluye al trazado de las calles, los sistemas de cordón cuneta y/o alcantarillas, los sumideros o bocas de tormentas y los sistemas de conducción subterránea hasta el macrodrenaje. Este subsistema debe estar proyectado para operar sin inconvenientes ante tormentas con períodos de retorno entre 2 y 25 años, dependiendo del tipo de ocupación del sector.



ESTUDIO HIDROLÓGICO  
Y DISEÑO DE LAGUNAS  
DE RETARDO PARA  
LOTEO “VALLECITO”

---

**LOTEO “VALLECITO”**



CAPÍTULO 5

## 5. CAPÍTULO 5: LOTEO “VALLECITO”

### 5.1. ASPECTOS GENERALES DEL LOTEO

El Loteo “Vallecito” es un proyecto inmobiliario, destinado en su totalidad a la construcción de viviendas unifamiliares, el cual se encontrará inmerso en la zona rural de la Localidad de Malagueño, próximo a la ciudad de Córdoba. Contará con seguridad y acceso restringido.

El mismo comprenderá 12 macrolotes, subdivididos en manzanas que, a su vez, se fraccionarán en lotes donde se llevará a cabo la construcción de las viviendas.

De los 12 macrolotes proyectados, solamente uno presenta características diferentes a todos los demás, y es el Macrolote 1, el cual presenta un desarrollo relativamente lineal, abarcando una superficie total de 58 ha, aproximadamente. Será subdividido en 32 manzanas de formas irregulares y dimensiones bastante dispares unas de otras, las cuales se fraccionarán en lotes que ocuparán superficies promedio de 700m<sup>2</sup>.

Los 11 macrolotes restantes (2-12), se presentan en formas regulares y dimensiones bastante similares en ambas direcciones, ocupando, aproximadamente entre 10 y 15 ha cada uno. El fraccionamiento de estos terrenos se hará a través de la delimitación de 8 a 12 manzanas según las dimensiones de cada macrolote, y la superficie que ocupan los lotes interiores a dichas manzanas será, en promedio, de 300m<sup>2</sup>. Puede observarse que en éstos macrolotes, todas las manzanas serán fraccionadas mediante un “Lote Modelo”, el cuál posee 10 metros de ancho y 30 metros de largo, ocupando la superficie anteriormente nombrada de 300m<sup>2</sup>.

El complejo contará también con grandes espacios de recreación (canchas de tenis y fútbol), además de grandes espacios ajardinados rodeados por senderos peatonales en la zona central del predio, complementados por un área comercial ubicada también en dicho sector. Todo lo descrito anteriormente puede observarse en el Master Plan propuesto, correspondiente a la Figura 5.1. que se presenta en la hoja siguiente.



Figura 5.1. Master Plan original del loteo. Fuente: Elaboración propia.




Por lo general, el MasterPlan llevado a cabo por el comitente, es diseñado bajo consideraciones y aspectos puramente arquitectónicos, funcionales y estéticos, dejando de lado importantes lineamientos relacionadas con la parte ingenieril y del desarrollo de todas las obras e instalaciones con las que deberá contar el loteo, asociadas también a las posibilidades físicas y económicas para desarrollarlo, como son: la topografía del lugar, el escurrimiento del agua, las pendientes y desniveles del terreno, la vegetación y estructuras existentes, etc.

En función de ello, al momento de realizar el estudio hidrológico de los terrenos afectados y, posteriormente, el diseño del proyecto de drenaje, no sólo deberán analizarse las cuestiones propias de cada etapa del proyecto mencionada, sino que deberán incorporarse las limitaciones impuestas por el MasterPlan presentado por el comitente.

Generalmente, en esa intención de adaptar el proyecto de drenaje al MasterPlan propuesto, aparecen diversos inconvenientes relacionados con todos los factores antes citados, y surge la necesidad de proponerle al comitente algún cambio en su proyecto original, para lograr así, una *solución integrada* de la problemática en cuestión, y el diseño de un adecuado y eficaz Sistema de Drenaje Pluvial.

La premisa de diseño para un eficaz sistema de drenaje consiste en adaptarlo y encausarlo, de la forma más aproximada posible, al sistema de escurrimientos naturales del terreno, buscando un equilibrio entre dicha premisa y el diseño del loteo presentado en el Master Plan, logrando así, la solución integral buscada.

En función de todo lo dicho anteriormente, luego de analizar detalladamente tanto la topografía del lugar como la ubicación y dimensión de los espacios verdes disponibles y escurrimientos naturales del terreno, se planteó un Proyecto de Drenaje, incluyendo la ubicación de las obras proyectadas, que funciona de manera correcta y cumple con la premisa de diseño eficaz de un proyecto de drenaje. Gracias a ello, no resultó necesario solicitar a los desarrollistas y dueños del loteo, la posibilidad y necesidad de modificar el Master Plan propuesto inicialmente, por lo que el proyecto general seguirá adelante en función del diseño y proyecto original, presentado anteriormente.



ESTUDIO HIDROLÓGICO  
Y DISEÑO DE LAGUNAS  
DE RETARDO PARA  
LOTEO “VALLECITO”

---

**ESTUDIO  
HIDROLÓGICO**



**CAPÍTULO 6**

## 6. CAPÍTULO 6: ESTUDIO HIDROLÓGICO

El presente *Estudio Hidrológico* tiene por objeto identificar los escurrimientos generados en las cuencas que tienen influencia sobre los terrenos en estudio. Como se ha mencionado con anterioridad, la urbanización de los mismos implica un aumento en la impermeabilización del suelo, lo cual conlleva un incremento en los volúmenes de escurrimientos a la salida de la cuenca.

Con el fin de cuantificar y evaluar este fenómeno de excedentes pluviales frente a distintas ocurrencias de diversos eventos de precipitación, se desarrolla el siguiente Modelo Hidrológico, mediante el cual se determinarán los caudales generados en dos situaciones o escenarios posibles:

- Modelación de la Situación o Escenario Actual, correspondiente al estado natural del terreno, sin intervención del hombre.
- Modelación de la Situación o Escenario Futuro, una vez consolidada la urbanización.

Realizada la modelación, se prosigue a la comparación de los resultados de ambos escenarios, determinando así la diferencia (incremento) en los caudales generados, a partir de la cual se establecerán las medidas estructurales necesarias para mitigar los efectos de estos excedentes hacia aguas abajo.

### 6.1. DELIMITACIÓN DE CUENCAS DE APORTE

Para la delimitación preliminar de la cuenca hidrográfica se utilizó el software "Global Mapper", el cual es una potente aplicación que combina una completa gama de herramientas de tratamiento de datos espaciales, con acceso a una muy amplia variedad de formatos de datos, e incluye la posibilidad de acceder directamente a varias fuentes en línea de imágenes, mapas topográficos, y los datos DEM. A esta herramienta, se le cargó un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona de estudio, para obtener las curvas de nivel que representan el área y posteriormente, a partir de ellas, la delimitación de cuencas, subcuencas y líneas de escurrimiento. Los MDE permiten describir la topografía del terreno (o relieve) a través de puntos distribuidos en forma homogénea sobre la superficie terrestre y cuya altura está referida al nivel medio del mar. El MDE utilizado en esta primera instancia, es el MDE-Ar v2.0 30m, proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), descripto a continuación:

"A partir de una combinación de datos capturados por las misiones satelitales SRTM y ALOS, el IGN llevó adelante el desarrollo del modelo MDE-Ar v2.0, que cubre la totalidad del territorio continental nacional, y cuya referencia vertical coincide con el Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16).

La misión SRTM fue un proyecto internacional llevado a adelante en el año 2000 por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en cooperación con el Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), la Agenzia Spaziale Italiana (ASI) y el National Geospatial Intelligence Agency (NGA), con el propósito de obtener un modelo digital de elevaciones global de alta resolución y calidad uniforme a partir de datos recolectados con la técnica de interferometría radar de apertura sintética (InSAR, por sus siglas en inglés).

La misión ALOS, llevada adelante por la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), permitió el desarrollo de un modelo digital de elevaciones a escala global a partir de la utilización de aproximadamente 3 millones de imágenes adquiridas mediante un instrumento pancromático de teledetección para mapeo estéreo (PRISM, por sus siglas en inglés) instalado en el satélite japonés de observación terrestre "DAICHI". El MDE-Ar v2.0 30m que distribuye el IGN tiene una resolución espacial de 30m y una precisión vertical de aproximadamente 2m".

Posteriormente se refinó el trazado de la cuenca y subcuencas con un MDE un poco más preciso que el descripto recientemente, este es el MDE aerofotogramétrico 5m, también distribuido por el IGN con las siguientes características:

"A partir de vuelos aerofotogramétrico llevados a cabo con el siguiente equipamiento: a) una cámara digital Vexcel UltraCamXp; b) un sistema de navegación GNSS; y c) un sistema inercial IMU, el IGN ha desarrollado una línea de producción que le permite la determinación precisa de los parámetros de orientación externa de los fotogramas, la aerotriangulación por haces de rayos, y finalmente, la generación de un MDE. Los MDE aerofotogramétrico 5m refinados que distribuye el IGN tienen una resolución espacial de 5m y una precisión vertical submétrica".

Finalmente, se recurrió a la ayuda de imágenes satelitales (Google Earth Pro) y a una topografía de detalle en conjunto con la información obtenida en campaña (ubicación de alcantarillas, cunetas, etc.) para verificar que las precedentes delimitaciones de cuencas, subcuencas y líneas de escurrimiento estaban realizadas de forma correcta.

Como se describió en el apartado 6.1, para la delimitación de las cuencas de aporte a la zona de estudio se consideran por separado la situación actual y la situación futura.

#### **6.1.1. Situación o Escenario Actual**

Debido a la existencia de líneas de escurrimientos de cuencas externas que desembocan en el predio a urbanizar, se realizaron los estudios correspondientes al escenario actual, tanto para las cuencas internas como para las cuencas externas.

Para la determinación de las subcuencas externas que interactúan con el área de la urbanización, se tuvieron en cuenta diversos aspectos como la disposición de la trama urbana existente, áreas de vivienda, calles y pendientes correspondientes.

Se obtuvo como resultado, que el terreno se ve afectado por las cuencas ubicadas hacia el oeste, ya que son las que se encuentran a cotas superiores en el pie de monte de las Sierras Chicas, donde los caudales que escurren hacia el loteo en cuestión, son conducidos por una alcantarilla de cruce bajo la Ruta Provincial C45, luego siguen su curso a través de un canal trapezoidal sin revestimiento, en forma paralela al barrio Estación del Carmen. A través de una servidumbre de paso, son dirigidos hacia el interior de dicho barrio, y finalmente, luego de ser conducidos por las calles internas del mismo, desembocan aguas abajo, hacia los terrenos naturales que formarán parte del loteo Vallecito.

A continuación, se presentan una serie de fotografías tomadas durante las tareas de inspección en campo, que permitirán evidenciar lo recientemente expuesto.



Figura 6.1. Entrada Alcantarilla de Cruce RP C45. Sección Cajón 1,05m x 1,00m. Cabezal de H° de 1,10m + 20cm revancha. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.2. Salida Alcantarilla de Cruce RP C45. Sección Cajón 1,05m x 1,05m. Cabezal de H° de 1,10m + 20cm revancha. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.3. Canal trapezoidal sin revestir; Ancho de boca = 5,00m; Fondo = 1,30m.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.4. Boca de acceso a servidumbre de paso, hacia Estación del Carmen.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede ver en la Figura 6.5, las subcuencas de aporte pluvial a los terrenos donde se emplazará el loteo y de las correspondientes líneas de escurrimientos, que han surgido como resultado del análisis de las curvas de nivel generadas y el espacio urbano existente tanto al Oeste como al Norte de los terrenos analizados.

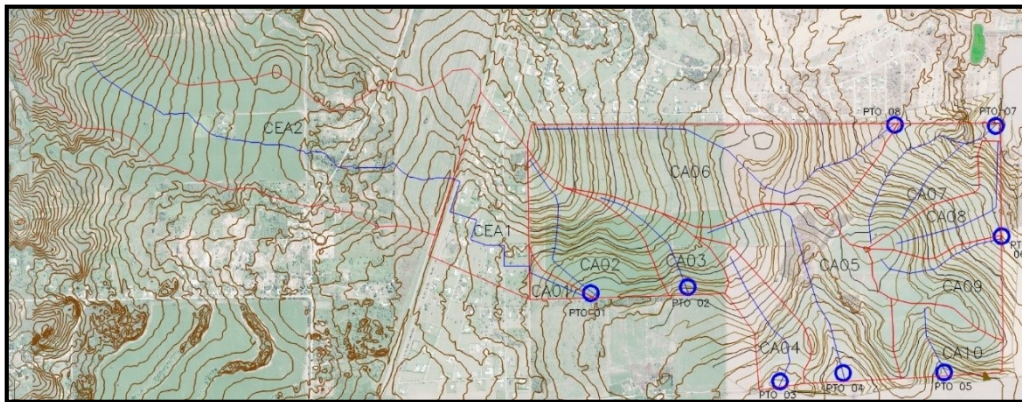


Figura 6.5. Subcuencas de aporte – Escenario Actual. Fuente: Elaboración Propia.

### 6.1.2. Situación o Escenario Futuro

Como ya se ha mencionado, el Escenario Actual (y, por lo tanto, también las cuencas actuales que influyen sobre el loteo) se verán modificadas como efecto directo de la urbanización de los terrenos. De esta manera, es necesario determinar los límites de las nuevas cuencas internas que se utilizarán para modelar el Escenario Futuro. Para la determinación de las mismas se utilizó el relevamiento topográfico del área de estudio, teniendo en cuenta, además, el diseño altimétrico de las calles internas del predio. Estas conducirán los escurrimientos y por lo tanto facilitarán la determinación de los nuevos límites de las áreas de aporte, que se generarán internamente en el Loteo.

En la Figura 6.6, puede observarse la nueva subdivisión y líneas de escurrimientos, sin incluir las dos cuencas externas presentadas en la Situación Actual, pero si considerando, que siguen teniendo influencia en el Escenario Futuro.

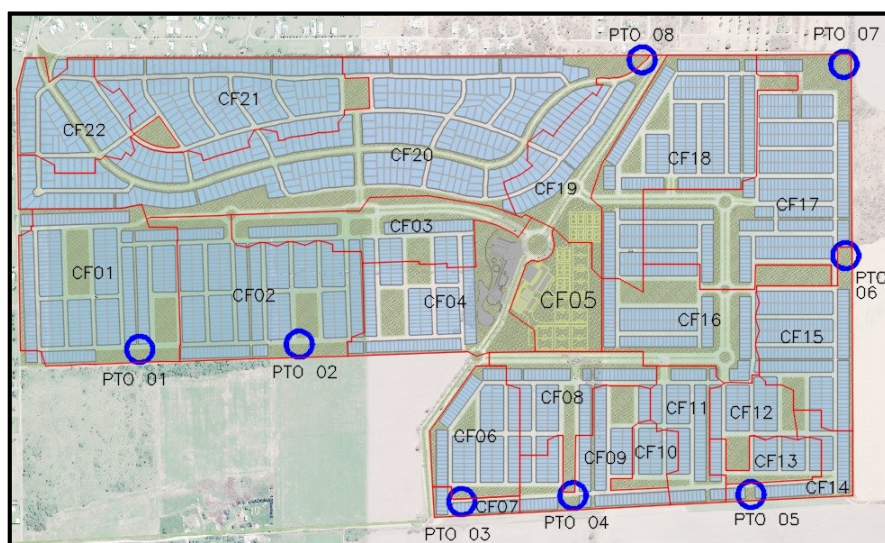


Figura 6.6. Subcuencas de aporte internas del Loteo – Escenario Futuro. Fuente: Elaboración Propia.

## 6.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS CUENCAS

Entre la lluvia y el caudal escurrido a la salida de la cuenca ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre ambos y que básicamente están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su cobertura vegetal. Dichas características se clasifican en dos tipos: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área y tipo de suelo; y las que determinan la velocidad de respuesta, como son la pendiente de la cuenca y de los cursos de agua, la cubierta, etc.

A continuación, se resumen todos los parámetros físicos determinados para la modelación de las cuencas.

### 6.2.1. Área de Drenaje de la Cuenca

El *área de drenaje de la cuenca* es un parámetro fundamental que condiciona el volumen de escurrimiento pluvial, ya que existe una relación directa entre la magnitud del área y la magnitud de los volúmenes generados por las precipitaciones en ella. Se define como la superficie en proyección horizontal delimitada por la línea divisoria de aguas, siendo la línea formada por los puntos de mayor cota o nivel topográfico que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

### 6.2.2. Longitud y Pendiente del Cauce Principal

Se define como *cauce principal* de la cuenca hidrográfica a la corriente que pasa por el punto de salida de la misma y, además, recibe el aporte de otros cauces de menor envergadura, denominados tributarios, por lo que, a mayor cantidad de estos, más rápida será la respuesta de la cuenca.

La *longitud de la cuenca* queda definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

Por otra parte, uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca ante una tormenta es la *pendiente del cauce principal*. Dado que la misma varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media; para lo cual existen varios métodos.

