

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

PRÁCTICA SUPERVISADA

***ESTUDIO HIDROLÓGICO E
HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"***

AUTOR: MUSTÉ LUCAS

TUTOR: ING. CORRAL, MARIANO A.

SUPERVISOR: ING. FELIPPA MARCOS E.

AÑO 2019

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres, Marcelo y Juliana por el apoyo incondicional, el amor y cariño que me brindan día a día y por el esfuerzo que han hecho para que pueda estudiar esta carrera.

A mis abuelos, Alberto y Emilio, por darme consejos de vida y de ingeniería los cuales me sirvieron para formarme como persona y para nunca bajar los brazos.

A mis abuelas, Teresita y Cecilia, por el amor y el apoyo incondicional durante toda la carrera.

A Juan y Martina, mis hermanos, por el apoyo de siempre y por aguantar mi mal humor cuando el camino se hacía cuesta arriba.

A Milena, mi compañera de vida, por el amor, la compañía y el apoyo durante toda la carrera.

Al resto de mi familia, por los consejos y el apoyo a lo largo de estos años y por entender mi ausencia en algunas reuniones familiares a causa del estudio.

A mis amigos y compañeros de facultad por la compañía y los buenos momentos vividos durante estos años

A mi tutor externo, Mariano Corral y a mi tutor interno Marcos Felippa, por ayudarme, enseñarme y aconsejarme todos los días durante el desarrollo de esta práctica supervisada.

A Gustavo y Franco Vanoli y todo el grupo de Vanoli & Asociados Ingeniería S.R.L. por brindarme la oportunidad de realizar esta práctica supervisada y tener esta grata experiencia laboral.

A todos, infinitamente gracias.

NOMBRE: Lucas Musté

PLAN: 2005

MATRICULA: 37333328

TITULO DEL TRABAJO: "Estudio hidrológico e hidráulico para el Complejo Saint Jordi"

AÑO LECTIVO: 2019

TUTOR EXTERNO: Ing. Corral Mariano A.

TUTOR INTERNO: Ing. Felippa Marcos Ezequiel

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO FINAL

El complejo "Saint Jordi" es un emprendimiento inmobiliario destinado a la construcción de viviendas colectivas en altura el cual se emplazará en la zona sur del barrio Villa Belgrano de la Ciudad de Córdoba.

El lote del emprendimiento comprende una superficie de 1ha, en el cual se prevé la construcción de tres torres residenciales de 5 pisos de altura cada una junto con una cochera a nivel de subsuelo, ocupando en su conjunto una superficie de 0,45ha, en tanto que la superficie restante se divide en diversos sectores de: Espacios Verdes, Sector de Pileta, Espacios Recreativos, etc.

El impacto que genera el cambio en el uso del suelo en el terreno donde se proyecta el complejo de vivienda, implica un aumento en el caudal y el volumen de excedentes pluviales que escurren superficialmente. Esto ocurre como consecuencia de la impermeabilización del suelo que tiene lugar al momento de la construcción del complejo.

Según lo expuesto anteriormente y con el objetivo de atenuar los efectos que generaría el aumento de las escorrentías aguas abajo del emprendimiento, se proyecta un adecuado sistema de manejo y regulación de excedentes pluviales. Así se busca restituir el funcionamiento actual (estado natural) de dichos escurrimientos.

Por lo tanto, en este contexto, se desarrolla el estudio hidrológico de la zona de estudio, donde se emplaza el complejo residencial. Dicho esto, el diseño del Proyecto de Drenaje estará basado en la modelación hidrológica de las cuencas de aporte en dos escenarios o situaciones; por un lado, se plantea el *Escenario Actual*, es decir el medio natural, sin haber recibido intervención antrópica alguna, y por otro lado el *Escenario Futuro*, el cual se presentará una vez finalizado el emprendimiento inmobiliario. De la comparación de los resultados obtenidos en ambas simulaciones, surge entonces el diseño del sistema de conducción y regulación de excesos pluviales que componen el sistema de drenaje. Una vez diseñado dicho sistema se hará la modelación del *Escenario Regulado*, el cual permitirá la evaluación del comportamiento de sistema de regulación, como parte de la solución propuesta ante el problema de los volúmenes hídricos excedentes.

ÍDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA | 2 |
| 1.2 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES..... | 2 |
| 1.3.1 Objetivos Técnicos..... | 2 |
| 1.3.2 Objetivos Personales | 3 |
| 1.4 METODOLOGÍA..... | 3 |
| 1.4.1 Etapa Preliminar | 3 |
| 1.4.2 Estudio Hidrológico | 4 |
| 1.4.3 Proyecto de Obras de Drenaje..... | 4 |
| 1.4.4 Elaboración de Documentación | 4 |
| CAPÍTULO 2: ETAPA PRELIMINAR | 6 |
| 2.1 GENERALIDADES..... | 7 |
| 2.2 TAREAS DE CAMPO | 7 |
| 2.3 TAREAS DE GABINETE | 13 |
| CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 14 |
| 3.1 UBICACIÓN | 15 |
| 3.2 MEDIO NATURAL..... | 16 |
| 3.2.1 Suelos..... | 16 |
| 3.2.2 Clima | 18 |
| CAPÍTULO 4: IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELO | 23 |
| 4.1 GENERALIDADES..... | 24 |
| 4.2 IMPACTO POR DESMONTE. | 24 |
| 4.3 IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN | 25 |
| 4.4 INUNDACIONES URBANAS..... | 28 |
| 4.4.1 Generalidades | 28 |
| 4.4.2 Tipo de Inundaciones..... | 29 |
| 4.4.3 Medidas para la reducción del riesgo de inundaciones urbanas | 30 |
| 4.4.4 Macrodrenaje y Microdrenaje..... | 33 |
| CAPÍTULO 5: COMPLETO "SAINT JORDI" | 35 |
| 5.1 GENERALIDADES..... | 36 |
| CAPÍTULO 6: ESTUDIO HIDROLÓGICO | 38 |
| 6.1 GENERALIDADES..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 6.2 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE APORTE..... | 39 |
| 6.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS. | 42 |
| 6.3.1 Área de Drenaje..... | 43 |
| 6.3.2 Pendiente del Cauce Principal | 43 |
| 6.3.3 Longitud de la Cuenca | 43 |
| 6.4 TORMENTA DE DISEÑO..... | 44 |
| 6.4.1 Periodo de Retorno (TR)..... | 46 |
| 6.4.2 Duración (d) | 47 |
| 6.4.3 Lámina Total Precipitada | 50 |
| 6.4.4 Distribución Temporal | 51 |
| 6.4.5 Distribución Espacial..... | 52 |
| 6.4.6 Lámina Efectiva o Lluvia Neta. Pérdidas..... | 52 |
| 6.5 DETERMINACIÓN DE CAUDALES | 59 |
| 6.5.1 Transformación Lluvia-Caudal | 59 |
| 6.5.2 Modelo Empleada (EPA SWMM v5.0) | 59 |
| 6.5.3 Aplicación del Modelo Hidrológico | 68 |
| CAPÍTULO 7: PROYECTO DE DRENAJE..... | 76 |
| 7.1 GENERALIDADES..... | 77 |
| 7.2 APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO | 77 |
| 7.2.1 Obras proyectadas..... | 84 |
| 7.2.2 Análisis de los Resultados | 85 |
| 7.2.3 Verificación de las funciones básicas y complementarias para el sistema de drenaje | 90 |
| CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES..... | 94 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 6.1. Parámetros Físicos de la cuenca | 44 |
| Tabla 6.2. Velocidad promedio aproximada en ft ³ /m. (Fuente: "Hidrología Aplicada, V. T. Chow, 1994) | 48 |
| Tabla 6.3. Tiempos de Concentración (en minutos) según fórmulas..... | 49 |
| Tabla 6.4. Tiempos de Concentración y Retardo de la cuenca en estudio | 49 |
| Tabla 6.5. Intensidad (i) y Lámina Precipitada para diferentes recurrencias.Zona Centro. | 51 |
| Tabla 6.6.a Tipos de suelo según el método de abstracciones de lluvia del SCS (Fuente: Manual de Usuario SWMM) | 54 |
| Tabla 6.6.b. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS. (Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T. Chow, 1994.) | 55 |
| Tabla 6.7. Números de curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana. (Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T.º Chow, 1994.)..... | 57 |
| Tabla 6.8. Valores de CN según cada escenario | 58 |
| Tabla 6.9. Caudales Situacion Actual para la cuenca única bajo análisis..... | 72 |
| Tabla 6.10. Valores de áreas permeables e impermeables del proyecto inmobiliario..... | 74 |
| Tabla 6.11. Caudales Situación Futura sin Obras de Regulacion para la cuenca única bajo análisis | 74 |
| Tabla 7.1. Caudales Situación Futura Regulada para la cuenca única bajo análisis | 85 |
| Tabla 7.2 Diferencia de Caudales entre Escenario Actual y Regulado..... | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Pendiente general del terreno en estudio y vegetación existente..... | 10 |
| Figura 2.2. Vegetación existente en el terreno en estudio..... | 9 |
| Figura 2.3. Fotografía del ingreso al terreno en estudio | 9 |
| Figura 2.4. Calle sobre la que se encuentra el terreno, futura a pavimentarse (Enrique Cavendish). | 10 |
| Figura 2.5. Sección del terreno en donde ira el conducto de descarga hacia la vía pública (Enrique Cavendish). | 11 |
| Figura 2.6. Sentido de escurrimiento en las calles aledañas al lote en estudio.. | 12 |
| Figura 3.1. Ubicación del sector de estudio dentro del Departamento Capital, Provincia de Córdoba..... | 15 |
| Figura 3.2. Ubicación del sector de estudio dentro del Barrio Villa Belgrano, Provincia de Córdoba. Imagen Satelital Google Earth..... | 15 |
| Figura 3.3. Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba..... | 17 |
| Figura 3.4. Temperaturas Medias de Enero (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003) | 19 |
| Figura 3.5. Temperaturas Medias de Julio (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003) | 20 |
| Figura 3.6. Amplitud Térmica Anual (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003) | 21 |
| Figura 3.7. Climograma de la Ciudad de Córdoba. (Fuente: Climate-data) | 22 |
| Figura 3.8. Diagrama de Temperaturas de la Ciudad de Córdoba (Fuente: Climate-data)..... | 22 |
| Figura 4.1. Impacto hidrológico por desmonte | 25 |
| Figura 4.2. Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial .. | 26 |
| Figura 4.3. Impacto hidrológico de la urbanización | 27 |
| Figura 4.4. Perfil típico y efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca..... | 32 |
| Figura 4.5. Subsistemas asociados al drenaje urbano | 33 |
| Figura 5.1. Representación Esquemática del Master Plan del Emprendimiento..... | 36 |
| Figura 6.1. Representación esquemática de las líneas de escurrimiento en las zonas aledañas al lote en estudio | 41 |
| Figura 6.2. Cuenca de Aporte. Situación Actual..... | 41 |
| Figura 6.3. Cuenca de Aporte. Situación Futura | 42 |
| Figura 6.4. Parámetros de una cuenca | 44 |
| Figura 6.5. Regiones pluviográficas de las Provincia de Córdoba..... | 46 |
| Figura 6.6. Curvas I-D-F. Estación Pluviográfica de Córdoba (Observatorio)..... | 50 |
| Figura 6.7. Distribución Temporal Zona Centro. Estación Córdoba Observatorio. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 6.8 Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS. (Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T. Chow, 1994.) | 56 |
| Figura 6.9. Caracterización de los usos de suelo..... | 58 |
| Figura 6.10. Esquema de modelación del módulo superficie del terreno. SWMM..... | 61 |
| Figura 6.11. Esquema de reservorio No Lineal. | 62 |
| Figura 6.12. Representación conceptual del módulo transporte..... | 66 |
| Figura 6.13. Esquema de Modelación Escenario Actual. SWMM..... | 68 |
| Figura 6.14. Parámetros por introducir a la cuenca bajo análisis. SWMM..... | 69 |
| Figura 6.15. Parámetros por introducir para el Método de Pérdida. SWMM..... | 70 |
| Figura 6.16. Registros de lluvias. SWMM | 71 |
| Figura 6.17. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Actual.... | 73 |
| Figura 6.18. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Futura sin regular. | 71 |
| Figura 7.1. Esquema de Modelación Escenario Futuro Regulado. SWNN | 78 |
| Figura 7.2. Parámetros a introducir para los conductos. SWMM..... | 79 |
| Figura 7.3. Parámetros a introducir para los nodos. SWMM | 80 |
| Figura 7.4. Parámetros a introducir para la unidad de almacenamiento. SWMM | 81 |
| Figura 7.5. Cuadro de diálogo curva altura-almacenamiento. SWMM..... | 82 |
| Figura 7.6. Parámetros a introducir para el punto de vertido del sistema. SWMM | 83 |
| Figura 7.7. Ubicación de la Laguna de Regulación | 85 |
| Figura 7.8. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Futura Regulada | 86 |
| Figura 7.9. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 10 años - Lluvia 60 min..... | 87 |
| Figura 7.10. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 25 años - Lluvia 60 min..... | 88 |
| Figura 7.11. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 100 años - Lluvia 60 min..... | 88 |
| Figura 7.12. Niveles de agua en la Laguna para las distintas recurrencias. | 89 |
| Figura 7.13. Curva Altura-Volumen-Superficie de la Laguna..... | 89 |
| Figura 7.14. Perfil Tipo Calle Enrique Cavendish (11 m)..... | 91 |
| Figura 7.15. Detalle Cordón Cuneta..... | 91 |
| Figura 7.16. Niveles máximos de inundación permitidos (Perfil Calle Enrique Cavendish). | 92 |



PRÁCTICA SUPERVISADA

INTRODUCCIÓN

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

La modalidad de Práctica Supervisada implementada para la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC), tiene como fin brindar al estudiante una experiencia práctica, complementaria a la formación elegida, para su inserción en el ejercicio de la profesión.

La presente se realizó en la modalidad de Práctica Supervisada Pasante No Rentado (PSPNR) y fue llevada a cabo en la firma "Vanoli y Asociados Ingeniería S.R.L.", bajo la supervisión del Ing. Civil Felippa Marcos Ezequiel en carácter de supervisor externo y del Ing. Civil Mariano A. Corral en condición de tutor académico.

En lo que respecta a esta práctica específicamente, el tema de la misma surge a partir de un proyecto que estaba por comenzar a desarrollarse en la consultora, el cual consistía en el *"Proyecto de Drenaje para el Complejo "Saint Jordi"*

1.2 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La ejecución de un complejo residencial, en un lote con características de terreno baldío trae consigo un cambio o alteración en el uso del suelo de ese sector. Este cambio de uso de suelo hacia un uso residencial implica la modificación de distintas variables, provocando, entre otras, un aumento en el grado de impermeabilización del suelo.