Para el presente trabajo, se decidió utilizar el de mayor simpleza, dado que satisface la precisión que el mismo requiere. El mismo establece que la pendiente media del cauce principal es igual al desnivel entre los extremos del corriente dividido por su longitud medida en planta:

$$S = \Delta H / L;$$

donde: S: pendiente media del cauce principal (m/m);  $\Delta H$ : desnivel entre los extremos del cauce principal (m); L: longitud en planta del cauce principal (m).

Los parámetros físicos antes expuestos, fueron calculados para las subcuencas delimitadas en la Situación Actual (mostrada en la Figura 6.5) y en la Situación Futura (mostrada en la Figura 6.6). Se resumen, a continuación, en las siguientes tablas.



Tabla 6.1. Parámetros físicos de las subcuencas. Escenario actual. Fuente: Elaboración propia.

<b>ESCENARIO ACTUAL</b>							
<b>Cuenca</b>	<b>Parámetros Físicos</b>						
	<b>A (Ha)</b>	<b>A (Km2)</b>	<b>A (m2)</b>	<b>L (km)</b>	<b>L (m)</b>	<b>ΔH (m)</b>	<b>Sc (%)</b>
CEA1	26.81	0.268	268143	0.75	749	6	0.801
CEA2	102.61	1.026	1026146	1.85	1854	50	2.697
CA01	2.67	0.027	26748	0.31	305	5	1.639
CA02	23.06	0.231	230562	0.77	770	21	2.727
CA03	11.41	0.114	114087	0.63	628	16	2.548
CA04	13.30	0.133	133027	0.66	660	15	2.273
CA05	38.69	0.387	386949	1.19	1188	18	1.515
CA06	56.78	0.568	567801	1.84	1839	38	2.066
CA07	24.42	0.244	244181	0.94	943	25	2.651
CA08	12.81	0.128	128136	0.79	792	25	3.157
CA09	16.83	0.168	168292	0.59	591	15	2.538
CA10	13.91	0.139	139060	0.32	318	9	2.830

Tabla 6.2. Parámetros físicos de las subcuencas. Escenario futuro. Fuente: Elaboración propia.

<b>ESCENARIO FUTURO</b>							
<b>Cuenca</b>	<b>Parámetros Físicos</b>						
	<b>A (Ha)</b>	<b>A (Km2)</b>	<b>A (m2)</b>	<b>L (km)</b>	<b>L (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Sc (%)</b>
CF01	15.69	0.157	156931	0.65	648	15	2.315
CF02	14.99	0.150	149929	0.70	695	14	2.014
CF03	8.26	0.083	82556	0.97	967	14	1.448
CF04	11.50	0.115	114969	0.53	530	10	1.887
CF05	5.24	0.052	52413	0.27	267	4	1.498
CF06	6.53	0.065	65281	0.39	393	6	1.527
CF07	1.18	0.012	11779	0.22	216	1	0.463
CF08	10.08	0.101	100769	0.74	740	10	1.351
CF09	2.68	0.027	26810	0.27	274	7	2.555
CF10	1.99	0.020	19907	0.24	235	8	3.404
CF11	8.38	0.084	83785	0.55	546	10	1.832
CF12	3.90	0.039	38983	0.21	210	7	3.333
CF13	2.74	0.027	27352	0.26	263	7	2.662
CF14	1.99	0.020	19869	0.29	287	7	2.439
CF15	7.32	0.073	73232	0.44	436	11	2.523
CF16	12.70	0.127	127012	0.93	925	13	1.405
CF17	17.41	0.174	174060	0.91	913	25	2.738
CF18	14.89	0.149	148869	0.62	620	16	2.581
CF19	8.48	0.085	84824	0.58	584	15	2.568
CF20	34.18	0.342	341813	1.72	1721	34	1.976
CF21	13.03	0.130	130342	0.76	760	14	1.842
CF22	7.42	0.074	74201	0.44	444	9	2.027

### 6.2.3. Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo

El *tiempo de concentración* ( $t_c$ ) se define como el tiempo que tarda en trasladarse una gota de lluvia efectiva desde el punto más alejado de la cuenca hasta la sección de salida de la misma. Para la estimación del  $t_c$  de las cuencas se utilizan varias fórmulas empíricas basadas en diferentes características físicas de las subcuencas tal como la longitud del cauce principal, la velocidad del agua (que, a su vez, está en función de la pendiente), etc. Las más utilizadas son: Método Racional Generalizado (MRG), Temez, William, Kirpich, California Couverts Practice, Giandotti, S.C.S, Ventura-Heron, Brausby-William, Passini, Izzard (1946), Federal Aviation Administration (1970), Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965), Aron y Erborge (1973). Para el presente informe fueron utilizadas algunas de ellas, entre las que se destacan:

- Método Racional Generalizado (MRG): Se sugiere adoptar  $k$  próximo a la unidad.

$$t_c = \frac{60 * k * L}{\Delta H^{0.3}}$$

Donde:  $L$ = longitud del cauce principal (m);  $H$ = diferencia de nivel de la cuenca (m);  $k$ = rugosidad relativa del cauce.

- Fórmula de Pilgrim: Fórmula que fue desarrollada para cuencas rurales de redes de escurrimiento déntricas.

$$t_c = 0.76 * A^{0.38}$$

Donde:  $A$ = área de la cuenca (Has).

- Kirpich (K): Desarrollada para cuencas urbanas y pendientes muy empinadas.

$$t_c = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Donde:  $L$ = longitud del cauce principal (m);  $H$  = diferencia de nivel de la cuenca (m).

- Bransby Williams:

$$t_c = \frac{58 * L}{A^{0.1} * S_c^{0.2}}$$

Donde:  $L$ = longitud del cauce principal (m);  $S_c$ = pendiente de la cuenca (m/m);  $A$ = área de la cuenca (Has).

- Cartas de Velocidad Promedio:

$$t_c = \frac{1}{60} * \sum \frac{L}{V}$$

Donde:  $L$ = longitud del cauce principal (m);  $V$ = velocidad estimada (m/seg).

En la Tabla 6.3 y Tabla 6.4, a continuación, se presentan los valores de los tiempos de concentración determinados con las expresiones anteriores para cada una de las subcuencas estudiadas en el escenario actual y en el escenario futuro, respectivamente. Además, se ha computado un promedio general y un promedio ponderado. Este último, se calcula en función de la aplicabilidad de las fórmulas al caso de estudio, para luego, en función del mismo, adoptar el tiempo de concentración de cada subcuenca. De acuerdo a lo observado en las estimaciones, el tiempo de concentración resulta variable en función de la cuenca de aporte considerada.

Tabla 6.3. Tiempos de concentración según fórmulas para cada subcuenca del Escenario Actual. Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO ACTUAL							
Cuenca	Tiempo de Concentración (min.)					Promedio	
	Formula Kirpic	Formula M.R.G	Formula Pilgrim	Formula B. Williams	Formula C.Vel. Prom	General	Ajustado
CEA1	20.4	26.3	27.7	32.7	12.5	23.9	27.0
CEA2	25.7	34.4	46.0	55.5	30.9	38.5	32.7
CA01	7.8	11.3	11.5	14.5	5.1	10.0	11.4
CA02	13.0	18.5	26.1	26.7	12.8	19.4	26.4
CA03	11.4	16.4	20.0	23.7	10.5	16.4	20.0
CA04	12.4	17.6	21.2	25.1	11.0	17.4	19.4
CA05	22.8	29.9	31.8	44.0	19.8	29.7	30.9
CA06	28.3	37.1	36.8	61.6	30.7	38.9	36.9
CA07	15.4	21.5	26.7	32.7	15.7	22.4	27.0
CA08	12.6	18.1	20.9	28.3	13.2	18.6	19.5
CA09	10.9	15.7	23.2	21.5	9.9	16.2	22.3
CA10	6.5	9.9	21.5	11.5	5.3	10.9	10.7

Tabla 6.4. Tiempos de concentración según fórmulas para cada subcuenca del Escenario Futuro. Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO FUTURO							
Cuenca	Tiempo de Concentración (min.)					Promedio	
	Formula Kirpic	Formula M.R.G	Formula Pilgrim	Formula B. Williams	Formula C.Vel. Prom	General	Ajustado
CF01	12.2	17.3	22.6	24.1	10.8	17.4	19.9
CF02	13.5	18.9	22.2	26.7	11.6	18.6	20.5
CF03	19.8	26.3	17.7	42.2	16.1	24.4	17.9
CF04	11.3	15.9	20.0	21.2	8.8	15.5	19.1
CF05	7.3	10.6	14.9	12.1	4.5	9.9	12.5
CF06	9.7	13.8	16.2	17.4	6.6	12.7	15.8
CF07	9.7	13.0	8.4	14.4	3.6	9.8	13.7
CF08	16.6	22.3	19.1	32.1	12.3	20.5	17.8
CF09	6.0	9.2	11.5	11.9	4.6	8.6	10.9
CF10	4.8	7.6	10.3	10.0	3.9	7.3	8.8
CF11	11.7	16.4	17.8	22.7	9.1	15.5	17.1
CF12	4.4	7.0	13.3	8.4	3.5	7.3	7.7
CF13	5.8	8.8	11.6	11.3	4.4	8.4	10.6
CF14	6.4	9.6	10.3	13.0	4.8	8.8	6.6
CF15	8.7	12.7	16.9	17.2	7.3	12.6	17.1
CF16	19.4	25.7	20.8	38.9	15.4	24.0	20.1
CF17	14.8	20.9	23.5	32.5	15.2	21.4	22.2
CF18	11.3	16.2	22.1	22.7	10.3	16.5	22.4
CF19	10.8	15.6	17.9	22.6	9.7	15.3	16.7
CF20	27.4	35.8	30.3	61.2	28.7	36.7	28.8
CF21	15.0	20.7	21.0	30.2	12.7	19.9	20.8
CF22	9.6	13.8	17.0	18.3	7.4	13.2	17.6

Además, se determinó el *tiempo de retardo* (*tr*) de cada subcuenca; el cual se define como el tiempo a partir del cual la lluvia considerada comienza a generar escurrimiento superficial; para los dos escenarios planteados, el cual se obtuvo como:

$$tr = 0.60 * tc$$

En la Tabla 6.5 se pueden observar los valores de *tc* en horas adoptados para cada subcuenca, como así también los valores de *tr*, también en horas.

Tabla 6.5. Tiempos de concentración y de retardo adoptados para cada subcuenca del Escenario Actual y Futuro. Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO ACTUAL					ESCENARIO FUTURO				
Cuenca	tc		tr		Cuenca	tc		tr	
	(min.)	(hs.)	(min.)	(hs.)		(min.)	(hs.)	(min.)	(hs.)
CEA1	27.0	0.45	16.2	0.27	CF01	20.0	0.33	12.0	0.20
CEA2	33.0	0.55	19.8	0.33	CF02	21.0	0.35	12.6	0.21
CA01	12.0	0.20	7.2	0.12	CF03	18.0	0.30	10.8	0.18
CA02	26.0	0.43	15.6	0.26	CF04	19.0	0.32	11.4	0.19
CA03	20.0	0.33	12.0	0.20	CF05	13.0	0.22	7.8	0.13
CA04	20.0	0.33	12.0	0.20	CF06	16.0	0.27	9.6	0.16
CA05	31.0	0.52	18.6	0.31	CF07	14.0	0.23	8.4	0.14
CA06	37.0	0.62	22.2	0.37	CF08	18.0	0.30	10.8	0.18
CA07	27.0	0.45	16.2	0.27	CF09	11.0	0.18	6.6	0.11
CA08	20.0	0.33	12.0	0.20	CF10	9.0	0.15	5.4	0.09
CA09	22.0	0.37	13.2	0.22	CF11	17.0	0.28	10.2	0.17
CA10	11.0	0.18	6.6	0.11	CF12	12.0	0.20	7.2	0.12
					CF13	11.0	0.18	6.6	0.11
					CF14	7.0	0.12	4.2	0.07
					CF15	17.0	0.28	10.2	0.17
					CF16	20.0	0.33	12.0	0.20
					CF17	22.0	0.37	13.2	0.22
					CF18	23.0	0.38	13.8	0.23
					CF19	17.0	0.28	10.2	0.17
					CF20	29.0	0.48	17.4	0.29
					CF21	21.0	0.35	12.6	0.21
					CF22	18.0	0.30	10.8	0.18

Cabe destacar que, para la situación futura, deberían ser calculados nuevos tiempos de concentración, debido a que se está analizando una situación con carácter 'Urbanizada', por tanto, deberían aplicarse fórmulas que tengan en cuenta dicha caracterización, lo que provocaría un adelantamiento aún más notorio del pico de los hidrogramas. Por cuestiones de simplificación teórica y sin mayores errores para el caso en estudio, no se modificaron dichos tiempos de concentración.

#### 6.2.4. Pérdidas

Frente a un evento cualquiera de precipitación, una parte de ella se infiltra en el terreno y la parte restante da lugar a un escurrimiento superficial. En tal caso, la Precipitación Total que se da en determinado sector, puede ser distinguida entre Lluvia Neta o Precipitación Efectiva (escorrentía directa) y las *Pérdidas*, las cuales representan la porción de lluvia que no contribuye a la formación de escurrimiento superficial inmediato y que está definida por procesos de intercepción vegetal, almacenamiento superficial e infiltración, entre otros.

En término matemáticos podríamos expresar lo anteriormente expuesto como:

$$\text{Lámina Total} = \text{Lámina Neta} - \text{Pérdidas}$$

Para estimar estas pérdidas a lo largo de una tormenta, existen varios métodos que, en general, están basados en índices simplificados ( $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $W$ ); relaciones funcionales (Método del Número de Curva – CN del SCS); y ecuaciones de infiltración (Horton, Philip, etc.). En el presente trabajo, fue adoptado para la estimación de pérdidas el *Método del Número de Curva – CN del US Soil Conservation Service (SCS)*, el cual es explicado a continuación:

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la escorrentía directa o precipitación neta producida "Pe" es siempre menor o igual a la precipitación neta total "P"; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la cantidad adicional de agua retenida en la cuenca o pérdidas producidas "Fa" es menor o igual a alguna retención o pérdida potencial máxima "S". Existe una cierta cantidad de precipitación "Ia", denominada abstracción inicial antes del encharcamiento, para la cual no ocurrirá escorrentía; luego la escorrentía potencial es "P - Ia". La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones entre cantidades reales y cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{\text{Pérdidas Producidas}}{\text{Pérdidas Potenciales Máximas}} = \frac{\text{Precipitación Neta Producida}}{\text{Precipitación Neta Total}}$$

$$\frac{Fa}{S} = \frac{P - Pe}{S} = \frac{Pe}{P}$$

Considerando las pérdidas iniciales, la cantidad real de agua retenida en la cuenca será  $Fa = P - Ia - Pe$ , y la precipitación neta total será  $P - Ia$ , por lo que la relación anterior, queda definida como:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{P - Ia - Pe}{S} = \frac{Pe}{P - Ia}$$

Luego, resolviendo para Pe, se obtiene la ecuación básica para el cálculo de la precipitación neta o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS, que se expresa como:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica, que establece: " $Ia = 0.2 \cdot S$ ", por lo que la ecuación básica escrita anteriormente, puede reescribirse como:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.85S}$$

Luego de representar en graficas la información de P y Pe para muchas cuencas, el SCS encontró como resultado diversas curvas, y decidió estandarizarlas a partir de la definición de un *numero adimensional de curva CN*, parámetro básico del método, tal que,  $0 < CN < 100$ ; como puede observarse en la Figura 6.7.

Para superficies totalmente permeables:  $CN = 0$ ; para superficies naturales con distintas condiciones:  $CN < 100$ ; para superficies impermeables y superficies de agua:  $CN = 100$ . El número de curva CN y S se relacionan mediante:

$$CN = \frac{100}{10 + S}; \text{ donde S debe expresarse en pulgadas [in].}$$

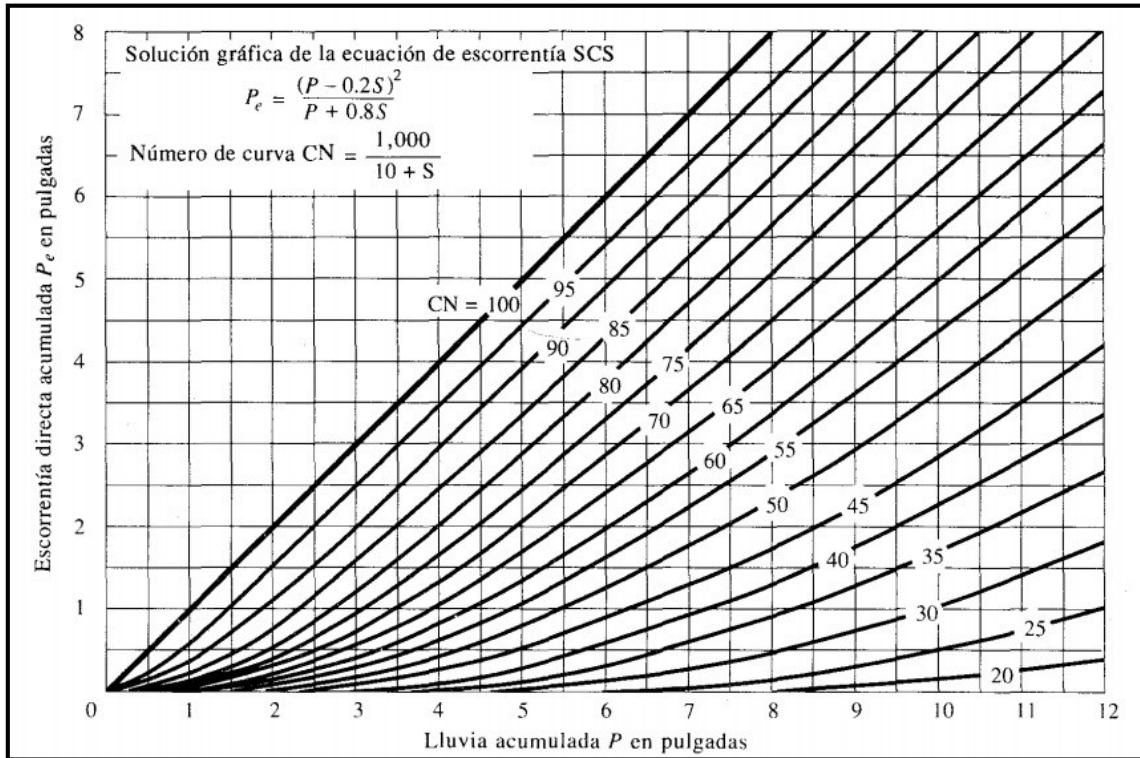


Figura 6.7. Solución de ecuaciones de escorrentía del SCS. Fuente: Hidrología Aplicada, V.T Chow, 1994.

Los números de curva CN han sido tabulados por el Soil Conservation Service (SCS) en función de 3 factores:

- Condiciones Antecedentes de Humedad: se encuentra basada en la precipitación de los cinco días anteriores, y establece tres clasificaciones:

AMC I: Seca; AMC II: Normal; AMC III: Húmedo; las cuáles quedan resumidas en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS. Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T. Chow, 1994.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Cabe aclarar que los números de curva que se muestran en la Figura 6.7. se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II).

- **Tipo de Suelo:** se definen 4 grupos de suelos:

Grupo-A: arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo-B: suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo-C: margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcillas.

Grupo-D: suelos que se expanden significativamente cuando se expanden, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

- **Uso de la Tierra:** se presentan en la Tabla 6.7. los diferentes usos del suelo considerados por el SCS.

Tabla 6.7. Números de curva de escorrenría para diferentes usos de la tierra; AMC II,  $la = 0.28$ . Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T. Chow, 1994.

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrenría desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

En el presente informe, se consideró que la forma más simplificada para la determinación del CN, era la utilización de la Tabla 6.7. precedente, la cual está en función del uso de la tierra y el grupo hidrológico del suelo, además de ser válida para condiciones antecedentes de humedad II e la = 0,2S, para lo cual también se tuvieron en cuenta las recomendaciones establecidas en la bibliografía consultada (Hidrología Aplicada – Ven Te Chow, 1994). En función de esto, tanto para la situación actual como para la situación futura, se determinaron los valores de CN en forma idéntica, es decir, que fueron adoptados según una ponderación de los valores de CN correspondientes a:

- los diferentes tipos de cobertura vegetal y el porcentaje que estos representan respecto del área total de la cuenca, en el caso de la Situación Actual;
- los diferentes tipos de uso del suelo, y el porcentaje que estos representan del área total de la cuenca, esperados en la Situación Futura.

Además, para ambos casos, se adoptó el Grupo Hidrológico del Suelo B.

Para el primer análisis, (escenario actual), se adoptaron los siguientes valores:

- Tierra Cultivada: 70
- Pastizales: 67
- Bosques: 60

A continuación, se presenta la Tabla 6.8, que resume los cálculos y promedios mencionados para el Escenario Actual.

Tabla 6.8. Números de curva de escorrentía según vegetación existente.

Fuente: Elaboración propia.

	CUENCA 1 (CA01)			CUENCA 2 (CA02)			CUENCA 3 (CA03)		
	Área Total Cuenca (Has)= 2.67			Área Total Cuenca (Has)= 23.06			Área Total Cuenca (Has)= 11.41		
CN	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial
Tierra Cult: 70	1.77	0.663	46	16.20	0.703	49	3.76	0.330	23
Pastizales: 67	0.88	0.330	22	6.86	0.297	20	7.64	0.670	45
Bosque: 60	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0
<b>CN ADOPTADO:</b>			<b>68</b>			<b>69</b>			<b>68</b>
	CUENCA 4 (CA04)			CUENCA 5 (CA05)			CUENCA 6 (CA06)		
	Área Total Cuenca (Has)= 13.30			Área Total Cuenca (Has)= 38.69			Área Total Cuenca (Has)= 56.78		
CN	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial
Tierra Cult: 70	5.32	0.400	28	29.80	0.770	54	5.68	0.100	7
Pastizales: 67	7.98	0.600	40	2.70	0.070	5	51.10	0.900	60
Bosque: 60	0.00	0.000	0	6.20	0.160	10	0.00	0.000	0
<b>CN ADOPTADO:</b>			<b>68</b>			<b>68</b>			<b>67</b>
	CUENCA 7 (CA07)			CUENCA 8 (CA08)			CUENCA 9 (CA09)		
	Área Total Cuenca (Has)= 24.42			Área Total Cuenca (Has)= 12.81			Área Total Cuenca (Has)= 16.83		
CN	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial
Tierra Cult: 70	21.98	0.900	63	12.17	0.950	67	16.83	1.000	70
Pastizales: 67	0.00	0.000	0	0.64	0.050	3	0.00	0.000	0
Bosque: 60	2.44	0.100	6	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0
<b>CN ADOPTADO:</b>			<b>69</b>			<b>70</b>			<b>70</b>
	CUENCA 10 (CA10)			CUENCA EXTERNA 2 (CEA2)			CUENCA EXTERNA 1 (CEA1)		
	Área Total Cuenca (Has)= 13.91			Área Total Cuenca (Has)= 106.61			Al ser una zona residencial, se tomó un lote promedio del parcelamiento, cuya superficie es equivalente a 1/2 acre aproximadamente, por lo cual, de la Tabla 6.7 se adopta un CN =70.		
CN	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial	Áreas (Has.)	Ponderación	CNparcial			
Tierra Cult: 70	13.91	1.000	70	20.52	0.200	14			
Pastizales: 67	0.00	0.000	0	41.05	0.400	27			
Bosque: 65	0.00	0.000	0	41.05	0.400	26			
<b>CN ADOPTADO:</b>			<b>70</b>			<b>67</b>			



Para el segundo análisis, (escenario futuro), se adoptaron los siguientes valores:

- Calles: 98
- Amanzanamiento: 80
- Espacios Verdes: 68

Para la determinación del CN representativo de cada cuenca (delimitadas por líneas rojas) se establecieron las zonas de lotes pintadas en color amarillo y los espacios que aparecen en gris, obviamente, dentro de los límites del terreno en cuestión, representan a las áreas destinadas a las futuras calles. Los espacios verdes, espacios comunitarios y demás áreas sin intervenir, se encuentran representadas en color verde, como puede apreciarse a continuación, en la Figura 6.8.

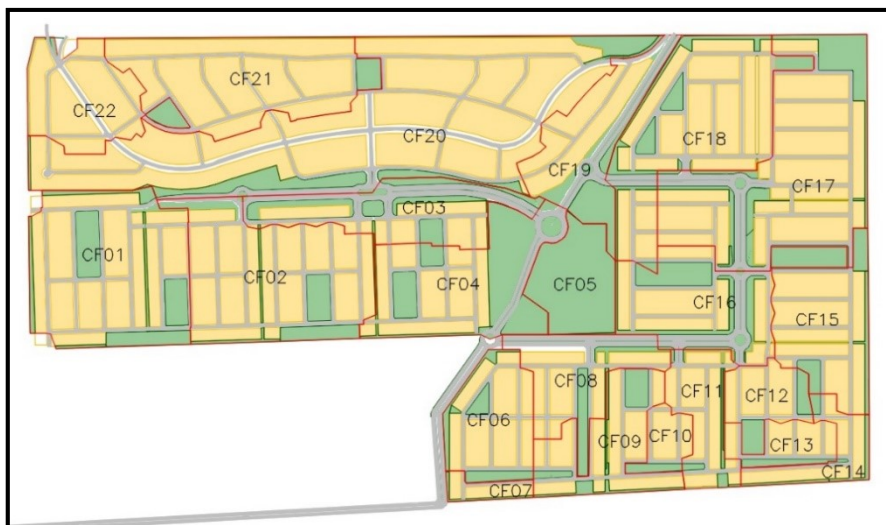


Figura 6.8. Caracterización de los usos de suelo. Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presenta la Tabla 6.9, que resume los cálculos y promedios mencionados para el Escenario Futuro:

Tabla 6.9. Números de curva de escorrentía según usos de la tierra. Fuente: Elaboración Propia.

ESCENARIO FUTURO				
Cuenca	CN = 80 Manzanas m <sup>2</sup>	CN = 98 Calles m <sup>2</sup>	CN = 68 Esp Verdes m <sup>2</sup>	CN Situacion Futura
CF01	89249	31595	36087	81
CF02	94663	32283	22983	82
CF03	29071	26290	27195	82
CF04	41181	22453	51335	78
CF05	0	0	52413	68
CF06	39324	13427	12530	81
CF07	7344	2667	1768	82
CF08	47482	32770	20517	83
CF09	15422	6365	5023	82
CF10	9739	6132	4036	83
CF11	52406	20336	11043	83
CF12	25618	3188	10177	78
CF13	15598	6026	5728	81
CF14	11132	4587	4150	82
CF15	46799	14086	12347	81
CF16	54380	32127	40505	81
CF17	100638	41914	31508	82
CF18	89066	34803	25000	82
CF19	36298	20671	27855	80
CF20	227708	78244	35861	83
CF21	98943	24089	7310	83
CF22	51672	15042	7487	82

### 6.3. TORMENTA DE DISEÑO

La *tormenta de diseño* es la secuencia de precipitaciones capaz de provocar la crecida de diseño en la cuenca analizada. Su determinación implica definir la duración de la lluvia, la lámina total precipitada, su distribución temporal y espacial, y la porción de dicha lámina que efectivamente contribuye a la generación de escorrentías.

La Provincia de Córdoba cuenta actualmente con valiosos estudios sobre tormentas de diseño realizados por el Instituto Nacional del Agua - Centro de Investigación de la Región Semiárida (INA - CIRSA). Esta repartición elaboró el trabajo "Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba" (Caamaño Nelly, 1993), a partir de los registros de 141 estaciones pluviométricas y 7 pluviográficas en toda la provincia, las cuáles pueden observarse, en la Figura 6.9, a continuación:

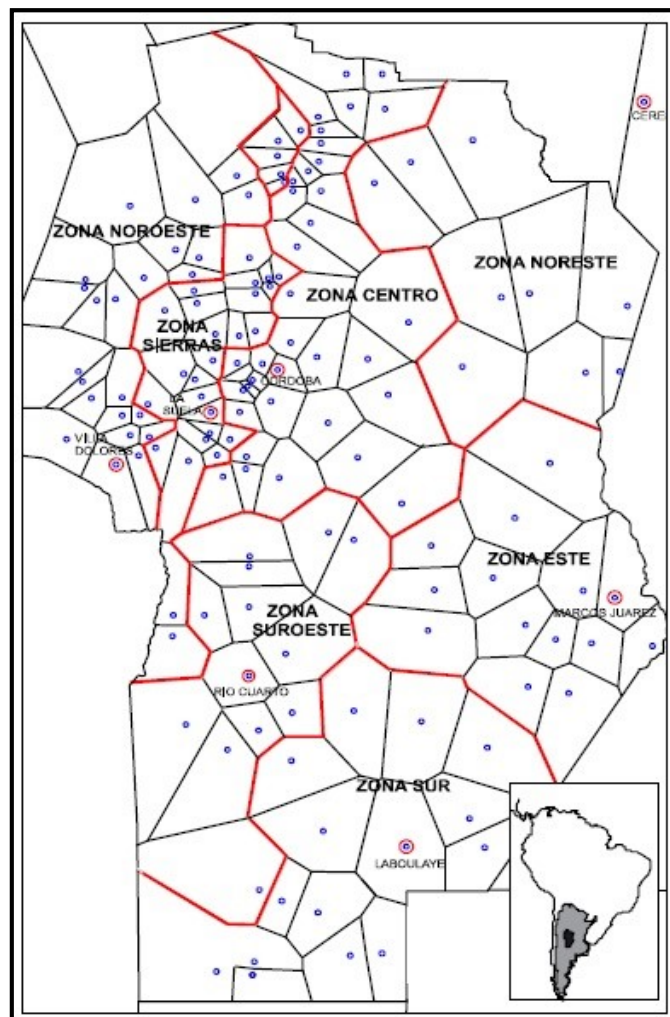


Figura 6.9. Regiones Pluviográficas Provincia de Córdoba.  
Fuente: Caamaño Nelly, 1993.

Según este análisis del CIRSA, el área en estudio queda comprendida en la *Zona Centro*, la cual tiene como pluviógrafo base la estación Córdoba Observatorio. Este será empleado verificando todas las condiciones de aplicabilidad establecidas por el CIRSA que se enuncian a continuación:

- a) La distancia entre la región de análisis y la estación no debe superar los 150Km
- b) La diferencia de lluvia media anual entre ambas zonas no supere los 100 mm.
- c) La diferencia de cota sea inferior a 200 m.
- d) Las características fisiográficas deben ser similares.
- e) En la distancia mencionada en a) no se atravesase ningún cordón montañoso.

### 6.3.1. Período de Retorno (TR)

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia. Por definición, el *período de retorno o de recurrencia (TR)*, es el tiempo promedio en años durante el cual se espera que la magnitud analizada sea igualada o superada, al menos, una vez. Es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica.

Se han adoptado diferentes períodos de retorno, según las funciones básicas y complementarias de un sistema de drenaje. Cabe aclarar que la función básica garantiza la protección de las personas y las propiedades frente a un evento meteorológico; mientras que la función complementaria contempla el desarrollo normal de la vida diaria de las personas. Para la función básica se ha adoptado un periodo de 100 años, valor recomendado por la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHI). En el caso de la función complementaria, la recurrencia es función del uso de la tierra y el tipo de vía terrestre, lo cual para lotes con uso residencial se recomienda adoptar recurrencias de 5 años y de 10 años, según si se ubica sobre calles o avenidas respectivamente.

Para el estudio preliminar se determinaron los caudales para recurrencias de 5, 10, 25 y 100 años como una manera de evaluar el comportamiento de las cuencas para diferentes periodos de retorno; pero para el diseño de las obras proyectadas se utilizan los valores que resultan de períodos de recurrencia de 25 años, mientras que para la verificación los valores que surgen de los 100 años de retorno.

### 6.3.2. Duración (d)

La *duración (d)* de una tormenta de diseño se define como el tiempo que esta tarde en precipitarse sobre la superficie terrestre de la cuenca en estudio.

Generalmente, la duración de una tormenta de diseño se adopta igual o levemente superior al tiempo de concentración ( $t_c$ ) de la cuenca. Este criterio permite que el caudal máximo se origine por la contribución de toda el área de aporte.

Todo lo referido al tiempo de concentración ( $t_c$ ), desde la forma de determinarlo hasta los valores adoptados para el presente estudio, se encuentra explícito en la *Sección 6.2.3.* presentada con anterioridad.

Para el sistema estudiado la duración de la lluvia de diseño se adoptó en 120 minutos, debido a que es la que mayores caudales picos generaba a la salida del sistema y es de probabilidad de ocurrencia elevada. Sin embargo, fueron analizadas otras duraciones de tormenta (30, 60, 180 min) a los efectos de evaluar el comportamiento ante otros escenarios meteorológicos.

### 6.3.3. Lámina Total Precipitada

La *lámina total precipitada* se ha obtenido a partir de las curvas i-d-F (Figura 6.10) desarrolladas por el CIRSA para Zona Centro. Dichas curvas, son un elemento de diseño que relacionan la *Intensidad* de la lluvia, la *Duración* de la misma y la *Frecuencia* con la que se puede presentar. Se definen, a continuación, las 3 variables en cuestión:

- *Intensidad*: Es la tasa de precipitación temporal, es decir, la profundidad de lluvia por unidad de tiempo.  $I = P / d$

Donde P es la profundidad de la lámina precipitada (mm) y d la duración de la lluvia (hs).

- *Duración*: Definida en la Sección 6.4.2.
- *Frecuencia*: Expresada en función del período de retorno (TR).