La construcción de las torres de viviendas, el trazado de senderos internos de hormigón, y la totalidad de áreas verdes en decadencia con relación a las zonas edificadas, traen como consecuencia una modificación del entorno natural y generan superficies poco permeables, aumentando los volúmenes de escurrimientos con caudales que alcanzan con mayor frecuencia los valores picos, provocando notables daños en el cauce receptor.

Debido a lo anteriormente expuesto es que se hace necesario proyectar un adecuado sistema de manejo y regulación de los excedentes pluviales generados por la futura construcción del complejo habitacional "Saint Jordi" de manera tal de mitigar los efectos que este aumento ocasionaría hacia aguas abajo.

1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES

Los objetivos del presente trabajo pueden dividirse en dos grupos, por un lado, los objetivos técnicos, con los cuales deberá cumplir el proyecto, y por el otro, los objetivos planteados a nivel personal.

1.3.1 Objetivos Técnicos

El objetivo técnico planteado para este trabajo es el Estudio, Modelación Hidrológica e Hidráulica y Proyecto de obras necesarias de Drenaje para el Complejo "Saint Jordi", que permitan sobre la base de un diagnóstico de la situación actual adoptar las medidas y acciones que optimicen el manejo de excedentes pluviales que escurren superficialmente, originados por la futura construcción del complejo, de forma tal de mitigar los efectos que los mismos producen aguas abajo.

De esta manera es posible plantear dos grandes objetivos:

- El primero, pretende exponer un panorama de la situación actual en cuanto al manejo de los excesos pluviales en el sector en análisis, en un contexto de macro y micro drenaje.
- El segundo, se resume en el desarrollo de las propuestas necesarias que lleven a una restitución de la situación actual de escurrimiento natural.

Para lograr éstos, es necesario a su vez plantear una serie de objetivos particulares que permitan garantizar un buen desarrollo de los descriptos anteriormente, los cuales pueden resumirse en:

- Reconocimiento de cada componente físico del área en estudio.
- Determinación del periodo de retorno más conveniente de acuerdo con un equilibrio entre los aspectos técnicos y económicos.
- Análisis de los caudales máximos para la Situación Actual y para la Situación Futura, determinando la utilidad de cada uno y teniendo en cuenta la estimación de algunos de los parámetros intervinientes.
- Dimensionado de las obras de regulación y drenaje necesarias, realizando un balance entre las variables hidrológicas, topográficas y económicas y evaluando distintas alternativas de solución para la selección del tipo de obra a ejecutar.
- Modelación y Análisis de la Situación Futura con las obras propuestas, de manera tal de poder entender la solución propuesta.

1.3.2 Objetivos Personales

El objetivo planteado a nivel personal, se resume en aplicar, integrar e incrementar los conocimientos adquiridos en cada una de las materias a lo largo de la carrera, así como también investigar, conocer, aprender y aplicar herramientas a un problema real y concreto de ingeniería.

1.4 METODOLOGÍA

Previo a definir las acciones a llevar a cabo en el Proyecto, se deberá tener un panorama claro de la Situación Actual de la zona en estudio. Esto permitirá definir las estrategias sobre las cuales trabajar con el objeto de avanzar en el desarrollo de las obras y en la implementación de las medidas que brinden una solución integral a la problemática planteada.

En base a lo dicho anteriormente se propone la siguiente metodología de trabajo:

1.4.1 Etapa Preliminar

- Recopilación de antecedentes: obras ejecutadas, proyectos y anteproyectos realizados o en desarrollo, planes de obras y de estudios, y toda la documentación necesaria para la ejecución de emprendimientos inmobiliarios (normativas, regulaciones, etc.).
- Inspección de campo: recorridas de la zona donde se emplazará el proyecto recopilando la mayor información posible, sobre todo del sistema hídrico.

- Sistematización de la información: chequeo de los antecedentes recopilados, elaboración de una planimetría general en donde se vuelquen los datos obtenidos.
- Diagnóstico: análisis y evaluación de los antecedentes, elaboración del diagnóstico, destacando los aspectos más importantes.

1.4.2 Estudio Hidrológico

- Caracterización Hidrogeomorfológica de las Cuencas de Aporte Hídrico
 - Definición de la red de escurrimientos
 - Áreas deprimidas anegadas
 - Delimitación de las subcuencas
 - Tipo de suelos y cobertura vegetal
 - 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
 - Periodo de retorno
 - Duración
 - Lámina total
 - Distribución temporal
 - Distribución espacial
 - Lluvia neta o efectiva
- Transformación Lluvia – Caudal y Propagación de Caudales
 - Hidrogramas
 - Caudales picos para los distintos períodos de recurrencia
 - Niveles de escurrimiento para los distintos períodos de recurrencia

1.4.3 Proyecto de Obras de Drenaje

- Evaluación del Sistema Proyectado
 - Estructuras de Escurrimiento
- Obras Proyectadas
 - Microembalse

1.4.4 Elaboración de Documentación

- Memoria Descriptiva
- Memoria de Ingeniería
- Computo Métrico
- Pliego de Especificaciones Técnicas
- Planos

- Planimetría de Ubicación
- Planimetría General
- Planimetría de Drenaje
- Planos de Detalle de Obras Proyectadas



PRÁCTICA SUPERVISADA

ETAPA PRELIMINAR

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2: ETAPA PRELIMINAR

2.1 GENERALIDADES

Para la ejecución de informes técnicos es necesario consultar bibliografía pertinente vinculada a la temática que se analiza para poder tener el respaldo teórico correspondiente; pero también es menester recurrir a estudios diversos realizados dentro del área de influencia, que se suman a la documentación específica sobre el tema a abordar.

Como en todo trabajo de ingeniería, y según se ha ido estudiando a lo largo de la carrera, resulta necesaria la recopilación de antecedentes cartográficos disponibles a distintas escalas, así como también imágenes satelitales, fotografías aéreas del área en cuestión, publicaciones y antecedentes bibliográficos.

Todo este material reunido para el inicio del estudio es clasificado, procesado y posteriormente analizado para pasar a formar parte de la base de datos del área, la cual incluye toda la información geológica, geomorfológica, de suelos, hidrológica e hidráulica disponible. Con la información expuesta anteriormente se confeccionan cartas de cuencas y subcuencas, donde se detectan y marcan los escurrimientos principales, infraestructuras, obras de artes existentes, etc. y toda la información que se considere relevante, para que luego sea verificada en el campo.

2.2 TAREAS DE CAMPO

Previa ejecución de la documentación pertinente, explicada en el apartado anterior, se procede a la verificación de la misma in-situ realizando las siguientes tareas en campaña:

- Recorrida del área afectada para tomar contacto con la problemática in situ.
- Reconocimiento y verificación de las principales líneas de escurrimiento hídrico.
- Relevamiento de Obras Viales (Calles)
- Existencia o no de obras Hidráulicas en el área de estudio.
- Captura de imágenes fotográficas de las zonas consideradas relevantes

A continuación, se presentan algunas fotografías tomadas en el relevamiento de campo de la zona de estudio.



Figura 2.1. Pendiente general del terreno en estudio y vegetación existente



Figura 2.2. Vegetación existente en el terreno en estudio



Figura 2.3. Fotografía del ingreso al terreno en estudio.



Figura 2.4. Calle sobre la que se encuentra el terreno, futura a pavimentarse (Enrique Cavendish)



Figura 2.5. Sección del terreno en donde irá el conducto de descarga hacia la vía pública (Enrique Cavendish)



Figura 2.6. Sentido de escurrimiento en las calles aledañas al lote en estudio.

2.3 TAREAS DE GABINETE

Una vez obtenida toda la información recompilada en campaña y junto con la información de antecedentes, se procede a la ejecución de las siguientes tareas de gabinete:

- Análisis de la información bibliográfica antecedente y elaboración de diagnósticos preliminares.
- Interpretación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles para diferentes fechas.
- Confección de la planimetría pertinente, con la integración de los siguientes tópicos:
 - Red de Drenaje
 - Cuencas Hídricas
 - Cursos de Agua permanente
 - Uso del Suelo
 - Obras Futuras
- Adopción de las precipitaciones publicadas en los trabajos del INA-CIRSA (Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida)
- Aplicación del modelo computacional SWMM (Storm Water Management Model) elaborado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), para la transformación lluvia – caudal, con el objetivo de determinar los caudales picos o máximos que se generan en las distintas cuencas.
- Interpretación de la información obtenida de la aplicación de los Modelos ya citados y de las recorridas a campo.
- Confección del presente estudio.



PRÁCTICA SUPERVISADA

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN

El emprendimiento inmobiliario en estudio se encuentra localizado en el Departamento Capital, en la Provincia de Córdoba. El mismo, se presenta con vistas hacia el Río Suquía y desde el punto de vista geográfico, su ubicación en coordenadas es de 31°21'54.45" Latitud Sur y 64°15'36.02" Longitud Oeste.

El único acceso al sitio se efectúa por la calle Enrique Cavendish del Barrio Villa Belgrano de la Ciudad de Córdoba.

El lote se encuentra a una distancia de 12 km del Centro de la Ciudad de Córdoba, y a una distancia de 1,6 km desde el Estadio Mario Alberto Kempes. Podemos observar la ubicación en las siguientes Figuras 3.1 y 3.2

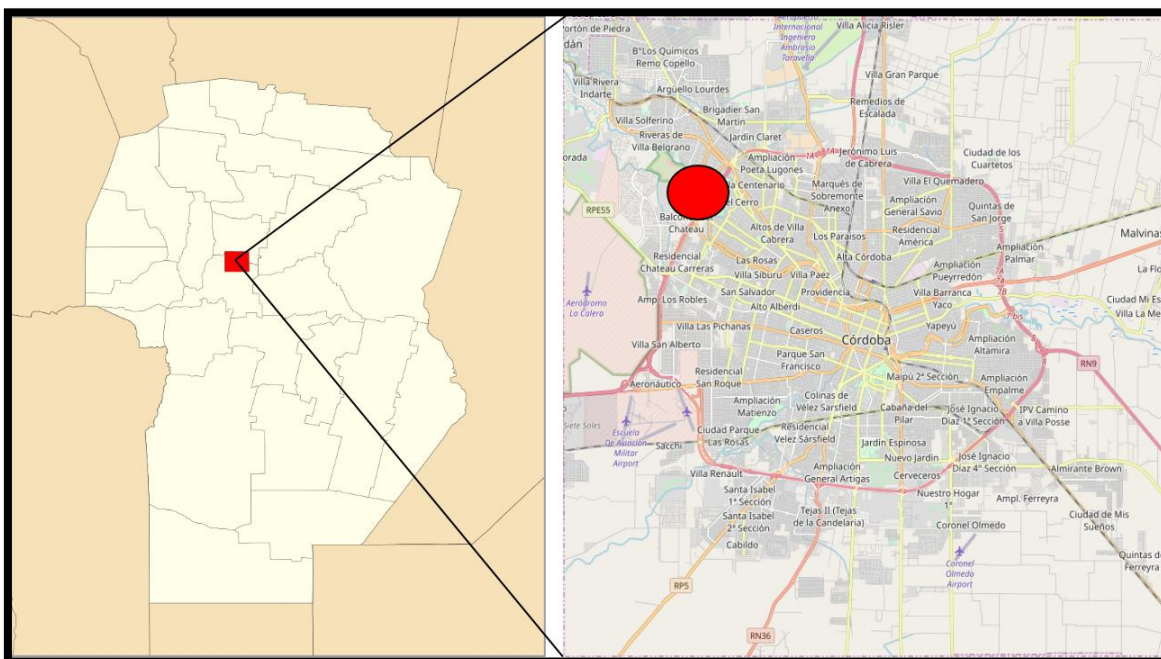


Figura 3.1. Ubicación del sector de estudio dentro del Departamento Capital, Provincia de Córdoba.

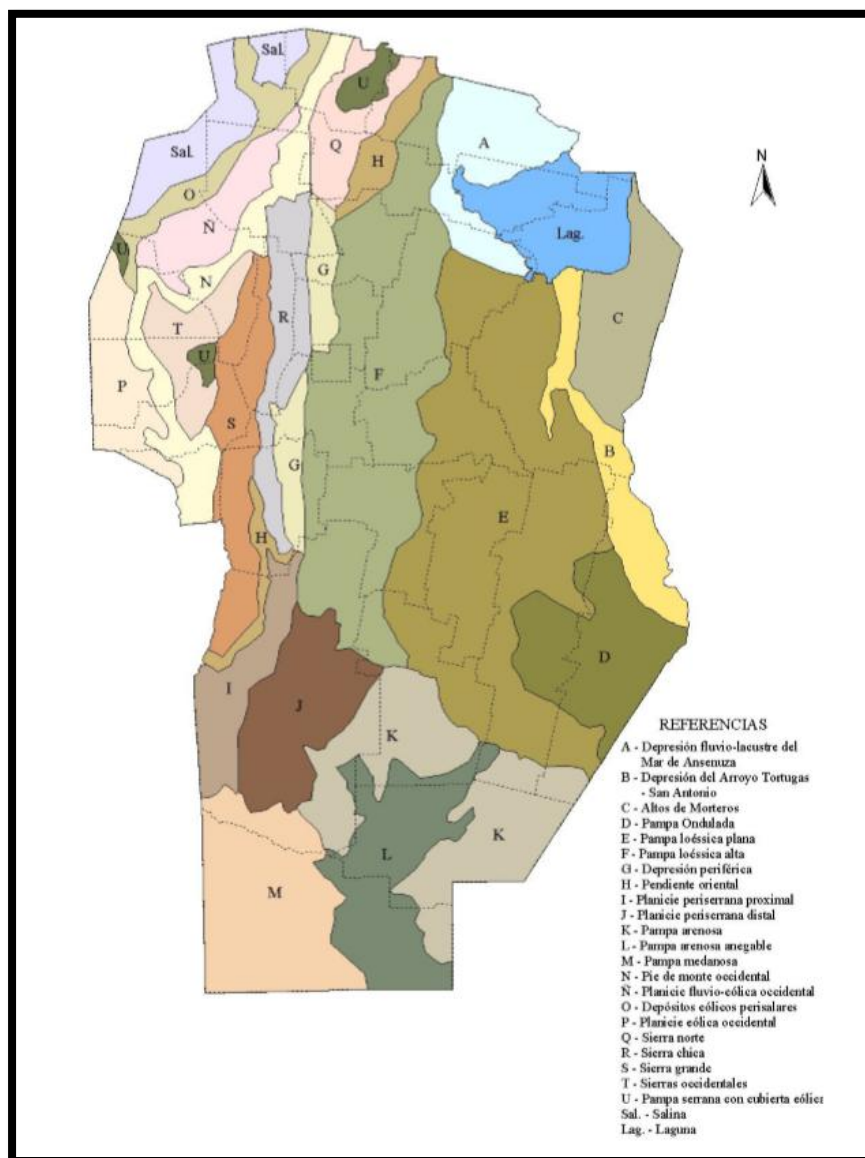


Figura 3.1. Ambientes Geomorfológicos de la Provincia de Córdoba

Las características de este Ambiente Geomorfológico son:

- Depresión Periférica:

Ambiente relativamente deprimido, longitudinal, ubicado lateralmente al Este de la Sierra Chica de Córdoba y al Oeste de la Pampa Loésica Alta. Está constituido por conos, abanicos aluviales, derrames y terrazas de ríos y arroyos parcialmente cubiertos por depósitos eólicos franco limosos.