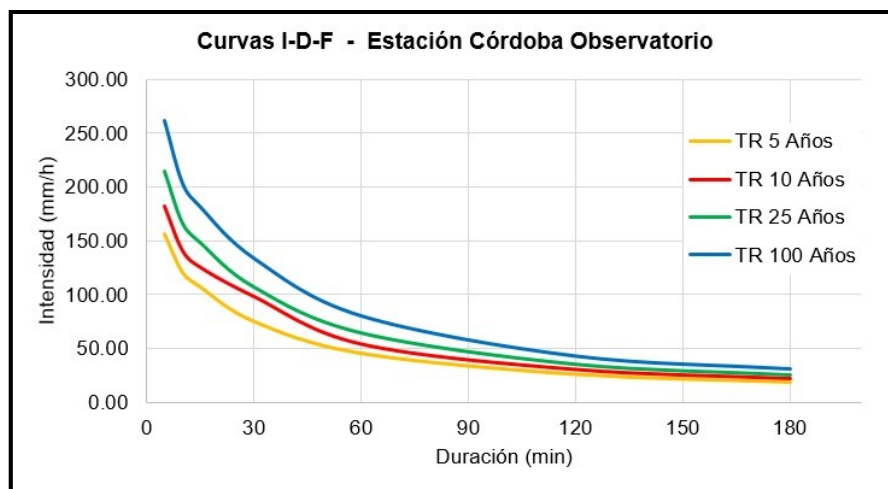


Figura 6.10. Curvas I-D-F, Zona Centro. Estación Córdoba Observatorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos existentes.

De estas curvas, para períodos de recurrencia (TR) de 5, 10, 25 y 100 años y duración de tormenta (d) de 120 minutos, se deducen las intensidades de lluvia (i) y láminas totales precipitadas (P), detalladas en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10. Intensidad y Lámina Total Precipitada. Estación Pluviográfica Córdoba Observatorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos existentes.

TR (años)	d = 120 min	
	i (mm/hs)	P (mm)
5	26.68	53.36
10	30.56	61.12
25	36.58	73.16
100	47.99	95.98

### 6.3.4. Distribución Temporal

La *distribución temporal* es el fraccionamiento en el tiempo de la lámina total precipitada (P). Existen diversos métodos para estimar la distribución temporal de la tormenta de proyecto. Para el presente trabajo fue adoptado el criterio de patrones probables por periodos del mismo estudio, mencionado precedentemente.

En dicho análisis se establecen los porcentajes de lámina precipitada dividiendo la duración de la tormenta en 6 intervalos, de los cuales uno contiene el pico (de mayor intensidad) y los restantes decrecen en forma progresiva. Según la bibliografía consultada, para la Zona Centro, cuando las lluvias son de corta duración, esto es lluvias de duración igual o menor a dos horas, existe mayor probabilidad que el pico se ubique en el primer sextil. En el caso de lluvias de larga duración, ocurre lo mismo, siendo mayor la probabilidad.

De esta forma el patrón adoptado se puede observar en la Figura 6.11.

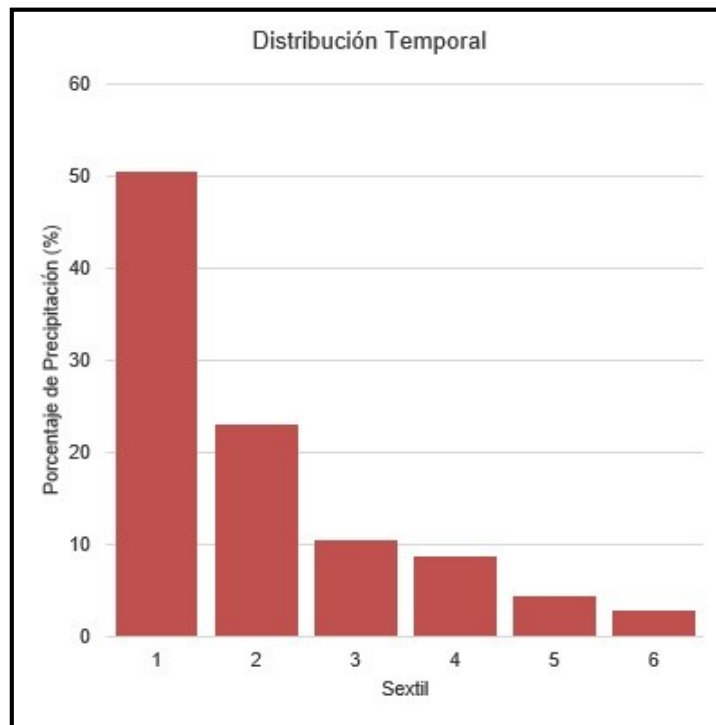


Figura 6.11. Distribución Temporal Zona Centro - Estación Córdoba Observatorio.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos existentes.

### 6.3.5. Distribución Espacial

La lámina obtenida de la función i-d-F es una lámina local que representa un área en torno al pluviómetro que varía entre 2.5 y 25 Km<sup>2</sup> según características climáticas y topográficas de la región.

En lo que se refiere a *distribución espacial* de la tormenta de diseño, es posible reducir los valores puntuales en función del área considerada, cuando se trate de cuencas intermedias o grandes, entendiéndose como tales a cuencas cuya extensión sea superior a los 25 Km<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente y que las cuencas en estudio poseen un área considerablemente inferior, se debe desestimar una reducción de la lámina puntual.

### 6.3.6. Lámina Efectiva o Lluvia Neta. Pérdidas

Como ya se dijo anteriormente, para la estimación de los hidrogramas de proyecto es necesario considerar que existe una porción de la lluvia precipitada que no contribuye a la formación del escurrimiento superficial inmediato, a la cual denominamos "*Pérdidas*" y ha sido desarrollado con suficiencia en la *Sección 6.2.4*, presentada anteriormente.

Por lo tanto, descontando dichas pérdidas de la Lámina Total Precipitada, encontraremos la *Lámina Efectiva* o *Lluvia Neta* de precipitaciones que contribuirán al escurrimiento directo, y cuyo volumen generado será utilizado para la posterior transformación Lluvia-Caudal que se verá más adelante.

De esta manera, podemos decir que, la diferencia entre la lluvia total precipitada y las pérdidas define la lámina neta o efectiva, y expresarlo de la siguiente manera:

$$\text{Lámina Efectiva} = \text{Precipitación Total} - \text{Pérdidas.}$$

#### **6.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Desde el punto de vista hidrológico, el presente trabajo tiene dos objetivos fundamentales. Por un lado, cuantificar el impacto de la urbanización en la generación de caudales de la cuenca, y por otro, verificar el correcto funcionamiento del sistema de drenaje proyectado ante la ocurrencia de eventos extremos.

En este sentido, el estudio hidrológico permite obtener los hidrogramas que se registrarán en las secciones de interés frente a la ocurrencia de eventos de recurrencias conocidas. A partir de dichos hidrogramas, se determinan los volúmenes necesarios a almacenar para lograr un impacto hidrológico nulo y verificar el funcionamiento y la seguridad de las estructuras frente a los distintos eventos. Los hidrogramas simulados y su correspondiente estimación de caudales, fueron obtenidos por medio de modelos computacionales de transformación Lluvia-Caudal, asumiendo que las tormentas de proyecto y los picos de caudales que éstas generan poseen la misma recurrencia.

En el presente informe se ha empleado el modelo HEC-HMS y en los siguientes puntos se describen en forma breve las principales características de los métodos empleados.

##### **6.4.1. Transformación Lluvia-Caudal**

Dependiendo de la zona de estudio, es común que no existan registros adecuados de escurrimiento en el lugar de estudio para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de las obras hidráulicas. Generalmente, los datos de precipitaciones se presentan con mayor facilidad que los de escurrimiento, por lo que resulta muy conveniente disponer de métodos que permitan el cálculo de los escurrimientos de una cuenca a través de las características de la misma y la precipitación.

Para el presente informe, se decidió la utilización del Método del Hidrograma Unitario. Este, es uno de los métodos más utilizados en hidrología, para la determinación del caudal producido por una precipitación en una determinada cuenca hidrográfica.

Se define como el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso, de lámina unitaria (generalmente 1mm, aunque puede ser 1cm o 1pulgada) y repartida uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. Una vez que determinado el hidrograma unitario, se selecciona un hietograma de lluvia, se estiman las abstracciones y se calcula el hietograma de exceso de lluvia. A partir de allí, se tiene el hidrograma de escorrentía directa y si se le suma un flujo base estimado se obtiene el hidrograma de caudal.

Existen diferentes métodos que me permiten determinar este Hidrograma Unitario, y para el desarrollo del presente estudio se utilizó el Método de Clark (1945), ya que permite obtener dicho hidrograma utilizando únicamente datos de características generales de la cuenca.

Este método supone que la cuenca considerada funciona como un depósito. Un aumento del caudal de entrada de un depósito o un embalse se refleja en el caudal de salida amortiguado y retardado. El modo más simple de considerar este fenómeno es considerar un depósito lineal: eso significa que existe una relación lineal entre el volumen almacenado en el depósito y el caudal de salida.

El método se basa en tres parámetros:

- Tiempo de Retardo.
- Tiempo de Concentración.
- Relación Tiempo-Área.

La mayor dificultad que presenta este procedimiento es que se necesita un Coeficiente de Almacenamiento (R), el cual representa el retardo que la cuenca impone a la escorrentía superficial para desplazarse. Algunos autores suponen que es similar al Lag o Tiempo de Retardo (fracción del  $T_c$ ), por lo que en el presente trabajo se realiza la misma suposición.

#### 6.4.2. Modelo HEC-HMS

HEC-HMS, Hydrologic Modeling System, es un programa del Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers. Este modelo es un software en entorno de Windows que permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces. El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia – caudal mediante una simplificación de la realidad.

La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (versión 3.5.0), requiere de las siguientes especificaciones:

- Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.
- Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos en especial la precipitación y de la información requerida para procesarlos.
- Especificaciones de Control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

- Modelo de Cuenca

Con objeto de poder representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma, que refleje de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En dicha representación esquemática se utilizan generalmente diversos tipos de elementos, dentro de los cuales se desarrollan los procesos hidrológicos. En este sentido, el programa HEC-HMS incluye los siguientes elementos:

a. Subcuenca: Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe ningún flujo entrante y da lugar a un único flujo saliente, que es el que se genera en la subcuenca a partir de los datos meteorológicos, una vez descontadas las pérdidas de agua, transformado el exceso de precipitación en escorrentía superficial y añadido el flujo base. Se utiliza para representar cuencas vertientes de muy variado tamaño.

b. Tramo de cauce: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente. Los flujos entrantes, que provienen de otros elementos de la cuenca, tales como subcuencas u otros tramos de cauce, se suman antes de abordar el cálculo del flujo saliente. Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce el tránsito de un determinado hidrograma.

c. Embalse: Es un tipo de elemento que recibe uno o varios flujos entrantes, procedentes de otros elementos, y proporciona como resultado del cálculo un único flujo saliente. Se utiliza para poder representar fenómenos de laminación de avenidas en lagos y embalses.

d. Confluencia: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente dicha de ríos o arroyos, aunque ello no es imprescindible, ya que los flujos entrantes pueden proceder también de subcuencas parciales.

e. Derivación: Este tipo de elemento se caracteriza porque da lugar a dos flujos salientes, principal y derivado, procedentes de uno o más flujos entrantes. Se puede utilizar para representar la existencia de vertederos laterales que derivan el agua hacia canales o zonas de almacenamiento separadas del cauce propiamente dicho.

f. Fuente: Junto con la subcuenca, es una de las dos maneras de generar caudal en el modelo de cuenca. Se suele utilizar para representar condiciones de contorno en el extremo de aguas arriba, y el caudal considerado puede proceder del resultado del cálculo efectuado en otras cuencas.

g. Sumidero: Recibe uno o varios flujos entrantes y no da lugar a ningún flujo saliente. Este tipo de elemento puede ser utilizado para representar el punto más bajo de una cuenca endorreica o el punto de desagüe final de la cuenca en cuestión.

h. La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

- Modelo Meteorológico:

Precipitación: por lo general la entrada a un sistema de cálculo es la precipitación ya sea de un evento histórico o uno hipotético con una probabilidad asociada.

Cuantificación de las pérdidas de agua: contempla diferentes alternativas, como:

- Establecimiento de un umbral de precipitación, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y una tasa constante de pérdidas por encima del citado umbral.
- Utilización del concepto de número de curva (CN), desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), teniendo en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo al episodio lluvioso que se considera.



- Método de Green y Ampt, que tiene en cuenta, entre otros, aspectos tales como la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.
- Modelo SMA (Soil Moisture Accounting), que permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y almacenamiento en diferentes zonas, y el escurrimiento superficial del exceso.

En cuanto a la evapotranspiración no se requiere de información cuando se simula eventos ya que este proceso se considera despreciable mientras ocurre una precipitación.

Para la determinación del Hidrograma Unitario: El programa HEC-HMS contempla dos posibles alternativas, basadas en modelos de tipo empírico o conceptual, respectivamente. Entre los modelos de tipo empírico, basados todos ellos, en mayor o menor medida, en el concepto de hidrograma unitario, propuesto originalmente por Sherman en 1932, el programa permite seleccionar uno de los siguientes:

- Hidrograma unitario definido por el usuario.
- Hidrograma sintético de Snyder.
- Hidrograma del Soil Conservation Service.
- Hidrograma de Clark (original y modificado).

Tránsito del hidrograma por el cauce: La agrupación de caudales de agua de diversa procedencia (superficial, etc.) en un punto de un cauce y su variación a lo largo del tiempo constituye un hidrograma. El discurrir de estos caudales hacia aguas abajo, a lo largo de un determinado tramo de cauce, da lugar a un nuevo hidrograma en el extremo de aguas abajo del mismo. El programa permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta la onda de crecida entre el inicio y final de un tramo de cauce:

- Lag.
- Puls modificado.
- Muskingum.
- Muskingum-Cunge.
- Onda cinemática.

▪ Especificaciones de Control del Modelo:

Además de establecer un modelo de cuenca y un modelo meteorológico, es preciso definir, previamente a la ejecución del programa un conjunto de variables de control:

- Fecha y hora del comienzo del período de tiempo que se pretende analizar.
- Fecha y hora del final del período de tiempo que se pretende analizar.
- Incremento de tiempo de cálculo.

Es importante resaltar que esta estructuración del programa en tres bloques independientes es muy versátil, ya que permite representar diferentes situaciones de manera muy sencilla, sin más que realizar modificaciones en alguno de los bloques.

Así, por ejemplo, se pueden tener diferentes modelos de cuenca, con distintos valores de parámetros, o modelos meteorológicos, correspondientes a distintas lluvias, o bien conjuntos de variables de control, con distintos períodos de tiempo o incrementos de tiempo de cálculo, todos susceptibles de ser combinados entre sí.

Con respecto al tiempo de cálculo, su valor está definido por el usuario y determina la resolución del modelo, es decir, el intervalo de tiempo en el que se proporcionan los resultados correspondientes a una determinada ejecución, y presenta un rango de valores posibles que se sitúa entre 1 minuto y 24 horas.

### 6.4.3. Aplicación del Modelo Hidrológico

Con los valores característicos de las subcuencas y las tormentas de proyecto se ingresaron al programa HEC HMS y se elaboró el modelo computacional para el Escenario Actual como para el Escenario Futuro. En el primero, se contemplan los parámetros naturales del sistema para determinar el volumen de escurrimiento generado y el caudal pico máximo. El esquema de modelación de la Situación Actual se muestra en la Figura 6.12.

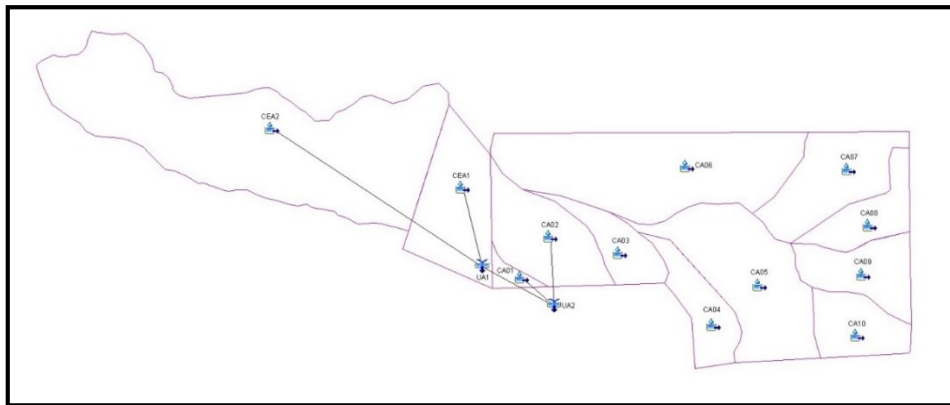


Figura 6.12. Esquema de Modelación Situación Actual, Modelo HEC-HMS.  
Fuente: Elaboración propia.

En el segundo se aplican los parámetros considerando que la superficie está ocupada según los condicionantes antes mencionados en la determinación del CN. El esquema de modelación se corresponde con el de la Situación Futura, observado en la siguiente Figura 6.13.

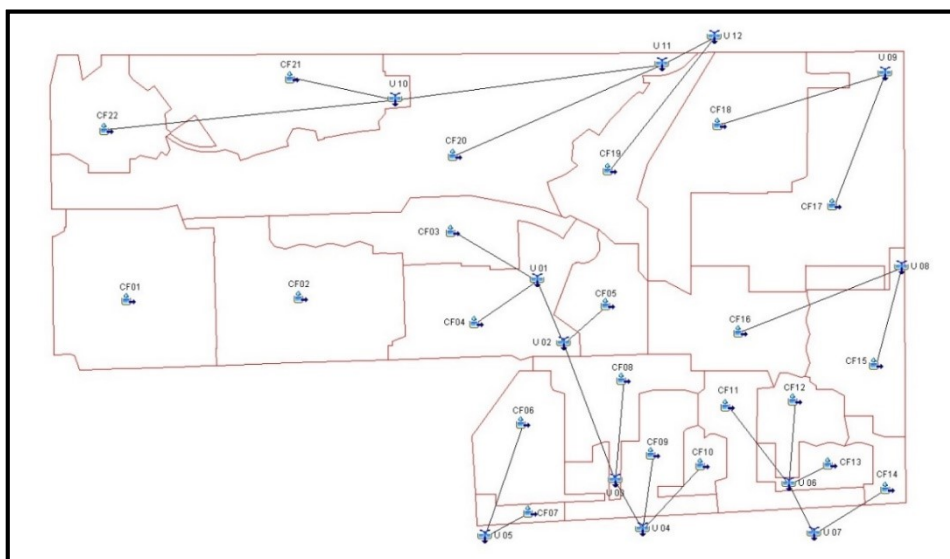


Figura 6.13. Esquema de Modelación Situación Futura, Modelo HEC-HMS.  
Fuente: Elaboración propia.

**6.4.4. Resultados Obtenidos**

En las tablas que se presentan a continuación, se resumen los resultados obtenidos de los modelos generados pudiendo observarse para cada uno de los elementos del modelo, los caudales y volúmenes generados para recurrencias de 5, 10, 25 y 100 años y duración de lluvia de 120 minutos, tanto para la Situación Actual como Futura. (Los elementos marcados en negrita, serán utilizados para la comparación que se describe a la brevedad).

Tabla 6.11. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Actual.  
Fuente: Elaboración propia.

Elemento	ESCENARIO ACTUAL							
	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)
CA01	<b>0.052</b>	<b>0.157</b>	<b>0.079</b>	<b>0.239</b>	<b>0.125</b>	<b>0.388</b>	<b>0.247</b>	<b>0.732</b>
CA02	<b>0.386</b>	<b>1.490</b>	<b>0.586</b>	<b>2.224</b>	<b>0.943</b>	<b>3.557</b>	<b>1.742</b>	<b>6.602</b>
CA03	<b>0.192</b>	<b>0.664</b>	<b>0.288</b>	<b>1.008</b>	<b>0.471</b>	<b>1.637</b>	<b>0.912</b>	<b>3.091</b>
CA04	<b>0.224</b>	<b>0.775</b>	<b>0.337</b>	<b>1.176</b>	<b>0.550</b>	<b>1.910</b>	<b>1.064</b>	<b>3.606</b>
CA05	<b>0.552</b>	<b>2.255</b>	<b>0.836</b>	<b>3.421</b>	<b>1.353</b>	<b>5.559</b>	<b>2.617</b>	<b>10.492</b>
CA06	<b>0.662</b>	<b>2.975</b>	<b>1.029</b>	<b>4.594</b>	<b>1.723</b>	<b>7.592</b>	<b>3.320</b>	<b>14.587</b>
CA07	<b>0.399</b>	<b>1.574</b>	<b>0.608</b>	<b>2.349</b>	<b>0.984</b>	<b>3.757</b>	<b>1.828</b>	<b>6.973</b>
CA08	<b>0.262</b>	<b>0.910</b>	<b>0.379</b>	<b>1.338</b>	<b>0.614</b>	<b>2.108</b>	<b>1.141</b>	<b>3.850</b>
CA09	<b>0.336</b>	<b>1.194</b>	<b>0.491</b>	<b>1.756</b>	<b>0.764</b>	<b>2.767</b>	<b>1.444</b>	<b>5.054</b>
CA10	<b>0.332</b>	<b>0.988</b>	<b>0.478</b>	<b>1.453</b>	<b>0.783</b>	<b>2.289</b>	<b>1.459</b>	<b>4.181</b>
CEA1	0.487	1.905	0.728	2.801	1.157	4.414	2.112	8.062
CEA2	1.269	5.373	1.980	8.298	3.261	13.714	6.309	26.349
UA1	1.749	7.279	2.671	11.099	4.318	18.128	8.420	34.411
UA2	2.160	8.926	3.269	13.562	5.356	22.073	10.332	41.745

Tabla 6.12. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Futuro.  
Fuente: Elaboración propia.

Elemento	ESCENARIO FUTURO							
	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)
CF01	<b>0.791</b>	<b>2.670</b>	<b>1.038</b>	<b>3.495</b>	<b>1.444</b>	<b>4.871</b>	<b>2.277</b>	<b>7.724</b>
CF02	<b>0.799</b>	<b>2.729</b>	<b>1.041</b>	<b>3.544</b>	<b>1.438</b>	<b>4.895</b>	<b>2.243</b>	<b>7.678</b>
CF03	0.456	1.510	0.590	1.961	0.816	2.709	1.320	4.248
CF04	0.473	1.584	0.638	2.127	0.916	3.049	1.491	5.002
CF05	0.098	0.303	0.149	0.460	0.239	0.747	0.456	1.410
CF06	0.367	1.201	0.483	1.559	0.683	2.154	1.093	3.378
CF07	0.071	0.218	0.093	0.283	0.130	0.392	0.205	0.614
CF08	0.592	1.963	0.759	2.529	1.054	3.464	1.679	5.375
CF09	0.172	0.491	0.222	0.638	0.305	0.881	0.486	1.382
CF10	0.138	0.389	0.176	0.501	0.250	0.686	0.405	1.064
CF11	0.276	0.913	0.359	1.177	0.503	1.612	0.796	2.501
CF12	0.239	0.663	0.309	0.868	0.435	1.210	0.729	1.919
CF13	0.156	0.459	0.206	0.601	0.288	0.838	0.454	1.328
CF14	0.202	0.564	0.259	0.732	0.370	1.012	0.608	1.587
CF15	0.378	1.242	0.491	1.625	0.695	2.265	1.133	3.591
CF16	0.640	2.160	0.840	2.827	1.168	3.941	1.842	6.248
CF17	0.910	3.166	1.189	4.111	1.649	5.678	2.583	8.906
CF18	0.764	2.711	1.000	3.520	1.390	4.863	2.184	7.627
CF19	0.411	1.350	0.540	1.781	0.761	2.505	1.261	4.016
CF20	1.708	6.646	2.195	8.564	3.011	11.729	4.770	18.201
CF21	0.742	2.526	0.957	3.255	1.309	4.458	2.016	6.919
CF22	0.407	1.346	0.526	1.748	0.728	2.415	1.177	3.788
U 01	0.929	3.094	1.228	4.088	1.724	5.758	2.793	9.250
U 02	1.027	3.397	1.377	4.547	1.963	6.505	3.248	10.660
U 03	1.619	5.360	2.136	7.076	2.992	9.969	4.927	16.035
<b>U 04</b>	<b>1.870</b>	<b>6.239</b>	<b>2.451</b>	<b>8.215</b>	<b>3.488</b>	<b>11.536</b>	<b>5.756</b>	<b>18.481</b>
<b>U 05</b>	<b>0.433</b>	<b>1.419</b>	<b>0.576</b>	<b>1.843</b>	<b>0.813</b>	<b>2.546</b>	<b>1.298</b>	<b>3.992</b>
U 06	0.667	2.036	0.874	2.646	1.214	3.660	1.903	5.748
<b>U 07</b>	<b>0.869</b>	<b>2.600</b>	<b>1.134</b>	<b>3.379</b>	<b>1.566</b>	<b>4.671</b>	<b>2.438</b>	<b>7.335</b>
<b>U 08</b>	<b>1.018</b>	<b>3.402</b>	<b>1.331</b>	<b>4.452</b>	<b>1.845</b>	<b>6.206</b>	<b>2.975</b>	<b>9.839</b>
<b>U 09</b>	<b>1.673</b>	<b>5.876</b>	<b>2.189</b>	<b>7.631</b>	<b>3.039</b>	<b>10.541</b>	<b>4.768</b>	<b>16.533</b>
U 10	1.148	3.873	1.483	5.004	2.029	6.873	3.188	10.706
U 11	2.786	10.519	3.638	13.568	5.040	18.602	7.897	28.908
<b>U 12</b>	<b>3.198</b>	<b>11.869</b>	<b>4.178</b>	<b>15.349</b>	<b>5.792</b>	<b>21.108</b>	<b>9.079</b>	<b>32.924</b>


Como consecuencia del proyecto de urbanización los caudales se ven incrementados, es por ello que frente a estas situaciones se propone un sistema de drenaje para mitigar los efectos de estos excedentes contra terceros, hacia aguas abajo del Loteo.

Cabe aclarar que, para una fortuita comparación y análisis de los resultados, se identifican 8 puntos de descarga del loteo, en función de las cuencas actuales, como puede observarse en la Figura 6.5, donde se encuentran identificados mediante un círculo azul.

Para dichos puntos de descarga, se han agrupado las cuencas que contribuyen a los mismos (remarcadas en negrita, como se puede observar en las tablas precedentes), tanto en la situación actual como en la futura, y la comparación de resultados se hace en función de los caudales y volúmenes generados en ellos, como puede observarse en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6.13. Diferencia de Caudales y Volúmenes entre Situación Actual y Futura.  
Fuente: Elaboración propia.

DIFERENCIA = ESCENARIO FUTURO - ESCENARIO ACTUAL (EF - EA)									
Descarga	Elemento	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
		Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)
PUNTO 1	CA 01	0.052	0.157	0.079	0.239	0.125	0.388	0.247	0.732
	CA 02	0.386	1.490	0.586	2.224	0.943	3.557	1.742	6.602
	EA	<b>0.438</b>	<b>1.647</b>	<b>0.665</b>	<b>2.463</b>	<b>1.068</b>	<b>3.945</b>	<b>1.989</b>	<b>7.334</b>
	CF01	0.791	2.670	1.038	3.495	1.444	4.871	2.277	7.724
	EF	<b>0.791</b>	<b>2.670</b>	<b>1.038</b>	<b>3.495</b>	<b>1.444</b>	<b>4.871</b>	<b>2.277</b>	<b>7.724</b>
EF-EA	<b>0.353</b>	<b>1.023</b>	<b>0.373</b>	<b>1.032</b>	<b>0.376</b>	<b>0.926</b>	<b>0.288</b>	<b>0.390</b>	
PUNTO 2	CA 03	0.192	0.664	0.288	1.008	0.471	1.637	0.912	3.091
	EA	<b>0.192</b>	<b>0.664</b>	<b>0.288</b>	<b>1.008</b>	<b>0.471</b>	<b>1.637</b>	<b>0.912</b>	<b>3.091</b>
	CF02	0.799	2.729	1.041	3.544	1.438	4.895	2.243	7.678
	EF	<b>0.799</b>	<b>2.729</b>	<b>1.041</b>	<b>3.544</b>	<b>1.438</b>	<b>4.895</b>	<b>2.243</b>	<b>7.678</b>
EF-EA	<b>0.607</b>	<b>2.065</b>	<b>0.753</b>	<b>2.536</b>	<b>0.967</b>	<b>3.258</b>	<b>1.331</b>	<b>4.587</b>	
PUNTO 3	CA 04	0.224	0.775	0.337	1.176	0.550	1.910	1.064	3.606
	EA	<b>0.224</b>	<b>0.775</b>	<b>0.337</b>	<b>1.176</b>	<b>0.550</b>	<b>1.910</b>	<b>1.064</b>	<b>3.606</b>
	U 05	0.433	1.419	0.576	1.843	0.813	2.546	1.298	3.992
	EF	<b>0.433</b>	<b>1.419</b>	<b>0.576</b>	<b>1.843</b>	<b>0.813</b>	<b>2.546</b>	<b>1.298</b>	<b>3.992</b>
EF-EA	<b>0.209</b>	<b>0.644</b>	<b>0.239</b>	<b>0.667</b>	<b>0.263</b>	<b>0.636</b>	<b>0.234</b>	<b>0.386</b>	
PUNTO 4	CA 05	0.552	2.255	0.836	3.421	1.353	5.559	2.617	10.492
	EA	<b>0.552</b>	<b>2.255</b>	<b>0.836</b>	<b>3.421</b>	<b>1.353</b>	<b>5.559</b>	<b>2.617</b>	<b>10.492</b>
	U 04	1.870	6.239	2.451	8.215	3.488	11.536	5.756	18.481
	EF	<b>1.870</b>	<b>6.239</b>	<b>2.451</b>	<b>8.215</b>	<b>3.488</b>	<b>11.536</b>	<b>5.756</b>	<b>18.481</b>
EF-EA	<b>1.318</b>	<b>3.984</b>	<b>1.615</b>	<b>4.794</b>	<b>2.135</b>	<b>5.977</b>	<b>3.139</b>	<b>7.989</b>	
PUNTO 5	CA 10	0.332	0.988	0.478	1.453	0.783	2.289	1.459	4.181
	EA	<b>0.332</b>	<b>0.988</b>	<b>0.478</b>	<b>1.453</b>	<b>0.783</b>	<b>2.289</b>	<b>1.459</b>	<b>4.181</b>
	U 07	0.869	2.600	1.134	3.379	1.566	4.671	2.438	7.335
	EF	<b>0.869</b>	<b>2.600</b>	<b>1.134</b>	<b>3.379</b>	<b>1.566</b>	<b>4.671</b>	<b>2.438</b>	<b>7.335</b>
EF-EA	<b>0.537</b>	<b>1.612</b>	<b>0.656</b>	<b>1.926</b>	<b>0.783</b>	<b>2.382</b>	<b>0.979</b>	<b>3.154</b>	
PUNTO 6	CA 09	0.336	1.194	0.491	1.756	0.764	2.767	1.444	5.054
	EA	<b>0.336</b>	<b>1.194</b>	<b>0.491</b>	<b>1.756</b>	<b>0.764</b>	<b>2.767</b>	<b>1.444</b>	<b>5.054</b>
	U 08	1.018	3.402	1.331	4.452	1.845	6.206	2.975	9.839
	EF	<b>1.018</b>	<b>3.402</b>	<b>1.331</b>	<b>4.452</b>	<b>1.845</b>	<b>6.206</b>	<b>2.975</b>	<b>9.839</b>
EF-EA	<b>0.682</b>	<b>2.208</b>	<b>0.840</b>	<b>2.696</b>	<b>1.081</b>	<b>3.439</b>	<b>1.531</b>	<b>4.785</b>	
PUNTO 7	CA 07	0.399	1.574	0.608	2.349	0.984	3.757	1.828	6.973
	CA 08	0.262	0.910	0.379	1.338	0.614	2.108	1.141	3.850
	EA	<b>0.661</b>	<b>2.484</b>	<b>0.987</b>	<b>3.687</b>	<b>1.598</b>	<b>5.865</b>	<b>2.969</b>	<b>10.823</b>
	CF01	1.148	3.873	2.189	7.631	3.039	10.541	4.768	16.533
EF	<b>1.148</b>	<b>3.873</b>	<b>2.189</b>	<b>7.631</b>	<b>3.039</b>	<b>10.541</b>	<b>4.768</b>	<b>16.533</b>	
EF-EA	<b>0.487</b>	<b>1.389</b>	<b>1.202</b>	<b>3.944</b>	<b>1.441</b>	<b>4.676</b>	<b>1.799</b>	<b>5.710</b>	
PUNTO 8	CA 06	0.662	2.975	1.029	4.594	1.723	7.592	3.320	14.587
	EA	<b>0.662</b>	<b>2.975</b>	<b>1.029</b>	<b>4.594</b>	<b>1.723</b>	<b>7.592</b>	<b>3.320</b>	<b>14.587</b>
	U 12	3.198	11.869	4.178	15.349	5.792	21.108	9.079	32.924
	EF	<b>3.198</b>	<b>11.869</b>	<b>4.178</b>	<b>15.349</b>	<b>5.792</b>	<b>21.108</b>	<b>9.079</b>	<b>32.924</b>
EF-EA	<b>2.536</b>	<b>8.894</b>	<b>3.149</b>	<b>10.755</b>	<b>4.069</b>	<b>13.516</b>	<b>5.759</b>	<b>18.337</b>	
TOTAL	<b>6.729</b>	<b>8.827</b>	<b>8.827</b>	<b>11.115</b>	<b>11.115</b>	<b>15.060</b>	<b>15.060</b>	<b>15.060</b>	



ESTUDIO HIDROLÓGICO  
Y DISEÑO DE LAGUNAS  
DE RETARDO PARA  
LOTEO “VALLECITO”

---

**PROYECTO DE  
DRENAJE**



**CAPÍTULO 7**

## 7. CAPÍTULO 7: PROYECTO DE DRENAJE

La formulación de todo Proyecto de Drenaje se debe asentar en ciertos principios rectores, los que según ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles; 1992) y Tucci (1994) enumeran de la siguiente manera:

a) Ningún usuario urbano debe ampliar la crecida natural: las crecidas naturales no pueden ser aumentadas por los que ocupan la cuenca, sea un simple loteo u otras obras derivadas del ambiente urbano. Esto se aplica al relleno de zonas bajas, a la impermeabilización de las superficies, a la construcción de calles y avenidas, etc.;

b) Los impactos hidrológicos de la urbanización no deben ser transferidos: las obras y medidas a implementar no pueden reducir el impacto de un área en detrimento de otra(s). Caso que ello ocurra se deben prever medidas compensatorias;

c) Las aguas pluviales requieren espacio: una vez que el agua de lluvia alcanza el suelo la misma escurrirá, exista o no un sistema de drenaje adecuado. Siempre que se elimine el almacenamiento natural sin que se adopten medidas compensatorias, el volumen eliminado será ocupado en otro lugar. Canales y conductos desplazan la necesidad de espacio y deben ser proyectados teniendo presente este hecho. En otras palabras, el problema de drenaje urbano es, esencialmente, un problema de asignación de espacio, por lo que es indispensable preservar áreas o sectores para el manejo de las aguas;

d) Las áreas bajas aledañas a los cursos de agua, delineadas por el escurrimiento, son parte de los cursos: toda ocupación que se realice en estas áreas originará posteriormente la adopción de medidas compensatorias onerosas. La preservación de estas áreas de inundación natural es invariablemente la solución más barata para los problemas de inundación. Adicionalmente ofrece otras ventajas colaterales dentro del espacio urbano como creación de áreas verdes, oportunidades de recreación, preservación de los ecosistemas, etc.;

e) La solución de los problemas debe involucrar la adopción de medidas estructurales y no estructurales: las medidas estructurales implican la alteración del medio físico a través de obras de conducción y regulación. Las medidas no estructurales presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas;

f) El subsistema de drenaje es parte de un ambiente urbano complejo: el subsistema de drenaje no debe ser un fin en sí mismo, sino un medio que posibilite la mejora del ambiente urbano de forma más amplia. Debe ser articulado con los otros subsistemas urbanos;

g) Calidad y cantidad del agua constituyen variables del mismo problema: deben ser consideradas en conjunto;

h) Todo estudio de drenaje urbano debe ser analizado en el contexto integral de las cuencas hidrográficas involucradas: es necesario eliminar las barreras existentes entre el estudio de los problemas del drenaje urbano (a cargo de las municipalidades) y el análisis del drenaje regional (a cargo de organismos provinciales o nacionales);

i) Se deben privilegiar los mecanismos naturales de escurrimiento: preservando los canales y cuerpos naturales de agua;

j) Los costos de las medidas estructurales deben ser transferidos a los propietarios de los lotes: en forma proporcional a la superficie impermeable que posean, ya que ella es la generadora del aumento del escurrimiento.