Este ambiente presenta características diferenciales hacia el Norte y hacia el Sur de la Ciudad de Córdoba. Al Norte del Departamento Capital, la depresión es discontinua o abierta hacia el Este, observándose los sistemas hídricos dispersos de los cursos de agua La Granja, Jesús María, Salsipuedes, Carnero, Pinto y otros que la atraviesan de oeste a

Este por entre los cerrillos aislados que marcan el borde tectónico de la depresión y que están separados del cuerpo principal de la montaña, tales como los cerrillos de Jesús María, Malagueño, Totoral, etc. Estos Arroyos, de cursos permanentes en las sierras, no lo son en la llanura, se pierden o insumen en lechos arenosos al llegar al piedemonte y solo después de lluvias copiosas continúan reactivando paleocauces irrumpiendo linealmente por caminos o campos agrícolas con los consiguientes perjuicios (cárcavas y surcos Profundos). Este proceso erosivo lineal que incluye la Pampa Alta, se ha acentuado en los últimos años como consecuencia de la creciente intensificación en el uso del suelo, esencialmente por el incremento del desmonte muchas veces irracional y la implantación de leguminosas, Soja, como principal cultivo agrícola.

Dentro de esta concavidad tectónica longitudinal el relieve es ondulado a suavemente ondulado en su parte central, siendo el gradiente regional de 0,5 a 1%; de 2 a 6% en el contacto con afloramientos y de más del 30% en los cerrillos aislados (complejo metamórfico y sedimentos clásticos del Cretácico).

Los materiales originarios de los suelos tienen texturas variables; desde esqueléticas gruesas en las partes apicales de los abanicos y en los cerrillos, hasta franco limosas y aún arcillo limosas en el loess y derrames finos distales respectivamente.

Los suelos tienen un drenaje natural libre con la capa freática profunda que no afecta a los perfiles de los suelos. Los procesos erosivos en los suelos son selectivos o puntuales, siendo la susceptibilidad variable, de severa a ligera según la geoforma local considerada.

Sólo se observan relictos de la vegetación natural correspondiente a la provincia del espinal, esencialmente en cerrillos y flancos de los mismos, estando la mayor parte de las tierras cultivada.

3.2.2 Clima

Las características del régimen térmico de la provincia de Córdoba están determinadas por las temperaturas del mes más cálido (Figura 3.), del mes más frío (Figura 3.) y su amplitud térmica anual (Figura 3). Los valores térmicos del mes de enero, que representa en el hemisferio sur a las temperaturas estivales, se distribuyen en la provincia en un rango que oscila entre los 23.5°C en el sur provincial hasta valores superiores a los 26°C en el extremo norte.

Las temperaturas del mes de julio, que representa a la estación invernal, evidencian un rango de valores que van desde los 8°C en el Sur hasta los 11,5°C en el Norte.

La amplitud anual de la temperatura representa la variación de los meses extremos. Las mayores amplitudes se registran en el Sur y Oeste del territorio. Puede apreciarse que el rango o amplitud térmica anual no supera los 16°C en toda la provincia.

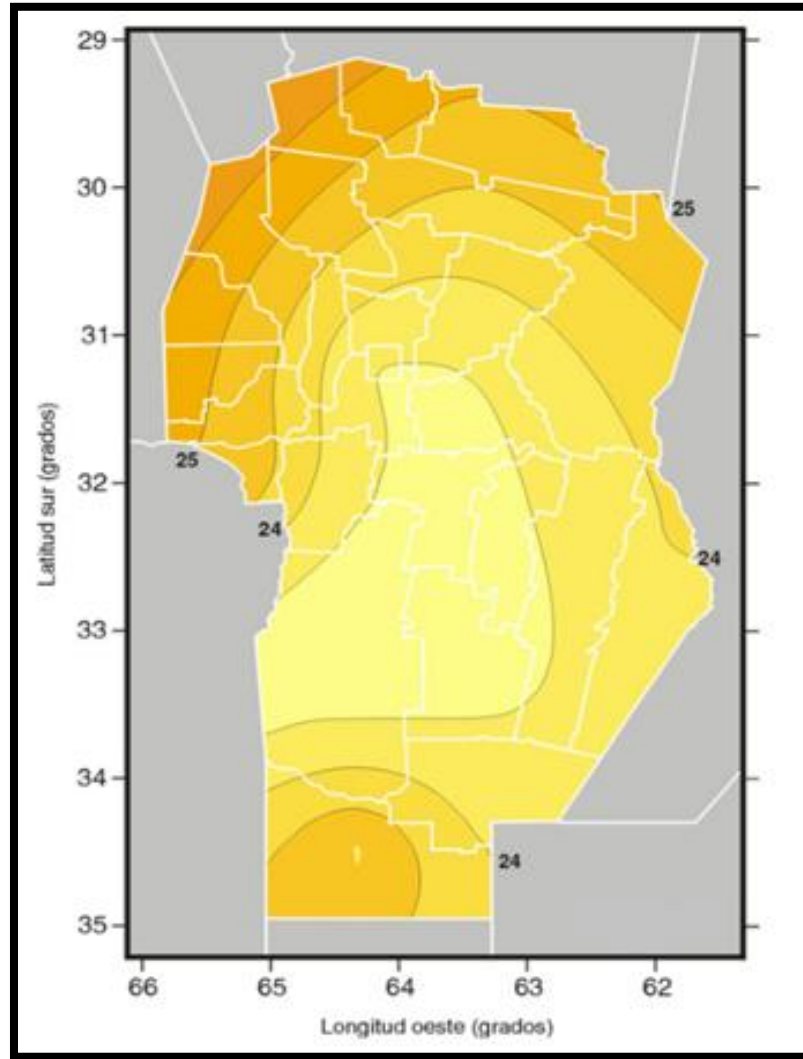


Figura 3.4. Temperaturas Medias de Enero (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003)

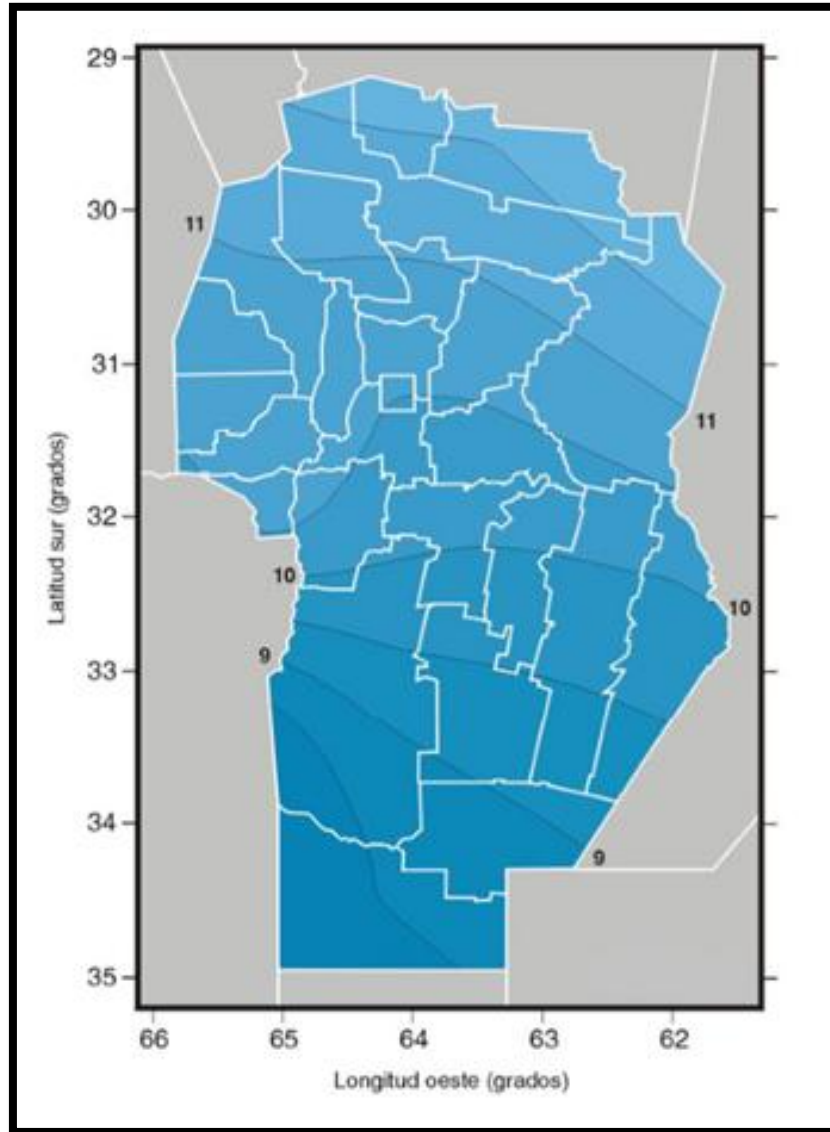


Figura 3.5. Temperaturas Medias de Julio (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003)

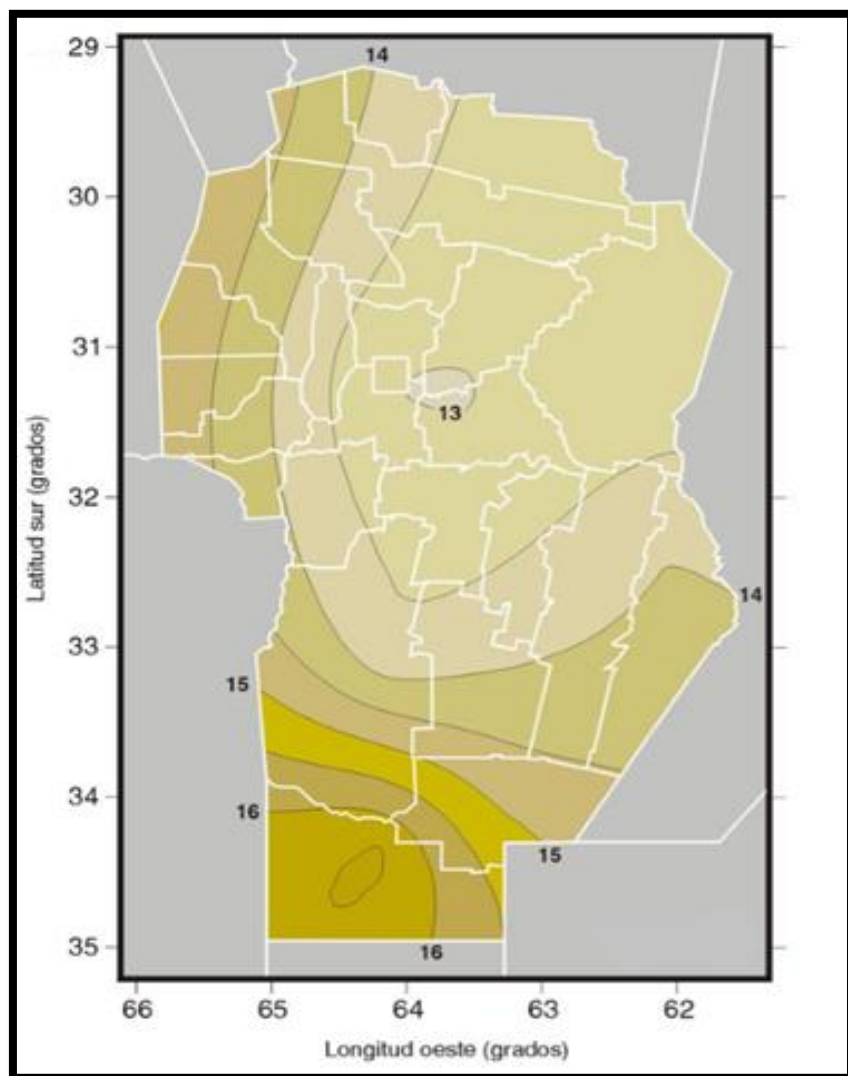


Figura 3.6. Amplitud Térmica Anual (°C) (1961-1990). (Fuente: INTA, 2003)

Para una determinación precisa de las características climatológicas del sector de análisis se recurrió a la organización Climate-data (1982). El modelo usa información climática de miles de estaciones climáticas alrededor del mundo. Esta información fue recolectada entre 1982 y 2012, y es actualizada cada cierta cantidad de tiempo.

El climograma (Figura 3.), que se observa a continuación, nos muestra que el mes más seco es junio (11 mm), mientras que durante el mes de diciembre cae la mayor parte de la precipitación(119 mm). En un año, la precipitación media anual es de 738 mm.

La Organización define a la región con un clima cálido y templado. En el Diagrama de Temperatura (Figura 3.), se puede apreciar que la temperatura estival, representada por el valor térmico del mes enero es de 23 °C y la temperatura invernal posee un valor de 10,5 °C, con una amplitud anual de 12,5 °C.

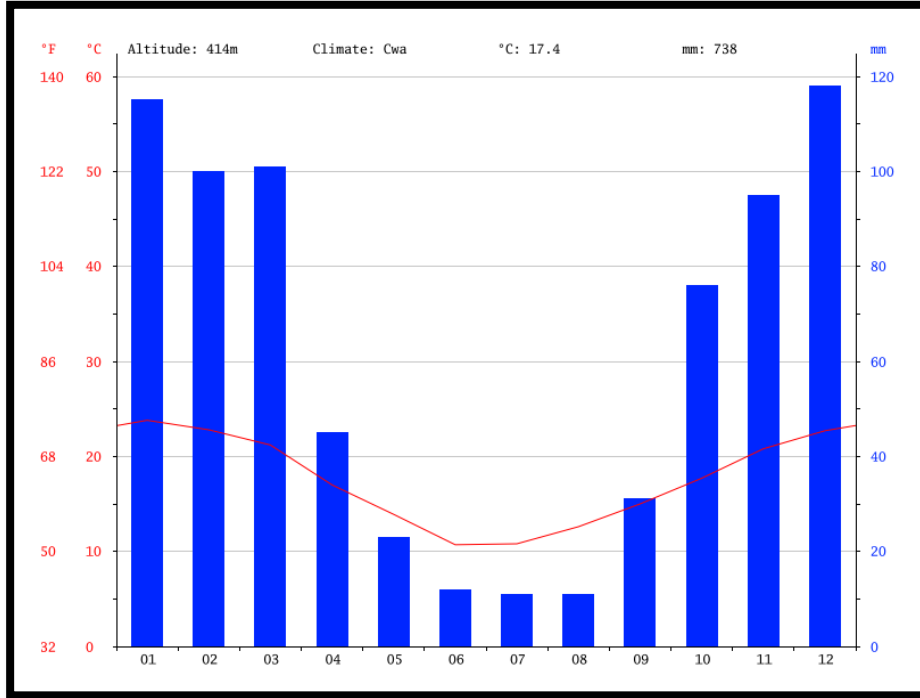


Figura 3.7. Climograma de la Ciudad de Córdoba. (Fuente: Climate-data)

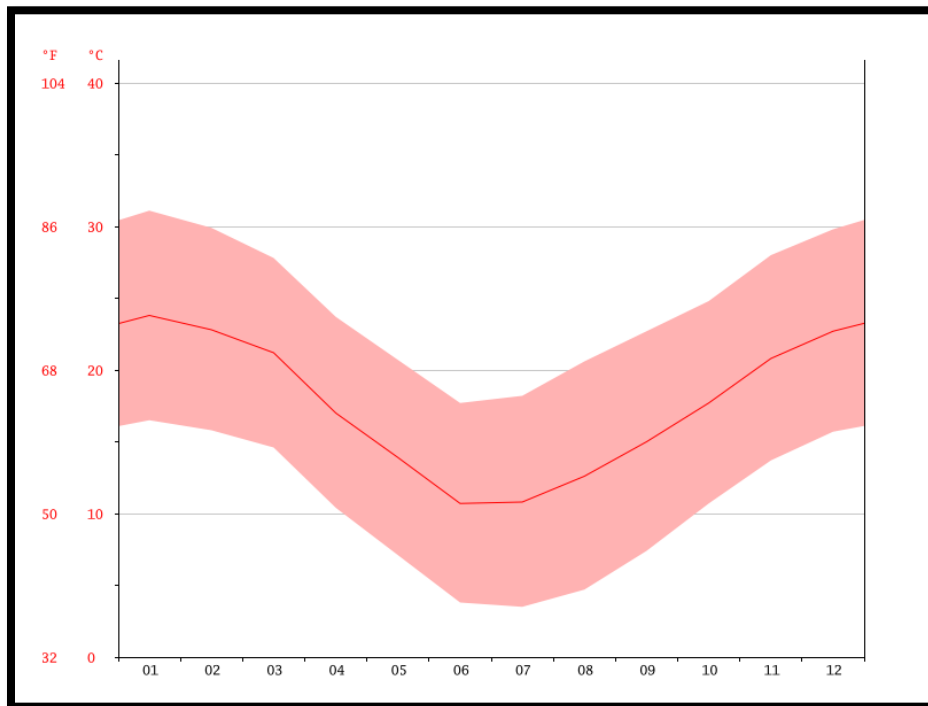


Figura 3.8. Diagrama de Temperaturas de la Ciudad de Córdoba. (Fuente: Climate-data)



PRÁCTICA SUPERVISADA

IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELO

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 4: IMPACTOS DE CAMBIOS EN LOS USOS DE SUELO

4.1 GENERALIDADES

El cambio en el uso de suelo provoca notables consecuencias en lo que respecta a los escurrimientos superficiales. A lo largo de los años, el área de trabajo sufrió 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 se observa un suelo descubierto con poca presencia de vegetación. En un futuro, luego de implantado el desarrollo inmobiliario en el área, el suelo pasará a tener un uso residencial, y es este cambio el que generará las mayores consecuencias que deben ser estudiadas con atención.

4.2 IMPACTO POR DESMONTE.

El desmonte trae como consecuencia efectos tales como:

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

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

La Figura 4.1 muestra los hidrogramas de escurrimiento superficial que se producen en un sector rural, dependiendo de la cubierta que tenga el suelo y su uso. Allí podemos observar el hidrograma para un suelo con cobertura vegetal autóctona y otro donde el suelo se encuentra desprotegido.

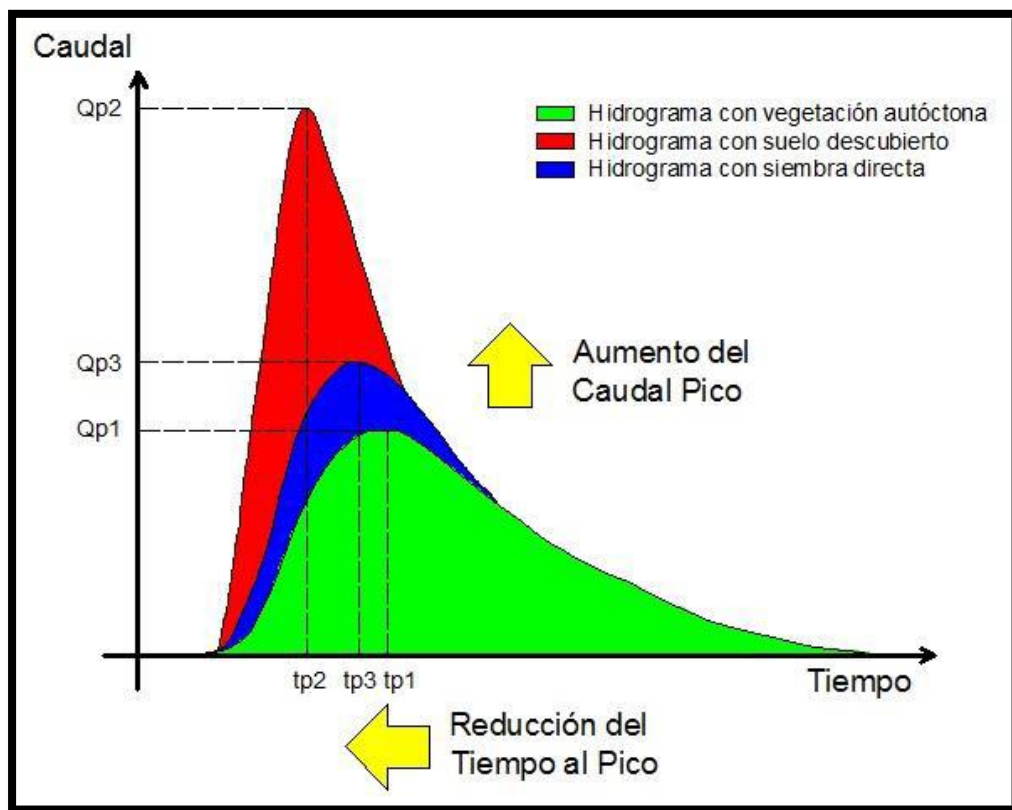


Figura 4.1. Impacto hidrológico por desmonte.

4.3 IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN

El cambio de uso de suelo que genera mayores escurrimientos es la urbanización, ya que no existen mayores grados de impermeabilización en la vida real que los de este tipo.

La urbanización produce un marcado impacto sobre el ciclo del agua, provocando numerosos efectos. Entre ellos Chocat (1997) destaca cinco:

- a) La impermeabilización del suelo
- b) La aceleración de los escurrimientos
- c) La construcción de obstáculos al escurrimiento
- d) La "artificilización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas
- e) La contaminación de los medios receptores

Los tres primeros puntos tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos (Figura 4.2)

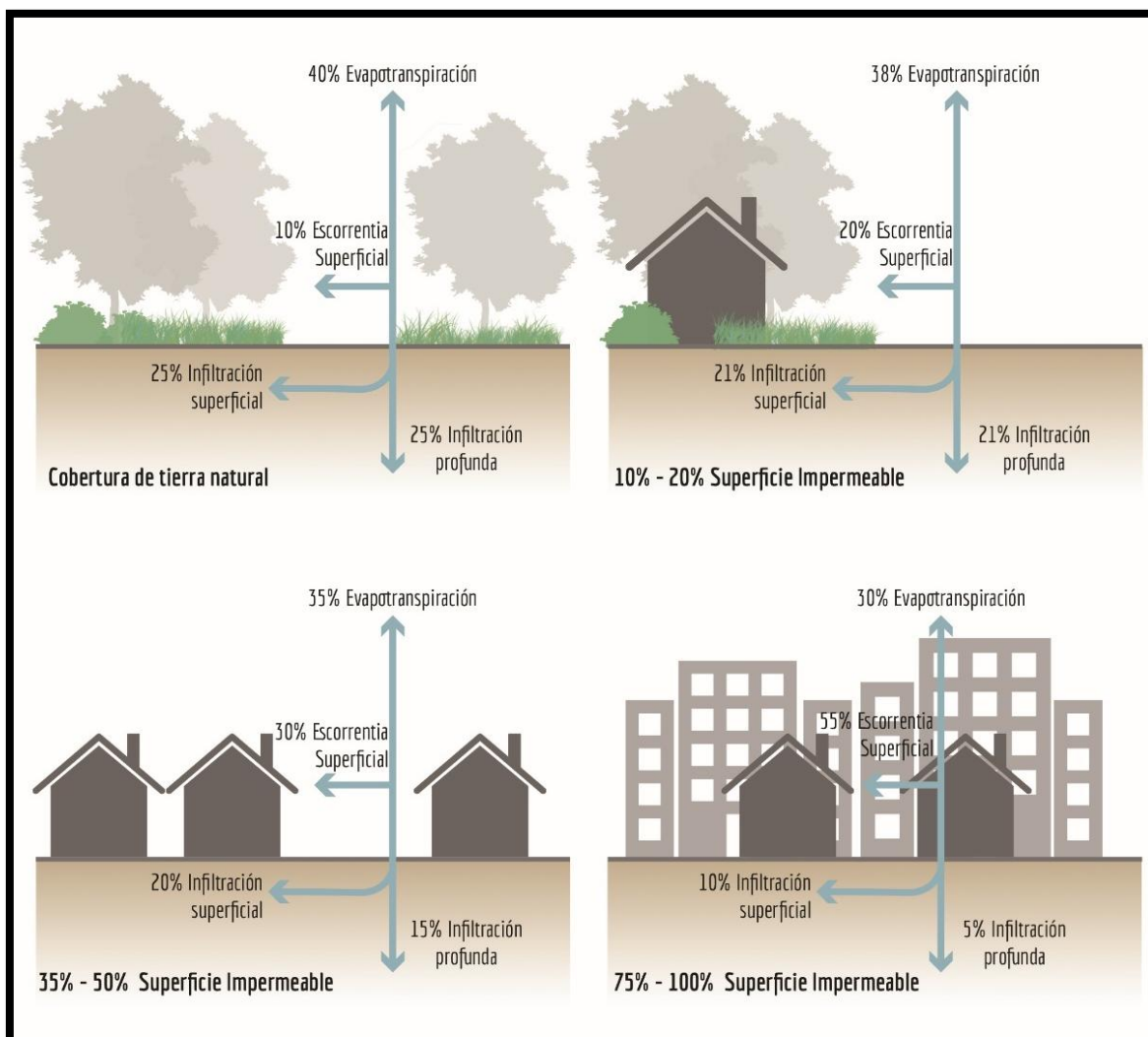


Figura 4.2. Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial

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

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

La urbanización en una cuenca tiende a llenar las áreas bajas (las cuales en un primer momento proveían almacenamiento) y a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración). La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones cunetas colecta más escurrimiento y lo dirige a cauces, lagos o humedales. Esta acción produce un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos. Esto produce importantes daños a la integridad física y biológica del cauce receptor.

Lo mencionado anteriormente se puede observar en la Figura 4.3, donde se muestran los hidrogramas en escenario previo y posterior a la urbanización.

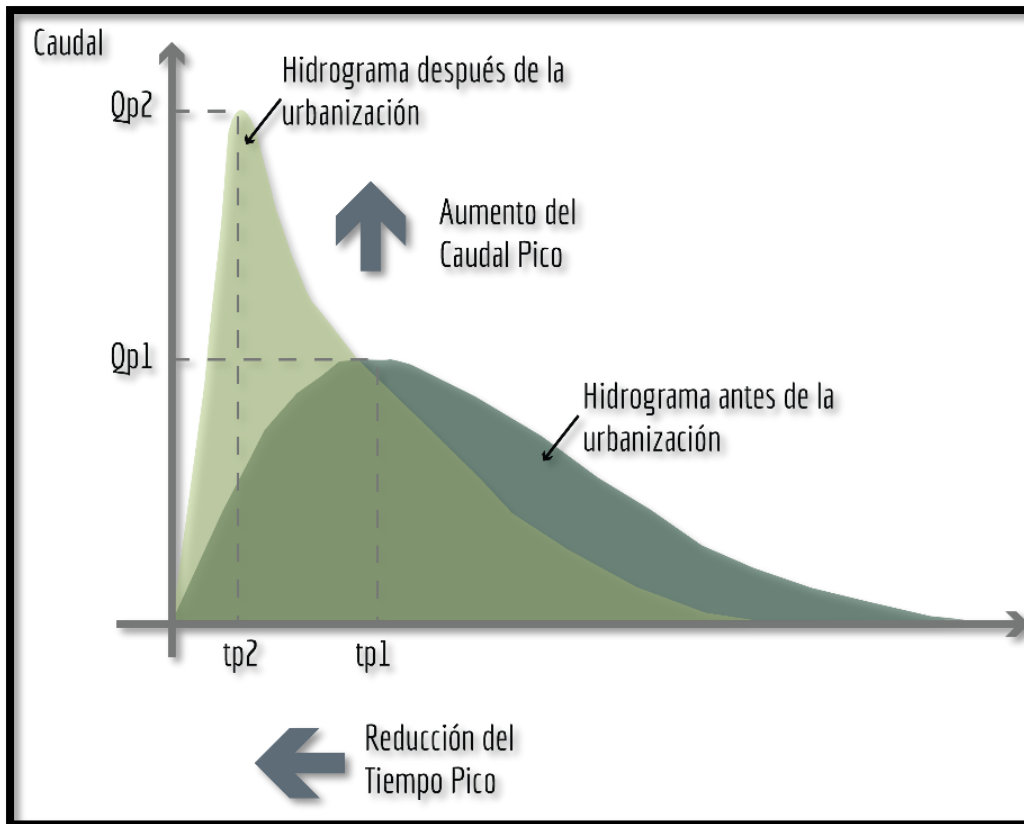


Figura 4.3. Impacto hidrológico de la urbanización

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

- Un aumento de la impermeabilidad de 40% produce una disminución del 50% en los tiempos de distribución del escurrimiento y un aumento del 90% del caudal máximo de las crecidas.
- Cuando la densidad poblacional pasa de 0,4 hab./ha. a 50 hab./ha. los tiempos de distribución de los escurrimientos se reducen a la décima parte y los volúmenes escurridos aumentan diez veces.
- La evapotranspiración se reduce en un 38%.
- El escurrimiento superficial aumenta en un 88%.