- k) Se debe priorizar el control del escurrimiento pluvial en la fuente;
- l) Los medios de implantación del control de crecidas son el Plan Director de Drenaje Urbano, las legislaciones municipal y provincial y el Manual de Drenaje: El primero establece las líneas generales, las legislaciones controlan y el Manual orienta;
- m) El control de inundaciones es un proceso permanente: Establecer planes y ordenanzas no es suficiente; es preciso el control permanente para verificar posibles violaciones y para adaptar la legislación a nuevas situaciones;
- n) Se debe incluir un proceso de formación y esclarecimiento a tomadores de decisión (municipal, provincial y federal), a profesionales y a la población en general.

Para poder elaborar el Plan de Drenaje es fundamental interpretar acabadamente la dinámica del sistema hidrológico y sus respuestas frente a modificaciones en las características de las subcuencas que lo integran. Para ello se debe desarrollar un modelo hidrológico computacional del mismo para simular la situación actual y las diferentes alternativas de obras que se propongan dentro del Plan.

### 7.1. OBRAS PROYECTADAS

Como ya se mencionó en reiteradas oportunidades, como consecuencia del aumento de los escurrimientos superficiales y con el objeto de aminorar las consecuencias, producto de dichos incrementos hacia aguas abajo del loteo, se desarrollaron las obras de drenaje pertinentes a controlar las escorrentías generadas por las cuencas.

El sistema de drenaje propuesto estará compuesto por 12 (doce) microembalses o lagunas de regulación (retardo), considerando también el manejo de escurrimientos por las calzadas previstas en el Master Plan presentado en la Figura 5.1.

En la Figura 7.1, se puede observar la ubicación propuesta para las diferentes obras, cuyas dimensiones, se establecen bajo el criterio de que posean la suficiente capacidad para poder almacenar los volúmenes de excedentes pluviales que se prevén regular, los cuales surgen a partir de *una precipitación de diseño con TR=25 años*, analizando el comportamiento de las mismas, para precipitaciones con TR=5, 10 y 100 años, todas *de 120 minutos de duración*.

Por otra parte, el criterio empleado para definir la ubicación tentativa de dichas obras se desprende de la topografía, del proyecto vial propuesto, del amanzanamiento y de las áreas verdes disponibles, así como también, del uso del suelo aguas debajo de las cuencas. Bajo este criterio, ha sido posible regular el volumen de excedentes correspondiente a cada una de las cuencas propias al loteo (microdrenaje), bajo la premisa de diseño de que *“el caudal de la situación actual sea, dentro de las posibilidades físicas y económicas, igual (o levemente mayor) al caudal del escenario futuro regulado, logrando el equilibrio hídrico buscado”*.



Figura 7.1. Esquema de ubicación de Lagunas de Retardo.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de las lagunas de regulación o retardo, se tuvo en cuenta una serie de factores, descritos a continuación:

- **Obra de Ingreso:** En los casos en que el fondo de la laguna coincide con el terreno natural, el agua ingresa escurriendo por sobre el mismo. En el caso de que la laguna sea totalmente excavada, el ingreso se hace directamente desde la vialidad.
- **Obra de Salida:** Generalmente, la salida de la laguna puede ser hacia vialidad, hacia terreno natural o si en el terreno existe un canal de conducción se puede verter al mismo.
- **Cota de Entrada:** Si el ingreso es desde vialidad, la cota de entrada debe estar a la altura de la rasante de la calle en ese punto o unos pocos centímetros por debajo de ella.
- **Cota de Salida:** La cota de salida debe asegurar que el agua que se descarga lo haga por gravedad, siguiendo su curso por el terreno natural.
- **Taludes:** Lo recomendable es adoptar taludes lo más tendidos posibles, y así favorecer la estabilidad del mismo. Se recomiendan taludes 3H:1V. En aquellos casos donde no sea posible efectuar dichos taludes se permiten taludes 2H:1V, debiendo verificar la estabilidad de los mismos.
- **Pendiente de Fondo:** es preferible seguir la pendiente natural del terreno ya que de esta forma se evita terraplenar o excavar. Ante la necesidad de aumentar el volumen de almacenamiento para una misma área se excava el terreno, atendiendo siempre a garantizar una pendiente de fondo mínima del 0,3% o 3‰.

Cabe destacar que, a modo de presentación, se expondrán sólo los detalles de la Laguna de Regulación 12, y para el resto de las lagunas, se realizará una descripción de las características de la misma en forma de texto, como podrá observarse en el apartado que se presenta a continuación.



### 7.1.1. Laguna de Regulación/Retardo 01

Esta obra fue diseñada para la regulación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 01.

Presenta una superficie aproximada de  $4724,70\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $633,00\text{m}$  y la de coronamiento en  $636,77\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna se compone, por un lado, de un descargador de fondo que consiste en 6 tubos de PVC de  $0,30\text{m}$  de diámetro, y por otro lado un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,00\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $633,65\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo (Punto de Descarga 01).

### 7.1.2. Laguna de Regulación/Retardo 02

Esta laguna fue diseñada para la regulación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 02.

Presenta una superficie aproximada de  $3659,70\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $633,50\text{m}$  y la de coronamiento en  $631,70\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta por un descargador de fondo, que consiste en 3 tubos de PVC de  $0,30\text{m}$  de diámetro, y un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $4,00\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $631,50\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo, (Punto de Descarga 02).

### 7.1.3. Laguna de Regulación/Retardo 03

En este caso, la laguna fue diseñada para la amortiguación de los volúmenes excedentes generados por la urbanización de 3 subcuencas de aporte, de las cuales, las subcuencas CF 03 y CF 04 se ubican al Oeste de la misma, y la subcuenca CF05 al Este de la obra proyectada.

Presenta una superficie aproximada de  $1900\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $624,30\text{m}$  y la de coronamiento en  $625,95\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta, por un descargador de fondo, que consiste en un conducto rectangular de hormigón de  $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ , y, además, por un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,00\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $625,75\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

Cabe destacar, que la descarga se realiza hacia la vialidad interna del Loteo, y será conducida por las calles de la misma hasta la *Laguna de Regulación 05*.

#### 7.1.4. Laguna de Regulación/Retardo 04

Esta obra fue diseñada para la regulación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 06.

Presenta una superficie aproximada de  $3463,10m^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $621,10m$  y la de coronamiento en  $621,65m$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta por un descargador de fondo, materializado mediante 3 tubos de PVC de  $0,60m$  de diámetro, y un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,00m$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $621,50m$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

Se establece que la descarga se realiza hacia la vialidad interna del Loteo, donde será conducida por las calles de la misma hasta el Punto de Descarga 03, en donde se sumarán los excedentes de la subcuenca de aporte CF 07, la cual no es regulada.

#### 7.1.5. Laguna de Regulación/Retardo 05

Esta laguna fue diseñada para la laminación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 08, además de recibir la descarga de la *Laguna de Regulación 03*.

Presenta una superficie aproximada de  $1572,75m^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $618,50m$  y la de coronamiento en  $620,68m$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta por un descargador de fondo, que consiste en 2 tubos de PVC de  $0,60m$  de diámetro, y un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,00m$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $620,50m$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia la vialidad interna del Loteo, donde será conducida por las calles de la misma hasta el Punto de Descarga 04, en donde se sumarán los excedentes pluviales generados por la urbanización de las subcuencas de aporte CF 09 y CF 10, las cuales no son reguladas.

#### 7.1.6. Laguna de Regulación/Retardo 06

Para esta obra, el diseño se lleva a cabo para la regulación de los volúmenes excedentes generados por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 12.

Presenta una superficie aproximada de  $2970,30m^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $620,70m$  y la de coronamiento en  $623,25m$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta, por un descargador de fondo, que consiste en 1 tubo de PVC de  $0,30m$  de diámetro, y, además, por un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $1,00m$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $623,00m$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

Cabe destacar, que la descarga se realiza por debajo de la vialidad interna del Loteo, y será conducida por dicho conducto de descarga hasta la *Laguna de Regulación 07*.

### 7.1.7. Laguna de Regulación/Retardo 07

Esta laguna fue diseñada para la laminación del volumen excedente generado por la urbanización de las subcuencas de aporte CF 11 y CF 13, además de recibir la descarga de la *Laguna de Regulación 06*.

Presenta una superficie aproximada de  $714,30\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $619,00\text{m}$  y la de coronamiento en  $620,30\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta, por un descargador de fondo, que consiste en un conducto rectangular de hormigón de  $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ , y, además, por un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,80\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $620,10\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo, hasta el Punto de Descarga 05, en donde se sumarán los excedentes pluviales generados por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 14, la cual no es regulada.

### 7.1.8. Laguna de Regulación/Retardo 08

Esta obra fue diseñada para la amortiguación del volumen excedente generado por la urbanización de las subcuencas de aporte CF 15 y CF 16.

Presenta una superficie aproximada de  $942,30\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $615,00\text{m}$  y la de coronamiento en  $617,40\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna está compuesta, por un descargador de fondo, que consiste en un conducto rectangular de hormigón de  $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ , y, además, por un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $6,50\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $617,10\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo (Punto de Descarga 06).

### 7.1.9. Laguna de Regulación/Retardo 09

Dicha obra de regulación, fue diseñada para la laminación del volumen excedente generado por la urbanización de las subcuencas de aporte CF 17 y CF 18.

Presenta una superficie aproximada de  $8887,05\text{m}^2$  y, su cota de fondo se ubica en  $604,50\text{m}$  y la de coronamiento en  $605,60\text{m}$ .

La obra de descarga de la laguna se compone, por un lado, de un descargador de fondo que consiste en 7 tubos de PVC de  $0,40\text{m}$  de diámetro, y por otro lado un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de  $2,00\text{m}$  de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de  $605,50\text{m}$ . Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo (Punto de Descarga 07).

**7.1.10. Laguna de Regulación/Retardo 10**

Esta laguna fue diseñada para la regulación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 20, además de recibir la descarga de la *Laguna de Regulación 11*.

Presenta una superficie aproximada de 3831,80m<sup>2</sup> y, su cota de fondo se ubica en 616,85m y la de coronamiento en 619,40m.

La obra de descarga de la laguna está compuesta, por un descargador de fondo, que consiste en un conducto rectangular de hormigón de 0,80m x 0,80m, y, además, por un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de 5,00m de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de 618,60m. Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia el terreno natural aguas abajo del Loteo, hasta el Punto de Descarga 08, en donde se sumarán los excedentes pluviales generados por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 19, la cual no es regulada.

**7.1.11. Laguna de Regulación/Retardo 11**

Esta laguna fue diseñada para la amortiguación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 21, además de recibir la descarga de la *Laguna de Regulación 12*.

Presenta una superficie aproximada de 3640,90m<sup>2</sup> y, su cota de fondo se ubica en 634,20m y la de coronamiento en 635,55m.

La obra de descarga de la laguna está compuesta por un descargador de fondo, que consiste en 1 tubo de PVC de 0,30m de diámetro, y un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de 3,00m de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de 635,30m. Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia la vialidad interna del Loteo, donde será conducida por las calles de la misma hasta la *Laguna de Regulación 10*.

**7.1.12. Laguna de Regulación/Retardo 12**

Esta laguna fue diseñada para la regulación del volumen excedente generado por la urbanización de la subcuenca de aporte CF 22.

Presenta una superficie aproximada de 2807,80m<sup>2</sup> y, su cota de fondo se ubica en 644,70m y la de coronamiento en 646,65m.

La obra de descarga de la laguna está compuesta por un descargador de fondo, que consiste en 1 tubo de PVC de 0,30m de diámetro, y un vertedero trapezoidal revestido de hormigón de 2,00 m de longitud con taludes 3:1 (H: V), cuya cota de fondo es de 646,55m. Se prevé que el vertedero entre en funcionamiento para eventos de recurrencia mayores a 25 años.

La descarga se realiza hacia la vialidad interna del Loteo, donde será conducida por las calles de la misma hasta la *Laguna de Regulación 11*.

En las figuras que se presentan a continuación, podrán observarse todos los detalles de esta laguna de regulación, como se había comentado al principio de este apartado.

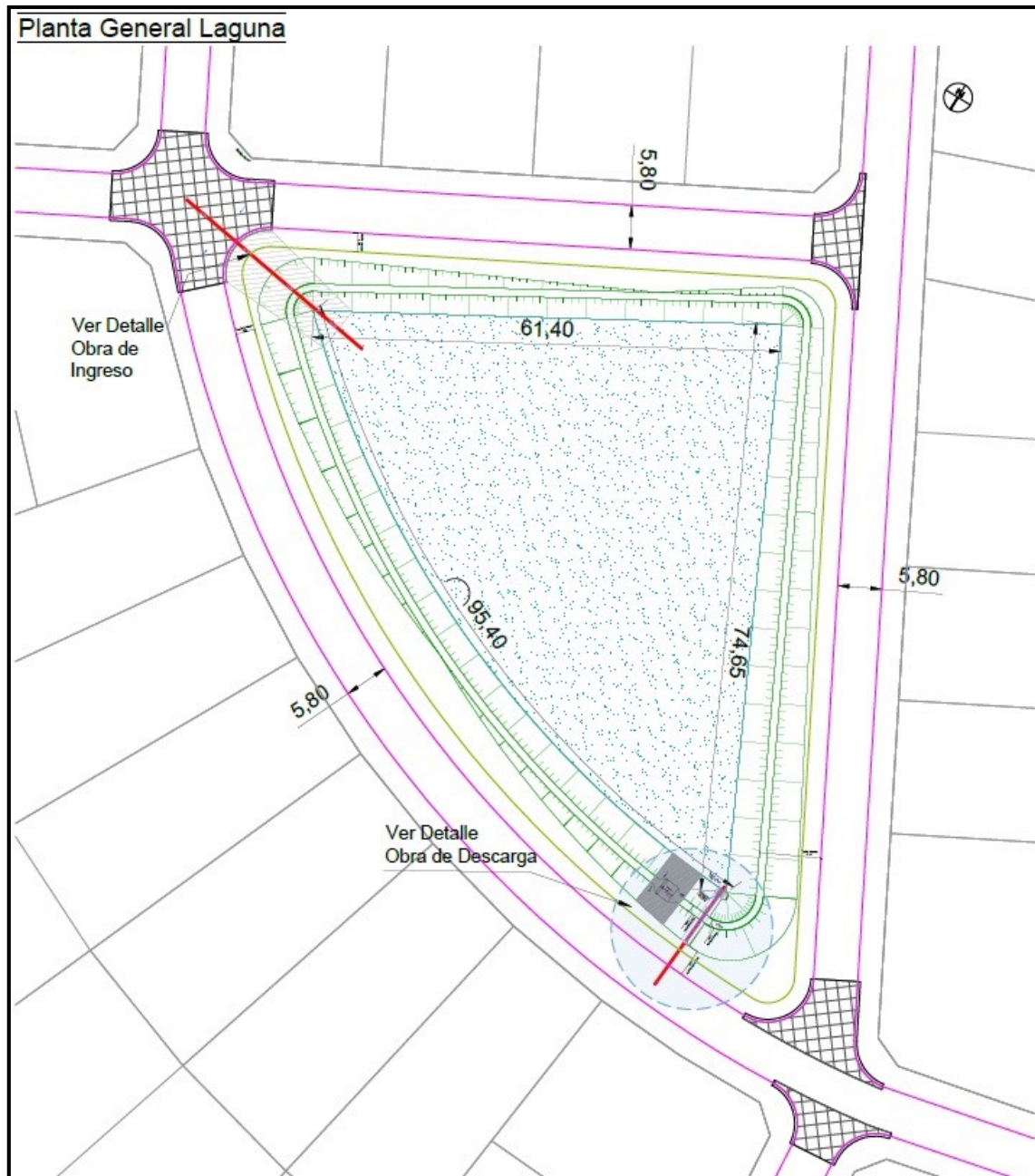


Figura 7.2. Planta General – Laguna de Regulación 12. Fuente: Elaboración propia.