La literatura especializada cita algunos valores que permiten dimensionar la magnitud de este impacto:

- Para una cuenca de 260 has. Leopold (1968) estimó que su urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación natural. Cabe consignar que en algunos casos el impacto hidrológico ha superado estos porcentajes.
- Desbordes (1989) cita que a causa de obras derivadas de la urbanización, algunas cuencas francesas han visto su tiempo de respuesta dividido por un factor del orden de 5 a 15 y, en consecuencia, la multiplicación del caudal de punta específico ha sido afectado por un factor variando entre 5 y 50.
- Tucci (1994) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200 %.
- Para la ciudad de Rafaela, Santa Fe, Bertoni (2001), determinó, en base a datos hidrológicos y de urbanización, que un crecimiento del 15 % en el porcentaje de urbanización representa 140 % de reducción del tiempo de concentración y 100 % de aumento del caudal de punta específico.

Cabe aclarar también, que el remplazo de la cobertura vegetal, por superficies impermeabilizadas influye de manera directa en el porcentaje de evapotranspiración del área disminuyendo su valor, ya que la cobertura vegetal, retiene una gran cantidad de agua para ser absorbida para su crecimiento, efecto que no es capaz de realizar la superficie urbana.

4.4 INUNDACIONES URBANAS

4.4.1 Generalidades

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

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

4.4.2 Tipo de Inundaciones

➤ *Inundaciones pluviales (anegamientos):*

También conocidas como “de drenaje urbano” (Tucci, 2005), se trata de aquellas inundaciones originadas por lluvias intensas o abundantes que superan la capacidad de conducción del sistema pluvial urbano. También son conocidas como aquellas 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 conducciones de los escurrimientos.

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

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

➤ *Inundaciones ribereñas o costeras*

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

➤ *Inundaciones mixtas*

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

4.4.3 Medidas para la reducción del riesgo de inundaciones urbanas

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

➤ Medidas no estructurales:

Son aquellas en que los perjuicios son reducidos por la mejor convivencia de la población con las crecidas, a través de medidas preventivas como la alerta de inundación, la zonificación de las áreas de riesgo, el seguro contra inundaciones, y las medidas de protección individual.

➤ Medidas estructurales:

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

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

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

Las medidas estructurales pueden ser:

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

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

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

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

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

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

- Reservorios o Lagunas de Retardo/Laminación

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

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

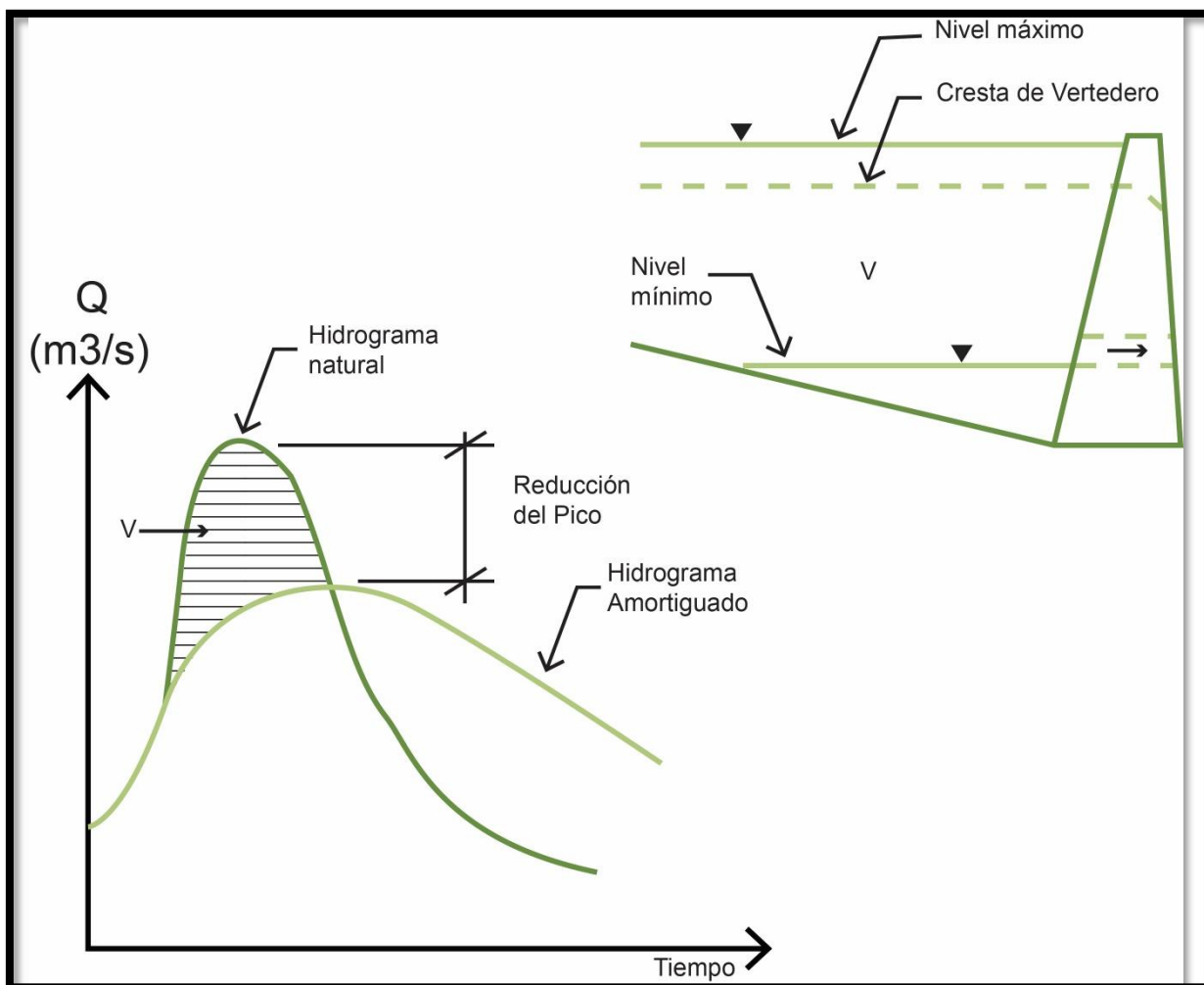


Figura 4.4. Perfil típico y efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca.

○ Obras de control de escurrimiento urbano

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

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

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

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

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

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

4.4.4 Macrodrenaje y Microdrenaje

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

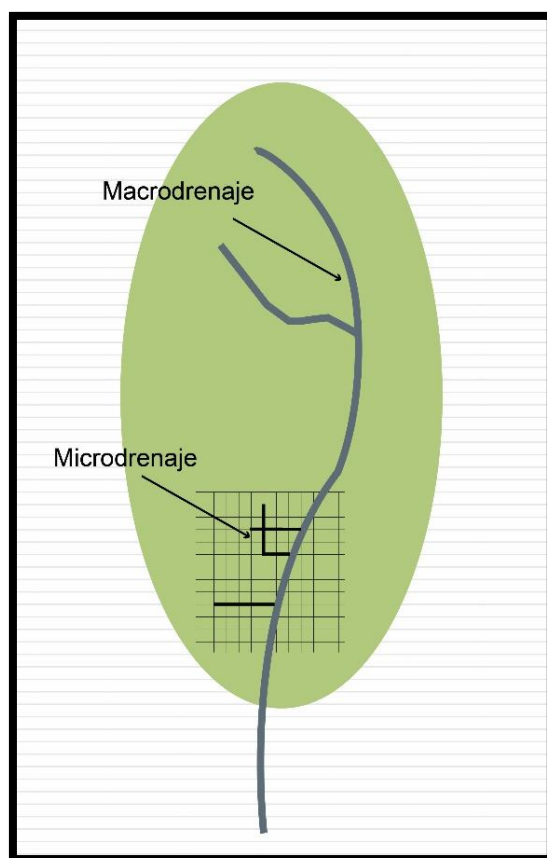


Figura 4.5. Subsistemas asociados al drenaje urbano

Así, cuando nos referimos al macrodrenaje, estamos hablando de todos aquellos cursos naturales de escurrimiento, sin importar la magnitud que presenten, definidos por las depresiones propias de la topografía de la cuenca. Se encuentra siempre, independientemente si se ejecutan o no obras específicas de drenaje y por lo general, drenan áreas mayores a 5 Km² dependiendo del tamaño de la cuenca y el relieve de la región. Está asociado a lluvias excepcionales, y en relación con el proyecto, debe poder eliminar o reducir al máximo posible los daños provocados por estas, convenientemente aquellas que presenten tiempos de recurrencia de entre 10 y 100 años, con tendencia (cuando sea posible) de concentrarse en períodos de retorno superiores a 25 años.

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

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

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

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



PRÁCTICA SUPERVISADA

COMPLEJO "SAINT JORDI"

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5: COMPLEJO "SAINT JORDI"

5.1 GENERALIDADES

El complejo "Saint Jordi" es un proyecto inmobiliario, destinado a la construcción de viviendas colectivas en altura el cual se encontrará inmerso en el barrio de Villa Belgrano de la Ciudad de Córdoba y con vistas hacia el Río Suquía. Contará con seguridad y acceso restringido.

Comprende tres bloques de viviendas de cinco pisos de altura, todos ellos de forma rectangular y dimensiones variables, los cuales gozan de una privilegiada vista panorámica hacia el Río Suquía. El terreno en estudio presenta una forma irregular de 1ha de superficie.

El complejo contará también con dos piletas, una de adultos y otra para niños, espacios de recreación, un área de fogata y grandes espacios ajardinados rodeados por senderos peatonales. A su vez, tendrá también un nivel de subsuelo destinado exclusivamente al estacionamiento vehicular.



Figura 5.1. Representación Esquemática del Master Plan del Emprendimiento

Al realizar el estudio de drenaje de un nuevo emprendimiento, además de los factores naturales que lo rigen, debe tenerse en cuenta el Master Plan presentado por el comitente, el cual por lo general es diseñado siguiendo mayoritariamente aspectos arquitectónicos, sin considerar otras cuestiones relevantes como lo es el escurrimiento del agua. Al conjugar estos factores, muchas veces se presentan inconvenientes. Es por este motivo que suele resultar necesario solicitar un cambio en el Master Plan para corregir estos defectos y lograr así, la adecuación más idónea entre éste y el sistema de drenaje planteado.

En este sentido y en función de ciertos factores relacionados directamente con el Proyecto de Drenaje y la ubicación de las obras proyectadas es que surgió la necesidad de plantearles a los desarrollistas la posibilidad, ante la necesidad, de modificar, por un lado, la cota de elevación de los senderos y por el otro, la ubicación del área destinada a recreación.

Luego de estudiar dicha situación, el comitente accedió a la propuesta que le fue presentada, y de esta manera el Master Plan sufrió esas modificaciones.



PRÁCTICA SUPERVISADA

ESTUDIO HIDROLÓGICO

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 6

CAPÍTULO 6: ESTUDIO HIDROLÓGICO

6.1 GENERALIDADES

El principal objetivo del Estudio Hidrológico es definir los escurrimientos producidos dentro de la cuenca en la cual se encuentra inmerso el lote en cuestión. Según lo visto anteriormente, la ejecución del complejo implica un aumento del grado de impermeabilización del suelo y que por consiguiente provoca un incremento de los escurrimientos a la salida del lote, hecho que deberá ser controlado, para evitar inconvenientes aguas abajo del sector en estudio. Por lo tanto, los caudales se determinarán tanto para el estado natural del terreno (*Situación Actual o sin proyecto*) como para cuando se consolide el emprendimiento (*Situación Futura o con proyecto*).

De la comparación de estas dos situaciones anteriormente expuestas, surgen así los incrementos en los caudales entre ambos escenarios; incrementos a partir de los cuales se determinará la necesidad de ejecutar las medidas estructurales pertinentes para mitigar las consecuencias que los excesos hídricos puedan provocar, aguas abajo, contra terceros.

6.2 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE APORTE

El primer paso del Estudio Hidrológico consistió en la delimitación de la Cuenca Hidrográfica. Podemos definir a ésta como la zona de la superficie terrestre definida topográficamente en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas, por uno o varios cursos de aguas interconectados entre sí, hacia un punto único de salida.

Para la delimitación de cuencas y la red de escurrimiento se recurrió a la inspección visual del sector, donde se identificaron bajos y altos que permitieron definir la cuenca que involucra el espacio de análisis. De la inspección se concluyó que el terreno no recibe aportes de escurrimientos externos, con lo cual se configura una sola cuenca para el sector de análisis.

En la figura 6.1 se observa el sentido de los escurrimientos en las zonas aledañas al lote en estudio. Los cordones cuneta de las calles son quienes guían los escurrimientos hacia el punto final de descarga, el Río Suquía.



Figura 6.1. Representación esquemática de las líneas de escurrimiento en las zonas aledañas al lote en estudio.

A su vez, en la Figura 6.2 se puede observar para el escenario natural (actual) la única cuenca delimitada para este estudio la cual coincide con los límites del lote (contorno rojo). En la misma figura se observan las curvas de nivel (obtenidas por trabajo de campo) y las líneas de escurrimiento dentro del terreno en estudio.



Figura 6.1. Cuenca de Aporte. Situación Actual

El desarrollo del emprendimiento provoca modificaciones en los escurrimientos naturales del área de estudio sin embargo el punto de descarga del lote continúa siendo uno solo, por lo tanto, para el escenario futuro también tendremos una única cuenca de análisis.



Figura 6.2. Cuenca de Aporte. Situación Futura

6.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Para los efectos de la hidrología es necesario tener en cuenta, además del concepto fundamental del ciclo hidrológico, el estudio de la región donde este sucede. El ciclo hidrológico, visto a nivel de un área específica, se puede esquematizar como un estímulo, constituido principalmente por la precipitación. Ante este estímulo el área de estudio responde mediante el escurrimiento o caudal en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de esta área y su cobertura vegetal, las cuales pueden clasificarse en dos tipos:

- Las que condicionan el volumen de escurrimiento (área y tipo de suelo).
- Las que determinan la velocidad de respuesta (pendiente, cursos de agua, cubierta, etc.)

6.3.1 Área de Drenaje

El área de una cuenca es un parámetro fundamental dentro de un estudio hidrológico, que condiciona el volumen de escurrimiento pluvial y se define como la superficie plana o en proyección horizontal donde sus límites están representados por la línea de divisoria de aguas, es decir la línea que une los puntos de mayor nivel topográfico (máxima cota) que separa la cuenca en cuestión de las cuencas vecinas. En este caso en particular, el área de drenaje coincide con los límites del terreno. El área de la cuenca es, de seguro, el parámetro más importante para el estudio, pues existe una relación directa entre la magnitud del área y la magnitud de los volúmenes generados por las precipitaciones en ella.