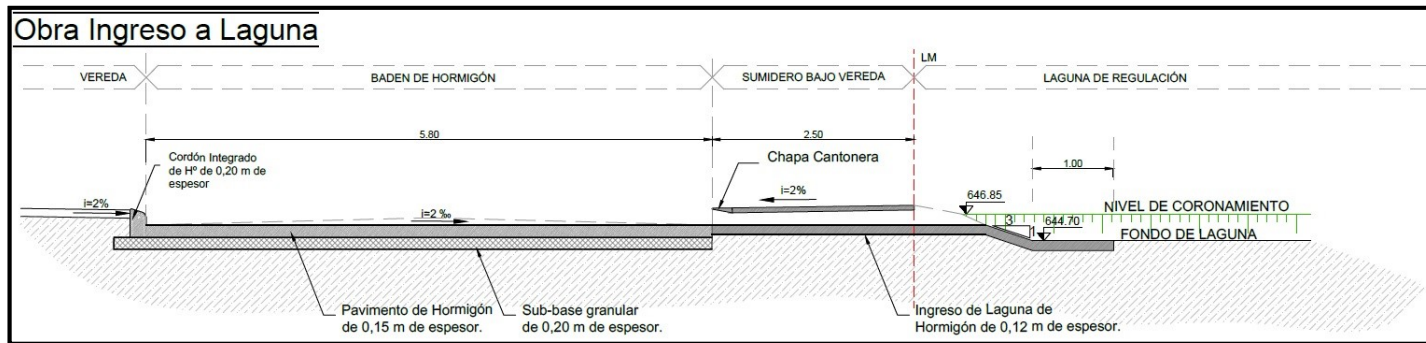


Figura 7.3. Obra de Ingreso – Laguna de Regulación 12. Fuente: Elaboración propia.

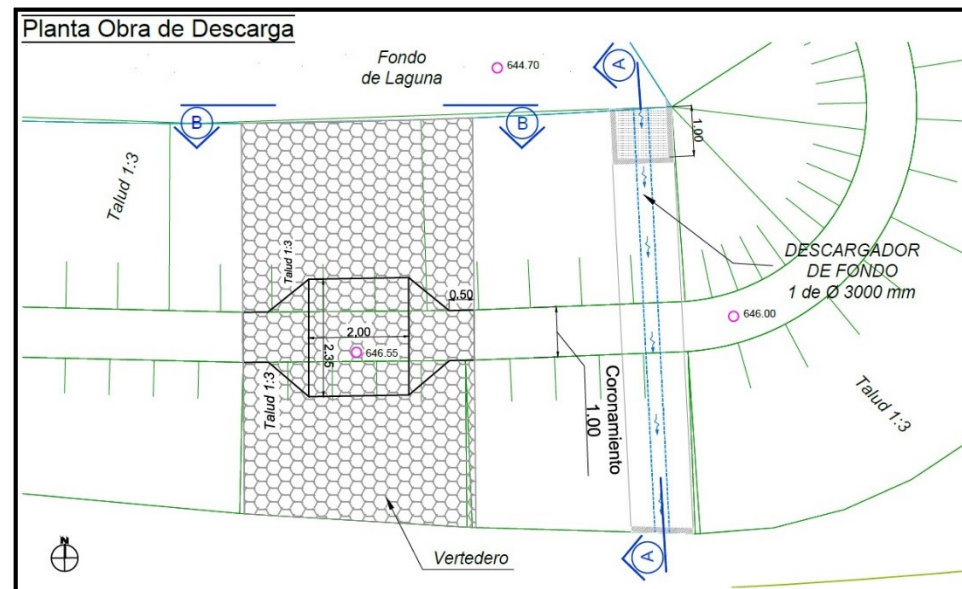


Figura 7.4. Planta Obra de Descarga – Laguna de Regulación 12. Fuente: Elaboración propia.

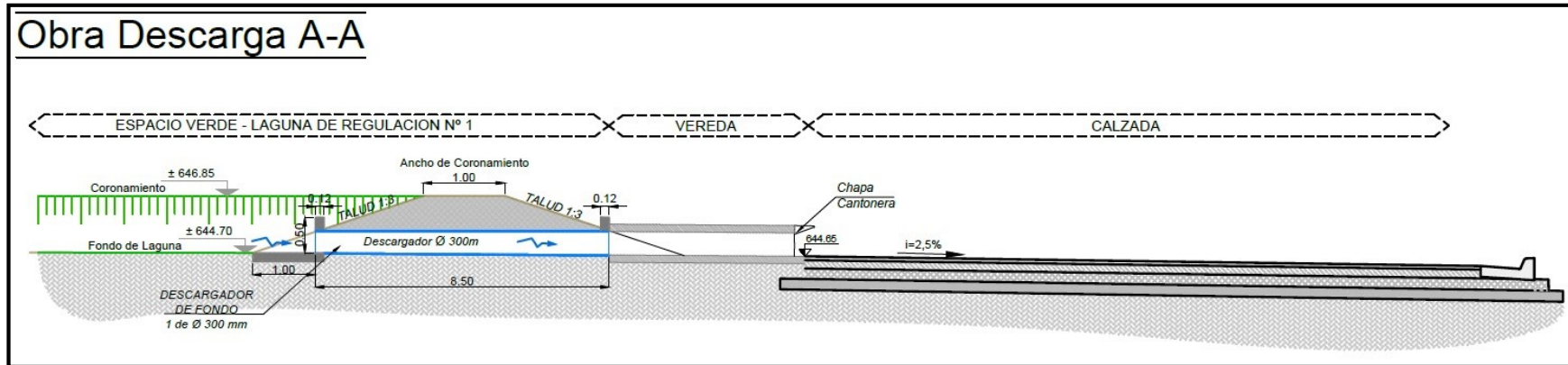


Figura 7.5. Obra de Descarga, Corte A-A. – Laguna de Regulación 12. Fuente: Elaboración propia.

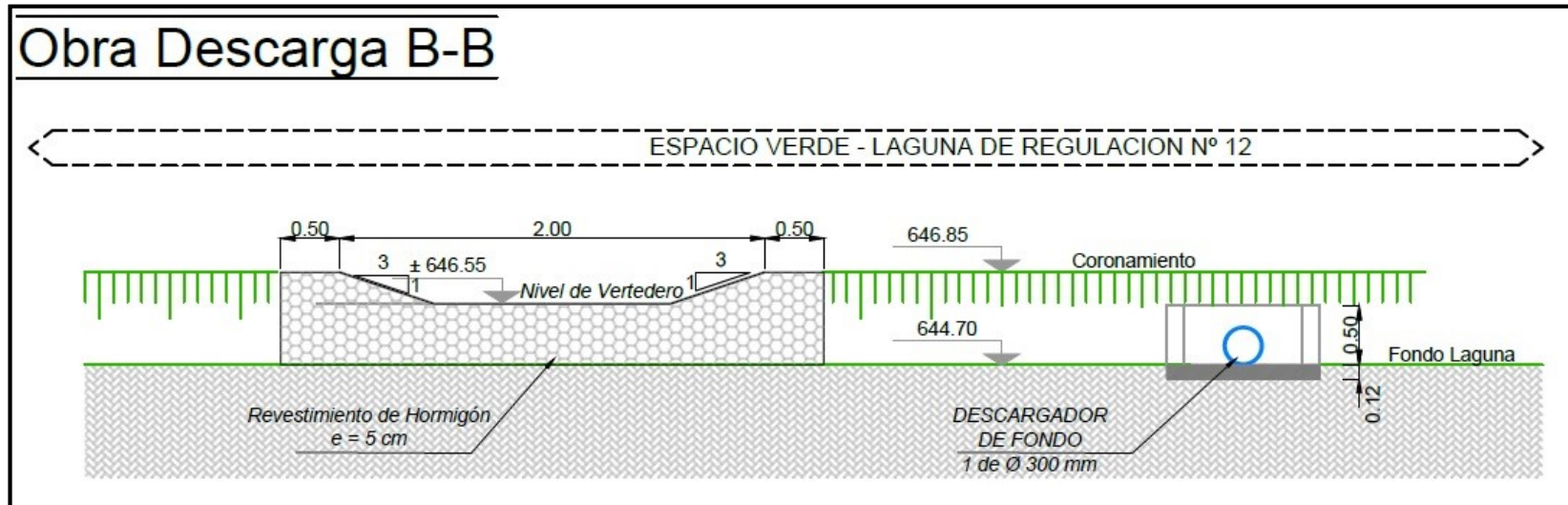


Figura 7.6. Obra de Descarga, Corte B-B. – Laguna de Regulación 12. Fuente: Elaboración propia.

## 7.2. APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

Se realizó la modelación hidrológica del *Escenario Futuro Regulado*, es decir, considerando las subcuencas internas del loteo con sus correspondientes parámetros físicos determinados para el escenario futuro, pero, agregando en la modelación de la Situación Futura, las obras de regulación de excedentes proyectadas en funcionamiento. Esta modelación, también fue realizada con el ya mencionado software HEC-HMS.

El esquema de modelación de la Situación Futura Regulada, se puede observar en la Figura 7.7. Se puede apreciar la incorporación de los 12 microembalses del sistema regulación, el cual permite controlar los excedentes de escurrimiento pluviales generados y evacuar caudales picos inferiores a los obtenidos en la Situación Futura, de manera tal de restituir o disminuir los escurrimientos que tienen lugar con el estado actual del terreno. Esta última condición, es muy difícil de lograr en una única modelación, por lo que, para encontrar la solución óptima, en primera instancia, se propusieron volúmenes de lagunas aproximados para luego ir ajustando la solución a través de un proceso iterativo, de manera de no sub regular los escurrimientos generados (lagunas con un volumen inferior al necesario) y tampoco producir una sobre regulación de dichos escurrimientos (lagunas con volúmenes excesivos).

La metodología adoptada para la simplificación del proceso iterativo, fue ir incorporando las lagunas a la modelación desde las que se encuentran aguas arriba hacia las que se encuentran aguas abajo, de manera que, una vez encontrada la solución exacta para las primeras, cualquier tipo de modificaciones que se generen en las que se encuentran aguas abajo, no afectarán ni modificarán el correcto diseño ya adoptado para las que se encuentran aguas arriba.

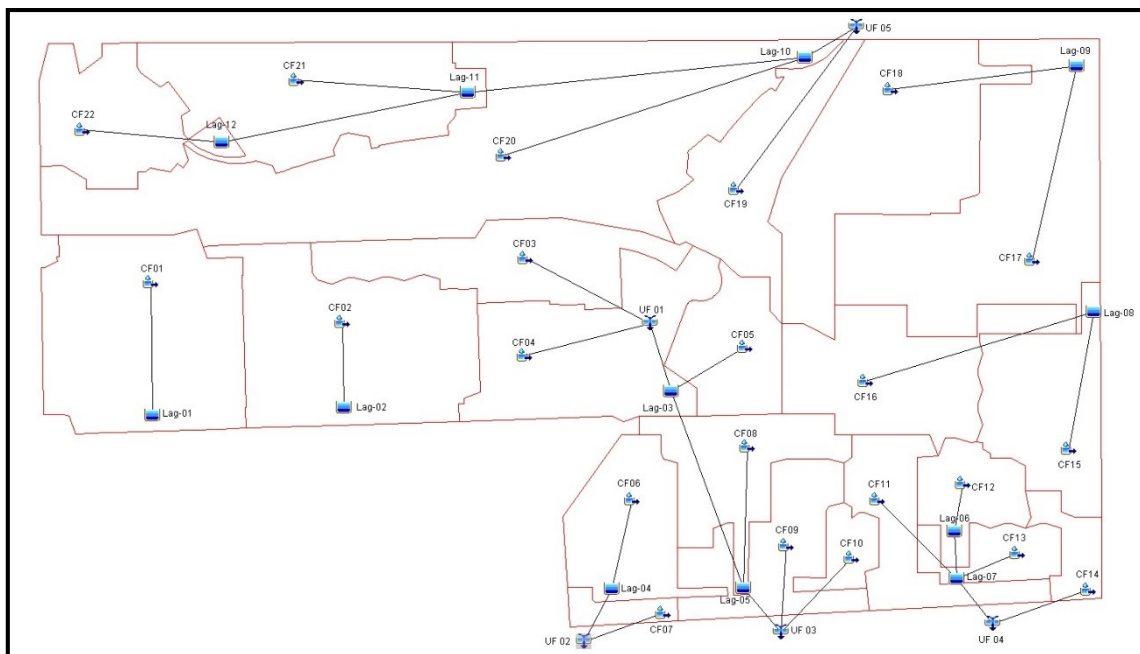


Figura 7.7. Esquema de Modelación Situación Futura Regulada, Modelo HEC-HMS.  
Fuente: Elaboración propia.



### 7.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de la modelación de las lagunas (reservorios, como los llama HEC-HMS) con sus respectivos tamaños definitivos, se realizó el análisis de los resultados obtenidos, los cuáles pueden observarse en la tabla que se presenta a continuación, la cuál resume para cada uno de los elementos del modelo, los caudales y volúmenes generados para recurrencias de 5, 10, 25 y 100 años y duración de lluvia de 120 minutos, para la Situación Futura Regulada. Nuevamente se aclara que los elementos; y sus correspondientes valores de caudal y volumen; marcados en negrita, serán utilizados para nuevas comparaciones, más adelante.

Tabla 7.1. Caudales y Volúmenes obtenidos en Escenario Futuro Regulado.  
Fuente: Elaboración propia.

Elemento	ESCENARIO FUTURO REGULADO							
	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)
CF01	0.791	2.670	1.038	3.495	1.444	4.871	2.277	7.724
CF02	0.799	2.729	1.041	3.544	1.438	4.895	2.243	7.678
CF03	0.456	1.510	0.590	1.961	0.816	2.709	1.320	4.248
CF04	0.473	1.584	0.638	2.127	0.916	3.049	1.491	5.002
CF05	0.098	0.303	0.149	0.460	0.239	0.747	0.456	1.410
CF06	0.339	1.106	0.443	1.447	0.634	2.017	1.030	3.198
CF07	0.071	0.218	0.093	0.283	0.130	0.392	0.205	0.614
CF08	0.592	1.963	0.759	2.529	1.054	3.464	1.679	5.375
CF09	0.172	0.491	0.222	0.638	0.305	0.881	0.486	1.382
CF10	0.138	0.389	0.176	0.501	0.250	0.686	0.405	1.064
CF11	0.276	0.913	0.359	1.177	0.503	1.612	0.796	2.501
CF12	0.239	0.663	0.309	0.868	0.435	1.210	0.729	1.919
CF13	0.156	0.459	0.206	0.601	0.288	0.838	0.454	1.328
CF14	0.202	0.564	0.259	0.732	0.370	1.012	0.608	1.587
CF15	0.378	1.242	0.491	1.625	0.695	2.265	1.133	3.591
CF16	0.640	2.160	0.840	2.827	1.168	3.941	1.842	6.248
CF17	0.910	3.166	1.189	4.111	1.649	5.678	2.583	8.906
CF18	0.764	2.711	1.000	3.520	1.390	4.863	2.184	7.627
CF19	0.411	1.350	0.540	1.781	0.761	2.505	1.261	4.016
CF20	1.708	6.646	2.195	8.564	3.011	11.729	4.770	18.201
CF21	0.742	2.526	0.957	3.255	1.309	4.458	2.016	6.919
CF22	0.407	1.346	0.526	1.748	0.728	2.415	1.177	3.788
<b>Lag-01</b>	<b>0.632</b>	<b>2.670</b>	<b>0.805</b>	<b>3.481</b>	<b>1.068</b>	<b>4.856</b>	<b>1.557</b>	<b>7.702</b>
<b>Lag-02</b>	<b>0.333</b>	<b>2.715</b>	<b>0.389</b>	<b>3.529</b>	<b>0.471</b>	<b>4.885</b>	<b>1.138</b>	<b>7.708</b>
Lag-03	0.331	3.390	0.388	4.539	0.473	6.492	0.784	10.650
Lag-04	0.262	1.102	0.333	1.446	0.465	2.007	0.731	3.192
Lag-05	0.675	5.350	0.847	7.066	1.076	9.950	1.439	16.002
Lag-06	0.051	0.656	0.066	0.861	0.087	1.202	0.115	1.909
Lag-07	0.349	2.018	0.414	2.628	0.607	3.641	1.183	5.783
<b>Lag-08</b>	<b>0.516</b>	<b>3.393</b>	<b>0.606</b>	<b>4.438</b>	<b>0.764</b>	<b>6.194</b>	<b>2.508</b>	<b>10.048</b>
<b>Lag-09</b>	<b>1.028</b>	<b>5.851</b>	<b>1.280</b>	<b>7.591</b>	<b>1.598</b>	<b>10.529</b>	<b>2.179</b>	<b>16.502</b>
Lag-10	0.868	10.360	1.165	13.394	1.499	18.386	3.606	28.831
Lag-11	0.224	3.863	0.261	4.994	0.312	6.861	0.953	10.714
Lag-12	0.109	1.341	0.125	1.745	0.148	2.410	0.186	3.783
UF 01	0.929	3.094	1.228	4.088	1.724	5.758	2.793	9.250
<b>UF 02</b>	<b>0.313</b>	<b>1.320</b>	<b>0.398</b>	<b>1.729</b>	<b>0.550</b>	<b>2.399</b>	<b>0.857</b>	<b>3.806</b>
<b>UF 03</b>	<b>0.812</b>	<b>6.229</b>	<b>1.034</b>	<b>8.204</b>	<b>1.353</b>	<b>11.517</b>	<b>1.888</b>	<b>18.449</b>
<b>UF 04</b>	<b>0.485</b>	<b>2.582</b>	<b>0.584</b>	<b>3.361</b>	<b>0.783</b>	<b>4.653</b>	<b>1.569</b>	<b>7.370</b>
<b>UF 05</b>	<b>0.965</b>	<b>11.710</b>	<b>1.309</b>	<b>15.175</b>	<b>1.723</b>	<b>20.891</b>	<b>4.056</b>	<b>32.847</b>

Para poder determinar si las lagunas propuestas en esta modelación, logran restituir los caudales que escurren naturalmente en la Situación actual, se proyectan los valores obtenidos en la tabla precedente (Tabla 7.1) de la Situación Futura Regulada, a una tabla comparativa (Tabla 7.2) entre ésta y la Situación Actual.

Tabla 7.2. Diferencia de Caudales y Volúmenes entre Situación Actual y Futura Regulada. Fuente: Elaboración propia.

DIFERENCIA = ESCENARIO FUTURO REGULADO - ESCENARIO ACTUAL (EFR - EA)									
Descarga	Elemento	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
		Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)	Q (m3/s)	V (1000 m3)
PUNTO 1	CA 01	0.052	0.157	0.079	0.239	0.125	0.388	0.247	0.732
	CA 02	0.386	1.490	0.586	2.224	0.943	3.557	1.742	6.602
	EA	<b>0.438</b>	<b>1.647</b>	<b>0.665</b>	<b>2.463</b>	<b>1.068</b>	<b>3.945</b>	<b>1.989</b>	<b>7.334</b>
	LAG-01	0.632	2.670	0.805	3.481	1.068	4.856	1.557	7.702
	EFR	<b>0.632</b>	<b>2.670</b>	<b>0.805</b>	<b>3.481</b>	<b>1.068</b>	<b>4.856</b>	<b>1.557</b>	<b>7.702</b>
	EFR-EA	<b>0.194</b>	<b>1.023</b>	<b>0.140</b>	<b>1.018</b>	<b>0.000</b>	<b>0.911</b>	<b>-0.432</b>	<b>0.368</b>
PUNTO 2	CA 03	0.192	0.664	0.288	1.008	0.471	1.637	0.912	3.091
	EA	<b>0.192</b>	<b>0.664</b>	<b>0.288</b>	<b>1.008</b>	<b>0.471</b>	<b>1.637</b>	<b>0.912</b>	<b>3.091</b>
	LAG-02	0.333	2.715	0.389	3.529	0.471	4.885	1.138	7.708
	EFR	<b>0.333</b>	<b>2.715</b>	<b>0.389</b>	<b>3.529</b>	<b>0.471</b>	<b>4.885</b>	<b>1.138</b>	<b>7.708</b>
	EFR-EA	<b>0.141</b>	<b>2.051</b>	<b>0.101</b>	<b>2.521</b>	<b>0.000</b>	<b>3.248</b>	<b>0.226</b>	<b>4.617</b>
PUNTO 3	CA 04	0.224	0.775	0.337	1.176	0.550	1.910	1.064	3.606
	EA	<b>0.224</b>	<b>0.775</b>	<b>0.337</b>	<b>1.176</b>	<b>0.550</b>	<b>1.910</b>	<b>1.064</b>	<b>3.606</b>
	U 02	0.313	1.320	0.398	1.729	0.550	2.399	0.857	3.806
	EFR	<b>0.313</b>	<b>1.320</b>	<b>0.398</b>	<b>1.729</b>	<b>0.550</b>	<b>2.399</b>	<b>0.913</b>	<b>3.816</b>
	EFR-EA	<b>0.089</b>	<b>0.545</b>	<b>0.061</b>	<b>0.553</b>	<b>0.000</b>	<b>0.489</b>	<b>-0.151</b>	<b>0.210</b>
PUNTO 4	CA 05	0.552	2.255	0.836	3.421	1.353	5.559	2.617	10.492
	EA	<b>0.552</b>	<b>2.255</b>	<b>0.836</b>	<b>3.421</b>	<b>1.353</b>	<b>5.559</b>	<b>2.617</b>	<b>10.492</b>
	U 03	0.812	6.229	1.034	8.204	1.353	11.517	1.888	18.449
	EFR	<b>0.812</b>	<b>6.229</b>	<b>1.034</b>	<b>8.204</b>	<b>1.353</b>	<b>11.517</b>	<b>2.077</b>	<b>18.468</b>
	EFR-EA	<b>0.260</b>	<b>3.974</b>	<b>0.198</b>	<b>4.783</b>	<b>0.000</b>	<b>5.958</b>	<b>-0.540</b>	<b>7.976</b>
PUNTO 5	CA 10	0.332	0.988	0.478	1.453	0.783	2.289	1.459	4.181
	EA	<b>0.332</b>	<b>0.988</b>	<b>0.478</b>	<b>1.453</b>	<b>0.783</b>	<b>2.289</b>	<b>1.459</b>	<b>4.181</b>
	U 04	0.485	2.582	0.584	3.361	0.783	4.653	1.569	7.370
	EFR	<b>0.485</b>	<b>2.582</b>	<b>0.584</b>	<b>3.361</b>	<b>0.783</b>	<b>4.653</b>	<b>1.569</b>	<b>7.370</b>
	EFR-EA	<b>0.153</b>	<b>1.594</b>	<b>0.106</b>	<b>1.908</b>	<b>0.000</b>	<b>2.364</b>	<b>0.110</b>	<b>3.189</b>
PUNTO 6	CA 09	0.336	1.194	0.491	1.756	0.764	2.767	1.444	5.054
	EA	<b>0.336</b>	<b>1.194</b>	<b>0.491</b>	<b>1.756</b>	<b>0.764</b>	<b>2.767</b>	<b>1.444</b>	<b>5.054</b>
	LAG-08	0.516	3.393	0.606	4.438	0.764	6.194	2.508	10.048
	EFR	<b>0.516</b>	<b>3.393</b>	<b>0.606</b>	<b>4.438</b>	<b>0.764</b>	<b>6.194</b>	<b>2.508</b>	<b>10.048</b>
	EFR-EA	<b>0.180</b>	<b>2.199</b>	<b>0.115</b>	<b>2.682</b>	<b>0.000</b>	<b>3.427</b>	<b>1.064</b>	<b>4.994</b>
PUNTO 7	CA 07	0.399	1.574	0.608	2.349	0.984	3.757	1.828	6.973
	CA 08	0.262	0.910	0.379	1.338	0.614	2.108	1.141	3.850
	EA	<b>0.661</b>	<b>2.484</b>	<b>0.987</b>	<b>3.687</b>	<b>1.598</b>	<b>5.865</b>	<b>2.969</b>	<b>10.823</b>
	LAG-09	1.028	5.851	1.280	7.591	1.598	10.529	2.179	16.502
	EFR	<b>1.028</b>	<b>5.851</b>	<b>1.280</b>	<b>7.591</b>	<b>1.598</b>	<b>10.529</b>	<b>2.179</b>	<b>16.502</b>
	EFR-EA	<b>0.367</b>	<b>3.367</b>	<b>0.293</b>	<b>3.904</b>	<b>0.000</b>	<b>4.664</b>	<b>-0.790</b>	<b>5.679</b>
PUNTO 8	CA 06	0.662	2.975	1.029	4.594	1.723	7.592	3.320	14.587
	EA	<b>0.662</b>	<b>2.975</b>	<b>1.029</b>	<b>4.594</b>	<b>1.723</b>	<b>7.592</b>	<b>3.320</b>	<b>14.587</b>
	U 05	0.965	11.710	1.309	15.175	1.723	20.891	4.056	32.847
	EFR	<b>0.965</b>	<b>11.710</b>	<b>1.309</b>	<b>15.175</b>	<b>1.723</b>	<b>20.891</b>	<b>4.056</b>	<b>32.847</b>
	EFR-EA	<b>0.303</b>	<b>8.735</b>	<b>0.280</b>	<b>10.581</b>	<b>0.000</b>	<b>13.299</b>	<b>0.736</b>	<b>18.260</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1.687</b>		<b>1.294</b>		<b>0.000</b>		<b>0.223</b>	

Como se puede apreciar en en la Tabla 7.2 precedente, existen elementos de salida del sistema que sólo presentan diferencias positivas (marcados en rojo), las cuales indican que no se logra regular los excedentes pluviales generados en su totalidad, mientras que, por otro lado, se presentan ciertos elementos para los cuales las diferencias son nulas y/o negativas (marcados en verde), es decir, que se están regulando de manera eficiente los excedentes pluviales, restituyendo los escurrimientos del Escenario Actual.

Si se analizan los resultados, considerando la totalidad de los excedentes generados en el loteo, se puede afirmar rápidamente que, con las obras de regulación propuestas y para una recurrencia de 25 años (tiempo de recurrencia de diseño adoptado para dichas obras) los caudales en un escenario futuro, serán exactamente iguales a los que ocurren en la actualidad;

situación muy parecida a la que se presentará para una recurrencia de 100 años, en donde los caudales futuros son prácticamente equivalentes a los de la situación actual, presentando insignificantes diferencias.


Ahora bien, para recurrencias de 5 y 10 años, se evidencia claramente que no se lograrán descargar caudales inferiores a los descargados actualmente, sino que, por el contrario, se descargarán caudales un poco mayores en comparación con los actuales. Esta afirmación, puede darse en función de una comparación directa entre las situaciones analizadas en este apartado (Futura Regulada y Actual), pero si profundizamos un poco más el análisis, e incorporamos la Situación Futura a dicha comparación, veremos que los caudales que se generan en la Situación Futura Regulada son bastante inferiores a los que se generarían en un hipotético escenario futuro sin ningún tipo de regulación.

Como se podrá observar a continuación, en la Tabla 7.3, para 25 y 100 años de recurrencia, los porcentajes de regulación de escurrimientos superficiales en una Situación Regulada (EFR-EA) frente a una Situación Sin Regulación (EF-EA) son del orden del 100%, es decir, ideales. No es tan así para recurrencias de 5 y 10 años como se dijo anteriormente, pero se deja en evidencia que, alrededor del 80% de los caudales que se generarían sin regulación, son regulados a partir de las obras planteadas, justificando así su diseño e implementación.

Tabla 7.3. Comparación Situación No Regulada y Regulada.  
Fuente: Elaboración propia.

<b>COMPARACIÓN EF-EA y EFR-EA</b>				
<b>DIF.</b>	<b>TR 5</b>	<b>TR 10</b>	<b>TR 25</b>	<b>TR 100</b>
	<b>Q</b>	<b>Q</b>	<b>Q</b>	<b>Q</b>
	<b>(m3/s)</b>	<b>(m3/s)</b>	<b>(m3/s)</b>	<b>(m3/s)</b>
<b>EF-EA</b>	6.729	8.827	11.115	15.06
<b>EFR-EA</b>	1.687	1.294	0.000	0.223
<b>%REGULACIÓN</b>	<b>74.93</b>	<b>85.34</b>	<b>100.00</b>	<b>98.52</b>

De esta forma se puede concluir que el sistema de drenaje planteado permite la regulación de los excedentes de manera exacta para el período de recurrencia de diseño adoptado y, verifica de manera eficiente para una recurrencia de la tormenta de diseño de 100 años, presentando menores porcentajes de regulación para recurrencias de 5 y 10 años. En forma general, podría decirse que se logró cumplir con el criterio de diseño del sistema, mencionado anteriormente.



# ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO DE LAGUNAS DE RETARDO PARA LOTEO “VALLECITO”

---

## **CONCLUSIONES**



## CAPÍTULO 8

## 8. CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

Luego de un extenso análisis de todos los datos disponibles, de la comprensión general de la problemática planteada, la búsqueda de la solución integral a dicha situación y en función de todos los objetivos planteados en el capítulo introductorio al presente informe, se presentan, a continuación, las conclusiones que se obtuvieron sobre el proyecto en cuestión.


Afortunadamente, en los últimos años, y cada vez con mayor fuerza, se está tomando real dimensión de la problemática ambiental que está sufriendo nuestro planeta. Bajo esta perspectiva, es de vital importancia que todas y cada una de las obras que son proyectadas por la Ingeniería Civil, satisfaga las necesidades por las cuales tienen origen, pero también, que logren tener el menor impacto negativo posible en el medio ambiente.

Como ya se mencionó en el desarrollo del presente informe, todo proyecto de urbanización trae aparejado un aumento en los volúmenes de escurrimientos pluviales, observándose mayores caudales picos, además de una reducción del tiempo para el cual se dan dichos picos, como consecuencia de la impermeabilización del suelo por pasar de tener un uso rural a un uso residencial.

En función de dicho aumento de excedentes pluviales, en el presente estudio, se proyecta una serie de obras de regulación, materializadas a través de Lagunas de Retardo/Regulación, las cuales almacenarán dichos excedentes pluviales y permitirán restituir la situación actual o natural de escurrimientos, una vez consolidada la urbanización.

Se puede concluir, entonces, que el sistema de drenaje fue proyectado con suma eficiencia, permitiendo regular el aumento de los volúmenes de escurrimientos y mitigando los efectos negativos que estos puedan provocar, tanto al medio ambiente como a terceros, aguas debajo del loteo.

Finalmente, es importante mencionar que se han cumplido de manera satisfactoria todos los objetivos técnicos y personales planteados. Considero de manera fundamental, que se le debe dar un gran valor al aprendizaje obtenido en cuanto a las formas de desenvolverse con eficacia, responsabilidad y fluidez, dentro de un ámbito laboral comprendido por un grupo de profesionales ligados a la Ingeniería Civil, sin dejar de lado la amplia incorporación e integración de nuevos conocimientos.



ESTUDIO HIDROLÓGICO  
Y DISEÑO DE LAGUNAS  
DE RETARDO PARA  
LOTEO “VALLECITO”

---

**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Córdoba D.A.C.yT. S.E.M. (Dirección de Ambiente) – INTA, 2003. *Los Suelos, Nivel de Reconocimiento 1: 500.000*.

Bertoni J. C. (2004): *Material de capacitación del Curso sobre Gestión de Inundaciones en Áreas Urbanas*. GWP-SAMTAC.

Caamaño Nelli G. et. al. (1993): *Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba*. INCYTH. CIHRSA. CONICET. SMN. DPH. CONICOR.

Caamaño Nelli G. y Dasso C. M. (2003): *Lluvias de diseño; Conceptos, técnicas y experiencias*. Ed. Científica Universitaria, Córdoba.

Catalini C. G. y Caamaño Nelli G. (2001): *Estructura Espacial a Escala de Cuenca*. Apuntes de Clases de la materia Síntesis de Lluvia para Diseño Hidrológico. Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos. FCEFyN. UN de Córdoba.

Chow V. T. (1994): *Hidráulica de Canales Abiertos*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá. Colombia.

Chow V. T., Maidment D. R. y Mays L. W. (1994): *Hidrología Aplicada*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá. Colombia.

García C. M. (2000): *Lámina de lluvia puntual para diseño hidrológico*. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos. FCEFyN - UNC de Córdoba.

Hydrologic Engineering Center (2009): HEC-HMS (versión 4.3). *Flood Hydrograph Package*. User Manual. US Army Corps of Engineers.

Tucci C.E.M. (1994): *Enchentes Urbanas no Brasil*. Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12/Nº 1, 117-136.

Tucci C.E.M. (2006): *Gestão de inundações urbanas*. Porto Alegre, UNESCO-PHI.

Tucci C.E.M. (ed.) (1993): *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.

UNESCO (1987): *Manual on drainage in urbanizing areas*. Vol. I. Planning and design of drainage systems. Studies and reports in hydrology. Nº 43.