6.3.2 Pendiente del Cauce Principal

Antes de ahondar en cómo se determina la pendiente, es importante destacar que se define como Cauce Principal de la Cuenca Hidrográfica a aquel que pasa por el Punto de salida de la misma y el cual recibe el aporte de otros cauces, de menor envergadura y que son denominados tributarios y a mayor cantidad de estos, más rápida será su respuesta.

De esta forma la pendiente del cauce principal es otro parámetro fundamental y, dado que la misma no es constante a lo largo de él, se calcula la pendiente media. Existen varios métodos para la determinación de la misma, aunque no todos presentan el mismo grado de exactitud. Para el presente estudio se optó por utilizar el de mayor simpleza, dado que satisface la precisión que el mismo requiere. El método define a la pendiente media como el cociente que resulta de dividir el desnivel existente entre los puntos extremos del cauce y la longitud del mismo, medida en planta.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (6.1)$$

Donde S es la pendiente media del cauce principal [m/m]; ΔH es el desnivel entre los extremos del cauce principal [m] y L la longitud en planta del cauce principal [m].

6.3.3 Longitud 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.

Dado que en general el cauce principal no se extiende hasta el límite de la cuenca, es necesario suponer un trazado desde la cabecera del cauce hasta el límite de la cuenca, siguiendo el camino más probable para el recorrido del agua precipitada. La Longitud del Cauce (L_c) queda definida por la longitud del cauce principal, desde el punto de salida hasta su cabecera.

A continuación, en la Figura 6.3 se muestran los parámetros descriptos anteriormente.

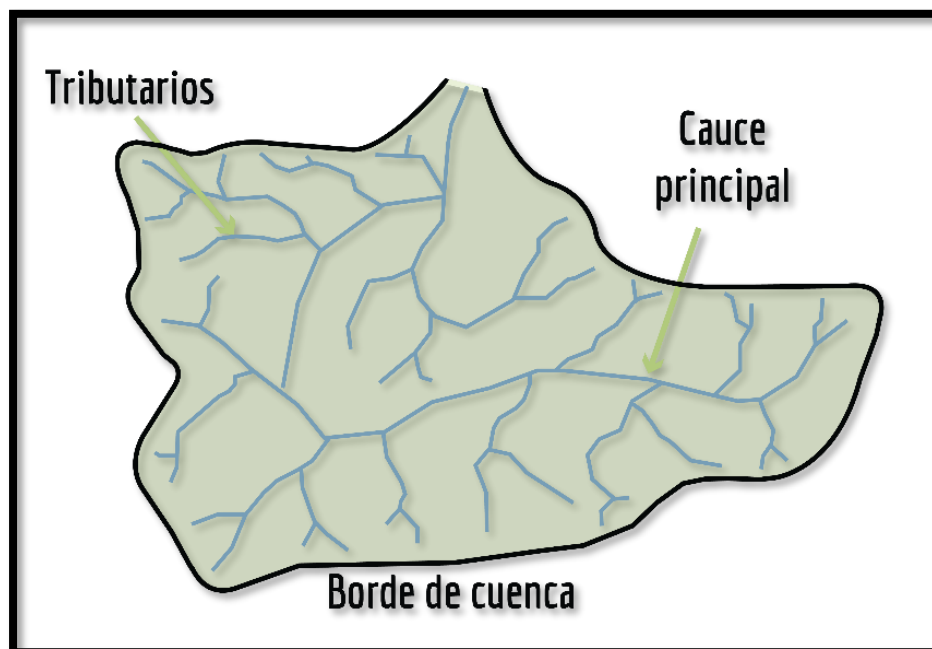


Figura 6.3. Parámetros de una cuenca

En el presente estudio, fueron determinados los parámetros anteriormente expuestos para la única cuenca de aporte delimitada llamada C1, los cuales se resumen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Parámetros Físicos de la cuenca.

| ESCENARIO ACTUAL | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Parametros Fisicos | | | | | |
| CUENCA | Área (m²) | Área (Ha.) | Longitud (m) | Desnivel H (m) | Pendiente Sc (%) |
| C1 | 10000 | 1 | 95.70 | 3.32 | 3.47 |

6.4 TORMENTA DE DISEÑO

La tormenta de diseño es la secuencia de precipitaciones capaz de provocar la crecida de diseño en la cuenca estudiada y se la define para ser utilizada en el diseño de un Sistema Hidrológico. Para su determinación se debe 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.

Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales.

La Provincia de Córdoba cuenta actualmente con importantes estudios sobre tormentas de diseño realizados por el Instituto Nacional del Agua – Centro de la región Semiárida (INA – CRSA), el cual elaboró un trabajo denominado “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, quedando así definidas 7 zonas:

- ✓ Zona Noroeste (Villa Dolores)
- ✓ Zona Sierras (La Suela)
- ✓ Zona Centro (Córdoba Observatorio)
- ✓ Zona Noreste (Ceres, Provincia de Santa Fe)
- ✓ Zona Suroeste (Río Cuarto)
- ✓ Zona Este (Marcos Juárez)
- ✓ Zona Sur (Laboulaye)

A partir de este análisis proporcionado por el CRSA, el área de estudio queda comprendida en la Zona Centro, la cual tiene como pluviógrafo base la estación "Córdoba Observatorio" y será empleado verificando todas las condiciones de aplicabilidad establecidas por el CRSA que se exponen a continuación:

- a. La distancia entre la región de análisis y la estación no debe superar los 150 Km
- 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

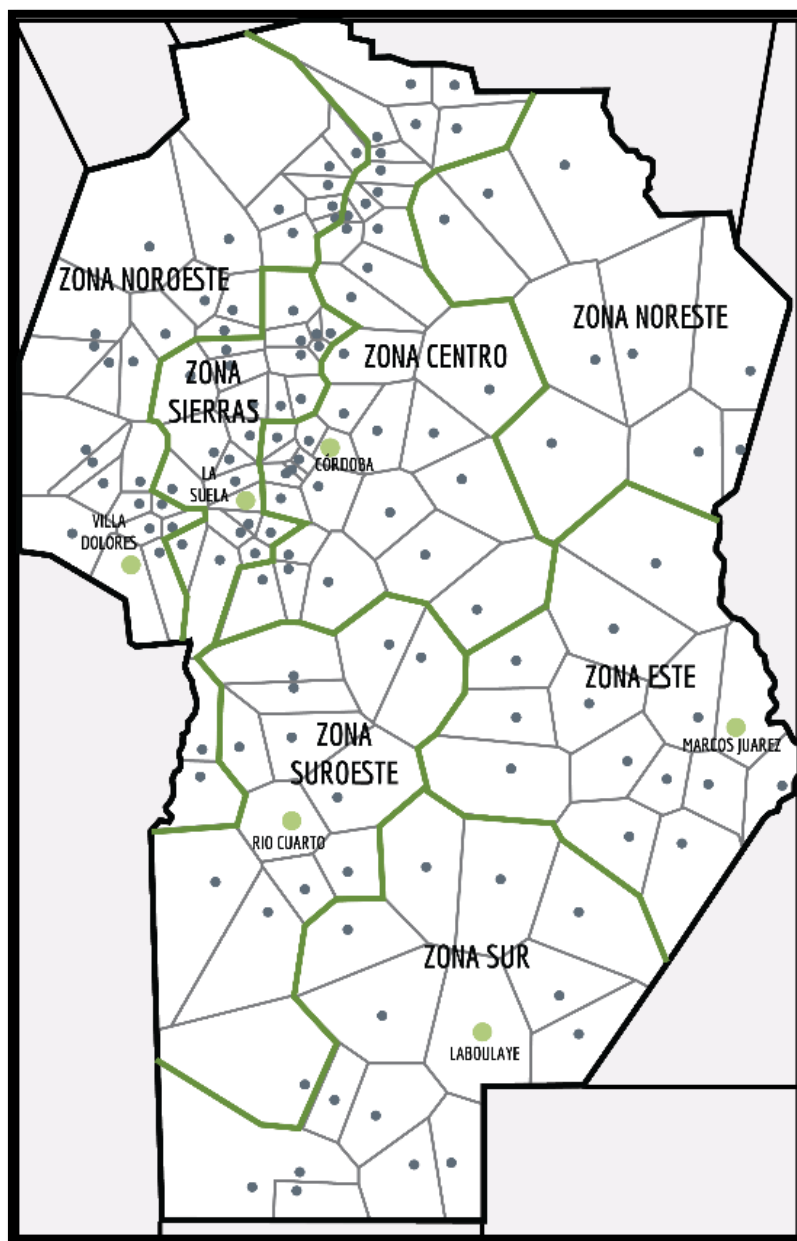


Figura 6.4. Regiones pluviográficas de la Provincia de Córdoba

6.4.1 Periodo de Retorno (TR)

Uno de los parámetros más importantes de la modelación hidrológica de una cuenca urbana, es la determinación del período de recurrencia que se adoptará para el cálculo. Dicho valor junto con el valor de tiempo de concentración, permitirá luego utilizando las curvas IDF determinar la intensidad de la tormenta de proyecto.

El período de recurrencia se define como el intervalo o lapso promedio de años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada.

Pueden adoptarse diferentes valores según las funciones a las cuales deben servir, como por ejemplo las funciones básicas y complementarias para 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. En función de dichas definiciones se adoptó el valor de 100 años de recurrencia para la función básica, mientras que para la complementaria la recurrencia es función del uso de la tierra y el tipo de vía terrestre, lo cual para este tipo de lote con uso residencial se recomienda adoptar recurrencias de 5 o 10 años respecto si se ubica sobre calles o avenidas. En base a ello, se adoptó el valor de 10 años de recurrencia para la función complementaria.

Cabe aclarar que se han verificado las obras de drenaje como el perfil tipo de las calles para recurrencia de 10 años (función básica) y se ha comprobado que el tirante para 100 años (función básica) no supere el nivel de los futuros umbrales de las viviendas.

Resumiendo, se ha considerado utilizar para el dimensionamiento del sistema de regulación un período de recurrencia de 10 años, verificando su funcionamiento para 25 y 100 años.

6.4.2 Duración (d)

La duración de una tormenta de diseño se define como el tiempo que ésta tarde en precipitarse sobre la superficie terrestre de la cuenca en estudio. En general se adopta que sea igual o levemente superior al Tiempo de Concentración (T_c) de la cuenca, a los fines de suponer que al punto de control esté aportando la totalidad del área de la misma, lo que dará origen a un caudal máximo.

El tiempo de concentración se define como el máximo tiempo de traslado que una gota de lluvia efectiva necesita para poder alcanzar la sección de salida de la cuenca.

Para la estimación del T_c de la cuenca se evaluaron varias fórmulas empíricas basadas en las características físicas de la misma, de las cuales se destacan algunas de las más usadas: Método Racional Generalizado, Kirpich, Bransby Williams, etc.

En el presente trabajo fueron utilizadas algunas de ellas entre las que se destacan:

- ✓ Método Racional Generalizado (MRG):

$$T_c = \frac{60 * K * L}{\Delta H^{0,3}} \quad (6.1)$$

Donde L es la longitud del cauce principal [m]; ΔH la diferencia de nivel de la cuenca [m] y K la rugosidad relativa del cauce (se sugiere adoptar K próximo a la unidad).

- ✓ Fórmula de Kirpich (K):

$$T_c = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (6.2)$$

Donde L es la longitud del cauce principal [m] y ΔH = diferencia de nivel de la cuenca [m]. Esta fórmula es muy utilizada en cuencas urbanas y para pendientes muy empinadas.

✓ Fórmula de Bransby Williams:

$$Tc = \frac{58 * L}{A^{0,1} * Sc^{0,2}} \quad (6.3)$$

Donde L es la longitud del cauce principal [m]; Sc es la pendiente de la cuenca [m/m] y A el área de la cuenca [Ha].

✓ Fórmula de Pilgrim:

$$Tc = 0,76 * A^{0,38} \quad (6.4)$$

Donde A es el área de la cuenca [Ha].

✓ Cartas de Velocidad Promedio de la SCS:

$$Tc = \frac{1}{60} * \sum \frac{L}{V} \quad (5.6)$$

Donde L es la longitud del cauce principal [m] y V la velocidad promedio de la onda de crecida [m/s] que puede obtenerse de la Tabla 6.2 expuesta a continuación:

Tabla 6.2. Velocidad promedio aproximada en ft³/m. (Fuente: "Hidrología Aplicada, V. T. Chow, 1994)

| Descripción del curso de agua | Pendiente en porcentaje | | | |
|---|-------------------------|----------|-----------|-------|
| | 0-3 | 4-7 | 8-11 | 12- |
| No concentrado* | | | | |
| Bosques | 0-1.5 | 1.5- 2.5 | 2.5- 3.25 | 3.25- |
| Pastizales | 0-2.5 | 2.5- 3.5 | 3.5- 4.25 | 4.25- |
| Cultivos | 0-3.0 | 3.0- 4.5 | 4.5- 5.5 | 5.5- |
| Pavimentos | 0-8.5 | 8.5-13.5 | 13.5-17 | 17- |
| Concentrado** | | | | |
| Canal de salida – la ecuación de Manning determina la velocidad | | | | |
| Canal natural no bien definido | 0-2 | 2-4 | 4-7 | 7- |

✓ Federal Aviation Administration

$$T_c = \frac{3,26 * (1,1 - C) * L^{0,5}}{S_c^{0,333}} \quad (6.7)$$

C = coeficiente de escorrentía del método racional; L = longitud del flujo superficial (m); S = pendiente de la superficie (m/m)

En la Tabla 6.3 a continuación se detallan los valores de Tiempos de Concentración calculados con las expresiones anteriormente expuestas para la cuenca bajo estudio. En la misma, se determinó un promedio ponderado en función de la aplicabilidad de las fórmulas al caso de estudio.

Tabla 6.3. Tiempos de Concentración (en minutos) según fórmulas

| Cuenca | Tiempos de concentración (min) | | | | | | Promedio | |
|--------|--------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------|----------|------------------|
| | Fórmula de Kirpich | Método Racional Generalizado | Fórmula de Pilgrim | Fórmula de Bransby Williams | Federal Aviation Administration | Cartas de Velocidad | Primerio | |
| | | | | | | | | General Ajustado |
| C1 | 2.38 | 4.01 | 7.92 | 6.86 | 26.25 | 1.07 | | 8.08 17.09 |

Por otro lado, se determinó el tiempo de retardo de la cuenca, el cual se obtuvo como:

$$T_r = 0,60 * T_c \quad (6.8)$$

Cabe aclarar que el tiempo de retardo (Tr) es el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad del hietograma de precipitaciones al centro de gravedad del hidrograma de caudales. Es decir, es el tiempo a partir del cual la lluvia considerada comienza a generar escurrimiento superficial. En la Tabla 6.4 podemos observar a modo de resumen los valores de Tc y Tr determinados

Tabla 6.4. Tiempo de Concentración y Retardo de la cuenca en estudio

| Cuenca | Tc (min) | Tr (min) |
|--------|----------|----------|
| C1 | 17.09 | 10.25 |

Una manera de estimar la duración de la precipitación que genera las mayores escorrentías en la cuenca, y que se utilizó en este caso, es realizar la modelación hidrológica del sistema para distintas duraciones de tormenta manteniendo fijos los restantes parámetros, sin dejar de tener en cuenta que dicha duración, debe ser igual o levemente superior al "tc" de la cuenca.

Por tal motivo la duración de la lluvia de diseño se adoptó en 60 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 a los efectos de evaluar el comportamiento ante otros escenarios meteorológicos.

6.4.3 Lámina Total Precipitada

Para obtener la lámina de agua precipitada fueron utilizadas las Curvas i-d-f desarrolladas por el Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (CIRSA) para la Zona Centro. (Figura 6.). Éstas 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.

- *Intensidad*: Es la tasa de precipitación temporal, es decir la profundidad de lluvia por unidad de tiempo.

$$i = \frac{P}{Td} \quad (6.9)$$

Donde P es la profundidad de la lámina precipitada [mm] y Td la duración de la lluvia [h].

- *Duración*: Definida en la Sección 6.4.2.
- *Frecuencia*: Expresada en función del Período de Retorno. Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud esta inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia.

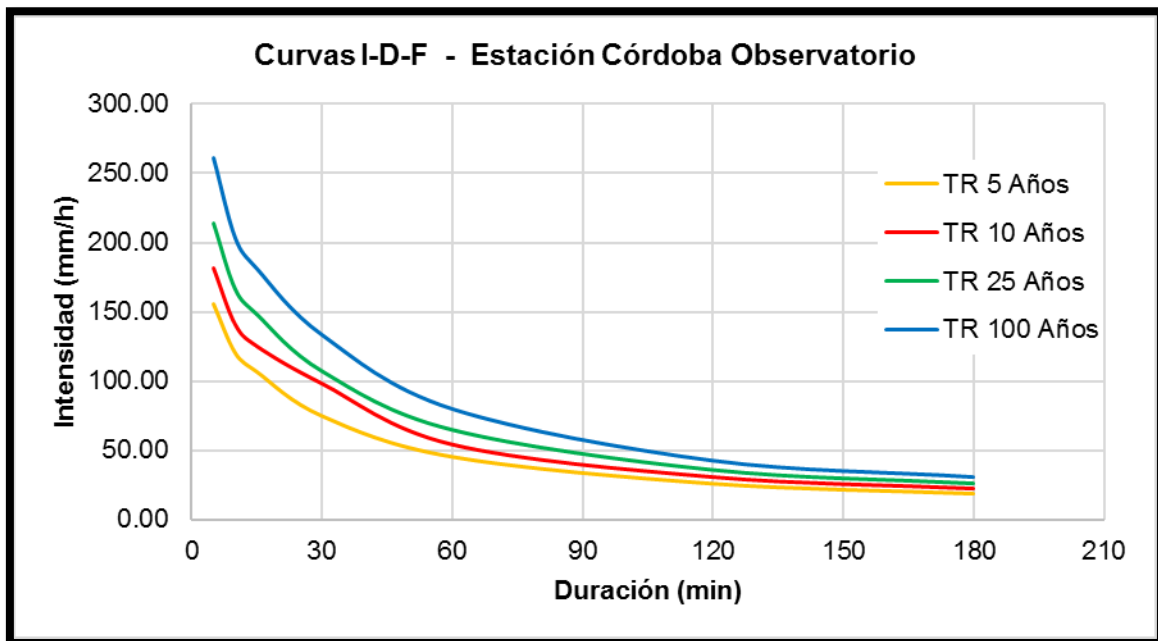


Figura 6.6. Curvas I-D-F. Estación Pluviográfica de Córdoba (Observatorio).

Los datos de i-d-f son expuestos en gráficos con la duración representada en el eje de las abscisas y la intensidad en el de ordenadas, mostrando una serie de curvas, para cada uno de los periodos de retorno del diseño. Estas curvas también pueden expresarse por medio de ecuaciones. Para su determinación se necesita contar con registros de lluvia y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el objetivo de

realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. El análisis de frecuencia busca estimar la precipitación o intensidad de lluvia, a la cual se asocian modelos probabilísticos. Así se consigue una asignación de probabilidad de ocurrencia para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración. Los datos de lluvia pueden ser determinados por medio registros históricos de precipitación de la zona de estudio (pueden ser de la cuenca que se va a analizar o de cuencas similares a la de estudio) o utilizando características generales de la precipitación en regiones adyacentes (cuenas que posean características similares a la de estudio).

De estas curvas, para periodos de recurrencia (TR) 5, 10, 25 y 100 años y duración de tormenta (d) de 60 minutos, se deducen las intensidades de lluvia (i) y láminas totales precipitadas (P), detalladas en la Tabla 6.5, destacando que ambas coinciden pues la duración de la precipitación es de una hora y la intensidad se encuentra expresada en milímetros por hora.

Tabla 6.5. Intensidad y Lámina Precipitada para diferentes recurrencias. Zona Centro.

| TR (años) | d = 60 min | |
|--------------|------------|--------|
| | i (mm/hs) | P (mm) |
| 5 | 45.28 | 45.28 |
| 10 | 51.87 | 51.87 |
| 25 | 62.08 | 62.08 |
| 100 | 81.46 | 81.46 |

6.4.4 Distribución Temporal

La distribución temporal de una tormenta tiene un rol importante en la respuesta hidrológica de cuencas en términos de desarrollo del hietograma de una tormenta, y se puede definir como el fraccionamiento en el tiempo de la lámina total precipitada (P). Existen diversos métodos para estimar la distribución temporal de la tormenta de proyecto.

En el presente estudio fue adoptado el criterio de patrones probables por periodos del mismo estudio, en el cual se establecen los porcentajes de lámina precipitada dividiendo la duración de la tormenta en seis intervalos, los cuales crecen en forma progresiva hasta alcanzar el pico (de mayor intensidad) y luego decrecen en forma progresiva los restantes.

Para la Zona Córdoba (Observatorio), cuando las lluvias son de corta duración (igual o menor a 2 horas), es más probable que el pico se ubique en el segundo sextil, mientras que en el caso de tormentas más largas esto ocurre en el primer sextil.

A continuación, en la Figura 6.5, se muestran los sextiles de la distribución temporal adoptada.

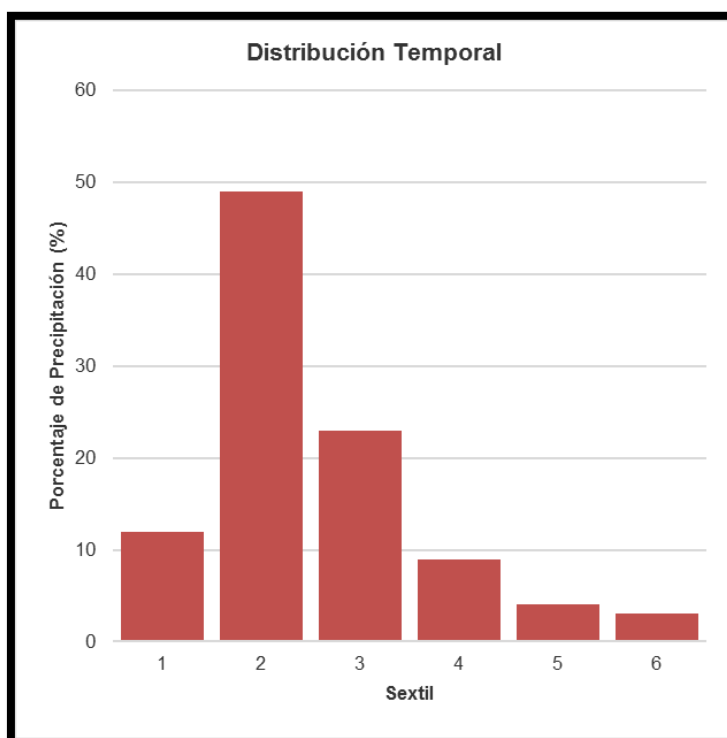


Figura 6.5. Distribución Temporal Zona Centro. Estación Córdoba Observatorio.

6.4.5 Distribución Espacial

La lámina resultante de la curva i-d-f es una lámina local que comprende un área en torno al pluviómetro que varía entre 2,5 y 25 Km² según las características climáticas y topográficas de la región.

A partir de lo anteriormente expuesto es que se recomienda efectuar una reducción por área, cuando se trate de cuencas intermedias o grandes, entendiéndose como tales a aquellas cuya extensión sea superior a los 25 Km².

Es por ello que en este caso en particular, sabiendo que la cuenca en estudio posee un área considerablemente inferior, no debe hacerse uso de dicha consideración.

6.4.6 Lámina Efectiva o Lluvia Neta. Pérdidas.

Como se sabe, cuando ocurre una precipitación, parte de ella se infiltra en el terreno y la parte restante da lugar a un escurrimiento superficial. En este sentido, 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 interceptación vegetal, almacenamiento superficial e infiltración, entre otros. En término matemáticos podríamos expresar lo anteriormente expuesto como:

$$\text{Lamina Efectiva} = \text{Precipitación Total} - \text{Pérdidas} \quad (6.10)$$

Existen diversos métodos para estimar las Pérdidas a lo largo de una tormenta y, en general, están basados en índices simplificados (α , Φ , W), ecuaciones de infiltración (Philip, Horton, etc.) y relaciones funcionales (Método del Número de Curva – CN del SCS). En el presente estudio fue adoptado el Método del Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS) para la estimación de pérdidas. Éste basa su teoría en dos hipótesis:

- i. La precipitación comienza a producir escurrimiento cuando la Precipitación Total (P) caída hasta ese momento supera un umbral inicial (P_0). Se considera que ese umbral inicial es el 20% de la máxima Pérdida posible (S).

$$P_0 = I_n + V_{ds} + I_f \quad (6.11)$$

Donde I_n es la interceptación vegetal; V_{ds} la detención superficial y I_f la infiltración.

- ii. Existe proporcionalidad entre las pérdidas reales (F) con respecto a la máxima Pérdida posible y la Precipitación Neta con respecto a la máxima que se puede producir, que sería la propia Precipitación Total en el supuesto caso que toda la lluvia pasase a formar parte de la Precipitación Neta. Es decir, establece relación entre dos cantidades reales y 2 potenciales. Entonces se tiene que:

$$\frac{\text{Pérdida producida}}{\text{Pérdida máxima}} = \frac{\text{Precipitación Neta producida}}{\text{Precipitación Neta máxima}} \quad (6.12)$$

La máxima Pérdida posible (S) depende del tipo de suelo, su pendiente y la vegetación que presenta.

Entonces, relacionando se tiene:

$$\frac{F}{S} = \frac{P - P_n}{S} = \frac{P_n}{P} \quad (6.13)$$

Si se consideran las pérdidas iniciales (primera hipótesis), la lluvia susceptible de formar parte de la retención real del suelo cumplirá:

$$\frac{P - P_0 - P_n}{S} = \frac{P_n}{P - P_0} \quad (6.14)$$

$$P_0 = 20\% * S \quad (6.15)$$

Desarrollando la misma, se llega a que la precipitación que va a generar escurrimiento superficial es:

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0} \quad (6.16)$$

Ahora bien, para expresar gráficamente el método, se consideró conveniente el siguiente cambio de variable:

$$CN = \frac{100}{10 + S} \quad (6.17)$$

Donde S debe expresarse en pulgadas [in]

CN es un Numero de Curva adimensional, que toma valores entre $0 \leq CN \leq 100$. Un CN de 0 significa que toda la precipitación caída es considerada perdida, mientras que un CN de 100 significa que toda la precipitación caída genera escurrimiento superficial. CN se encuentra tabulado en función de 4 factores:

- Tipo de Suelo:

Tabla 6.6.a Tipos de suelo según el método de abstracciones de lluvia del SCS. (Fuente: Manual de Usuario SWMM)

| Tipo | Descripción | K (mm/h) |
|------|--|-------------|
| A | Bajo potencial de escorrentía. Suelos con una alta tasa de infiltración incluso cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en arenas y gravas con drenaje profundo entre bueno y excesivo. | ≥ 11 |
| B | Suelos con tasa de infiltración media cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con drenaje profundo a moderado y textura de grano mediano. Ejemplos: marga arenosa o <i>loess</i> poco profundo. | 3,75 – 7,5 |
| C | Suelos con tasa de infiltración baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con una capa que impide el flujo de agua hacia abajo, o suelos con textura de grano fino. Ejemplos: marga arcillosa o marga arenosa poco profunda. | 1,25 – 3,75 |
| D | Alto potencial de escorrentía. Suelos con tasa de infiltración muy baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos arcillosos con un alto potencial de expansión, con un nivel freático permanentemente alto, con cubierta de arcilla en o cerca de la superficie y suelos poco profundos con una capa impermeable cerca de la superficie. | $\leq 1,25$ |

K = Conductividad hidráulica saturada (mm/h)

- Utilización de la tierra: cultivo, pastizal, bosque, urbanizado, etc.
- Pendiente
- Humedad previa del suelo (la cual se encuentra basada en la precipitación de los cinco días anteriores. Tabla 6.7):
 - AMC I: Seca
 - AMC II: Normal
 - AMC III: Húmedo

La ecuación (6.17) es para el caso de un suelo con humedad tipo AMC II. Este es el tipo de humedad que se considera para el caso del presente trabajo. Existen otras ecuaciones para los restantes casos.

Tabla 6.7.b 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 |

(Fuente: Soil Conservation Service, 1972, tabla 4.2, p. 4.12).

Si de la ecuación (6.17) se despeja S, se reemplaza en la ecuación (6.15) y luego ésta en (6.16), se obtiene:

$$P_n = \frac{\left(P + 2 - \frac{200}{CN}\right)^2}{P - 8 + \frac{800}{CN}} \quad (6.18)$$

Representando gráficamente la expresión (6.18) para diversos valores de CN, se obtienen las curvas que dan nombre al método, como se ve en la Figura 6.8:

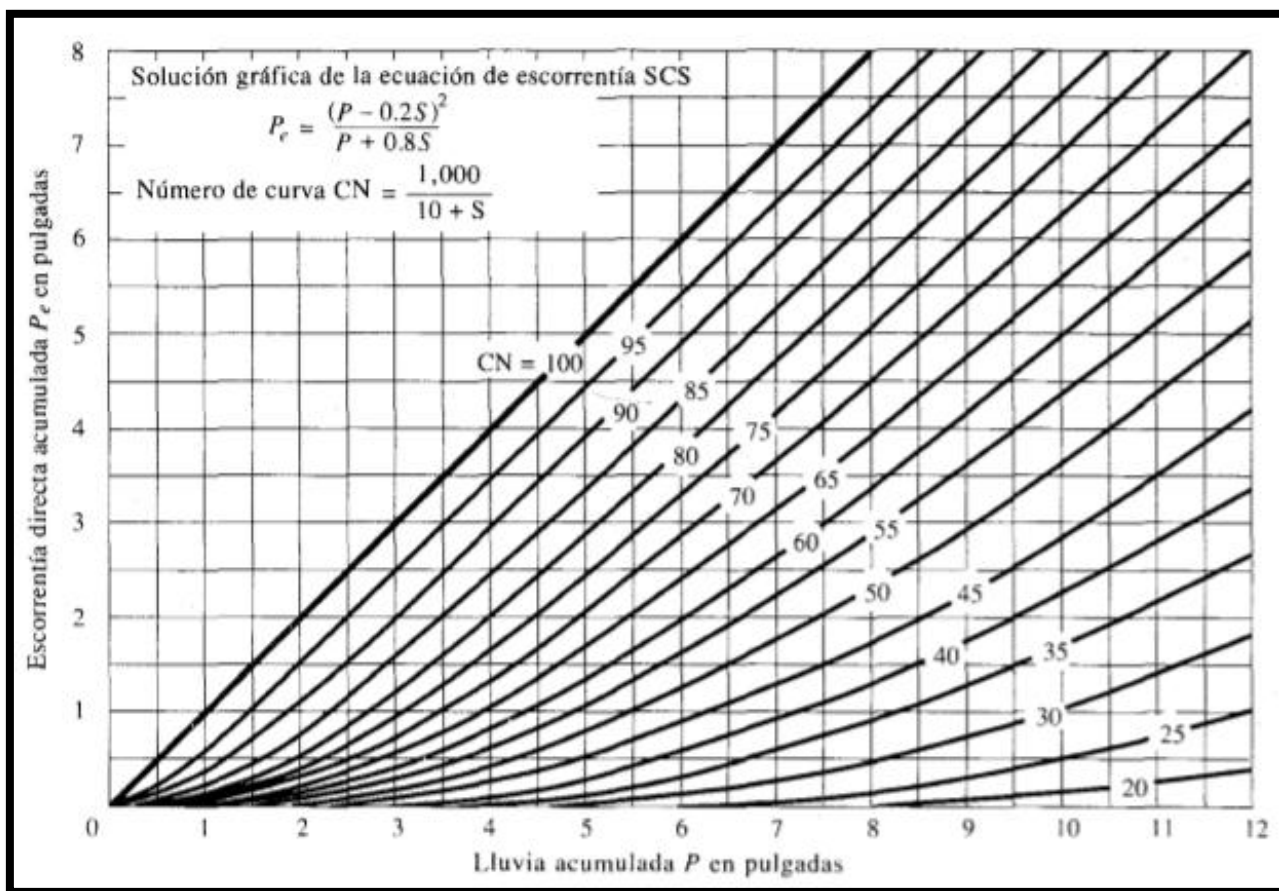


Figura 6.6 Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS. (Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T. Chow, 1994.)

En el presente trabajo, se utilizó una forma simplificada, en forma de tabla, para la determinación del CN en función del uso de la tierra y el grupo hidrológico del suelo, válido para condiciones antecedentes de humedad II e $I_a = 0,2S$. Esta se muestra a continuación en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Números de curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana. (Fuente: "Hidrología Aplicada", V. T.º Chow, 1994.)

| Descripción del uso de la tierra | Grupo hidrológico del suelo | | | |
|--|-----------------------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Tierra cultivada ¹ : 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 ² | 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 ³ : | | | | |
| Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴ | | | | |
| 1/8 acre o menos 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1/4 acre 38 | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1/3 acre 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 1/2 acre 25 | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 1 acre 20 | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵ | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras: | | | | |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵ | 98 | 98 | 98 | 98 |
| grava | 76 | 85 | 89 | 91 |
| tierra | 72 | 82 | 87 | 89 |

Los valores de CN adoptados surgieron a partir de recomendaciones establecidas en la Tablas de la bibliografía consultada (Chow V. T., 1994); en función de esto, se adopta para la situación actual un valor de CN = 69 que representa al terreno baldío. En tanto para la situación futura, se obtuvo el CN a partir de una ponderación de los valores CN correspondientes a los diferentes tipos de uso del suelo esperados en el futuro, en función del porcentaje que estos representan del área total de la cuenca. En este sentido se han adoptado los siguientes valores:

- Para Superficies Peatonales o Vehiculares, CN = 98.
- Para Superficies Edificadas, CN = 98.
- Para Espacios Verdes, CN = 69.

Para la determinación del CN representativo de la cuenca en el escenario futuro se delimitaron las distintas áreas dentro del mismo. Se destaca en color azul las piscinas del emprendimiento, en rojo, naranja y gris las distintas edificaciones y veredas, mientras que el resto de la parcela es espacio verde. El sector celeste es el espacio destinado para el volumen de regulación, el cual se explicará en los apartados siguientes. Se aprecia lo descrito en la Figura 6.9



Figura 6.7. Caracterización de los usos de suelo.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el valor de CN para el escenario futuro que surge de la ponderación de valores es de CN= 86.

A modo de resumen se muestra en la Tabla 6.8 el valor de CN según cada escenario.

Tabla 6.9. Valores de CN según cada escenario

| Cuenca | Escenario Actual | Escenario Futuro |
|-----------|------------------|------------------|
| C1 | 69 | 86 |

6.5 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Desde el punto de vista hidrológico el presente trabajo tiene dos objetivos, por un lado, cuantificar el impacto de la urbanización en la generación de caudales de la cuenca y por el otro, proyectar la correspondiente laguna de regulación.

Para la estimación de caudales fue utilizada la metodología 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 computacional SWMM para la modelación de las diferentes situaciones. En los siguientes puntos se describen en forma breve las principales características de los métodos empleados.

6.5.1 Transformación Lluvia-Caudal

Muchas veces no se cuentan con registros adecuados de escurrimiento en el lugar de estudio para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de las obras hidráulicas. Los datos de precipitaciones, por lo general, se presentan con mayor facilidad que los de escurrimiento.

Es por ello que frente a esta situación es conveniente contar con métodos que permitan el cálculo de los escurrimientos de una cuenca a través de las características de la misma y la precipitación. Estos datos pueden obtenerse a partir de planos topográficos y de uso de suelo, para el caso de las características de la cuenca, y mediciones directas para las precipitaciones.

6.5.2 Modelo Empleado (EPA SWMM v5.0)

El programa SWMM (Storm Water Management Model) fue elaborado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este modelo ha sido especialmente desarrollado para la simulación de sistemas de desagües pluviales y cloacales en forma combinada o separada.

Este modelo permite interpretar el comportamiento hidrológico de las cuencas de aportes y la respuesta hidrodinámica del sistema de desagüe. Esta es la principal diferencia respecto de los modelos hidrológicos – hidráulicos estándares, los cuales no consideran las perturbaciones de aguas abajo hacia aguas arriba.

SWMM utiliza para el tránsito de los hidrogramas métodos hidrológicos e hidráulicos, estos últimos consideran las ecuaciones de Saint-Venant en su forma completa. La posibilidad de modelar el tránsito hidráulico resulta fundamental en la simulación de desagües donde las condiciones de aguas abajo influyan sobre el escurrimiento en el sistema, como por ejemplo en tramos de baja pendiente o aguas arriba de conductos de escasa capacidad.

SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- El Módulo Atmosférico, desde la cual se analiza la lluvia caída y los contaminantes depositados sobre la superficie del suelo, que se analiza en el Módulo de Superficie del Suelo. SWMM utiliza el objeto Pluviómetro para representar las entradas de lluvia en el sistema.
- El Módulo de Superficie del Suelo, que se representa a través de uno o más objetos cuenca. Estos objetos reciben la precipitación del Módulo Atmosférico en forma de lluvia o nieve; y generan flujos de salida en forma de infiltración para el Módulo de Aguas Subterráneas y también como escorrentía superficial y cargas de contaminantes para el Módulo de Transporte.
- El Módulo de Aguas Subterráneas recibe la infiltración del Módulo de Superficie del Suelo y transfiere una parte de la misma como flujo de entrada para el Módulo de Transporte. Este módulo permite la simulación utilizando los objetos Acuíferos.
- El Módulo de Transporte contiene una red con elementos de transporte (canales, tuberías, bombas y elementos de regulación), unidades de almacenamiento y tratamiento que transportan el agua hacia los Nudos de Vertido o salidas del sistema. Los flujos de entrada de este Módulo pueden provenir de la escorrentía superficial, de la interacción con el flujo subterráneo, de los caudales sanitarios correspondientes a periodos sin lluvia, o de hidrogramas de entrada definidos por el usuario. Los componentes del Módulo de Transporte se modelan con los objetos Nudos y Conducciones.

De los distintos módulos que componen el modelo SWMM fueron empleados en el presente estudio los denominados Atmosférico, Superficie del Suelo y Transporte, los cuales se describen a continuación.

Módulo Atmosférico

La entrada al sistema son dados por los datos de lluvias que ocurren sobre una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio. Los datos de lluvia pueden ser definidos por el usuario mediante series temporales de datos o provenir de un archivo externo al programa. En la actualidad SWMM dispone de diferentes formatos de archivos de datos de lluvia, así como un formato estándar definido por el usuario.

Módulo Superficie del Suelo

Las cuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. El usuario del programa es el encargado de dividir el área de estudio en el número adecuado de cuencas e identificar el punto de salida de cada una de ellas. Los puntos de salida de cada una de las cuencas pueden ser bien nudos del sistema de drenaje o bien otras cuencas.

Las cuencas pueden dividirse en subáreas permeables (A2) y subáreas impermeables (A1+A3), Figura 6.10. La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de las subáreas permeables, pero no a través de las subáreas impermeables. Las áreas impermeables pueden dividirse a su vez en dos subáreas: una que contiene el almacenamiento en depresión (A1) y otra que no lo contempla (A2). El flujo de escorrentía

desde una subárea de la cuenca puede fluir hacia otra subárea o por el contrario dos subáreas pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

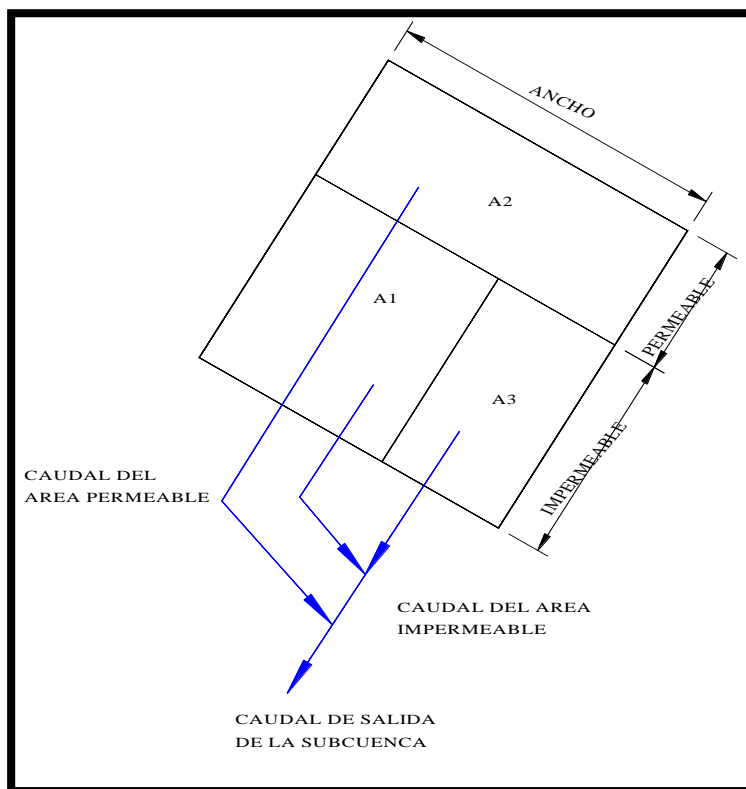


Figura 6.10. Esquema de modelación del módulo superficie del terreno. SWMM

La infiltración de lluvia de las zonas permeables de una determinada cuenca sobre la parte superior del suelo no saturado puede describirse utilizando tres modelos diferentes:

- El modelo de infiltración de Horton.
- El modelo de infiltración de Green-Ampt.
- El modelo de infiltración basado en el Número de Curva del SCS: Este método es una aproximación adoptada a partir del denominado Curve Number (CN) del "Soil Conservation Service" (SCS) de los EEUU, para estimar la escorrentía. La capacidad total de infiltración del suelo puede encontrarse en una tabla de Números de Curva tabulados. Durante un evento de precipitación esta capacidad se representa como una función de la lluvia acumulada y de la capacidad de infiltración restante. Los parámetros de entrada para este método son el Número de Curva (CN), la conductividad hidráulica del suelo (utilizada para estimar un tiempo de separación mínimo entre los distintos eventos de lluvia) y el tiempo que tarda el suelo en saturarse completamente cuando inicialmente era un suelo completamente seco.

Este módulo funciona con una serie de superficies las cuales al ser "excitadas" mediante un evento de precipitación generan escorrentía.

La visión conceptual del fenómeno de la escorrentía utilizado por SWMM se ilustra en la 6.11. Cada una de las cuencas se trata como un depósito no lineal. Los aportes de caudal provienen de los diferentes tipos de precipitación (lluvia, nieve) y de cualquier otra cuenca situada aguas arriba. Existen diferentes caudales de salida tales como la infiltración, la evaporación y la escorrentía superficial. La capacidad de este "depósito" es el valor máximo de un parámetro denominado almacenamiento en depresión (h_p), que corresponde con el máximo almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, el mojado superficial de la superficie del suelo y los caudales interceptados en la escorrentía superficial por las irregularidades del terreno.

La escorrentía superficial por unidad de área, Q , se produce únicamente cuando la profundidad del agua en este "depósito" (h) excede el valor del máximo almacenamiento en depresión, h_p , en cuyo caso el caudal de salida se obtiene por aplicación de la ecuación de Manning. La profundidad de agua en la cuenca (h expresado en pies) se actualiza continuamente en cada uno de los instantes de cálculo (con el tiempo expresado en segundos) mediante la resolución numérica del balance de caudales en la cuenca.

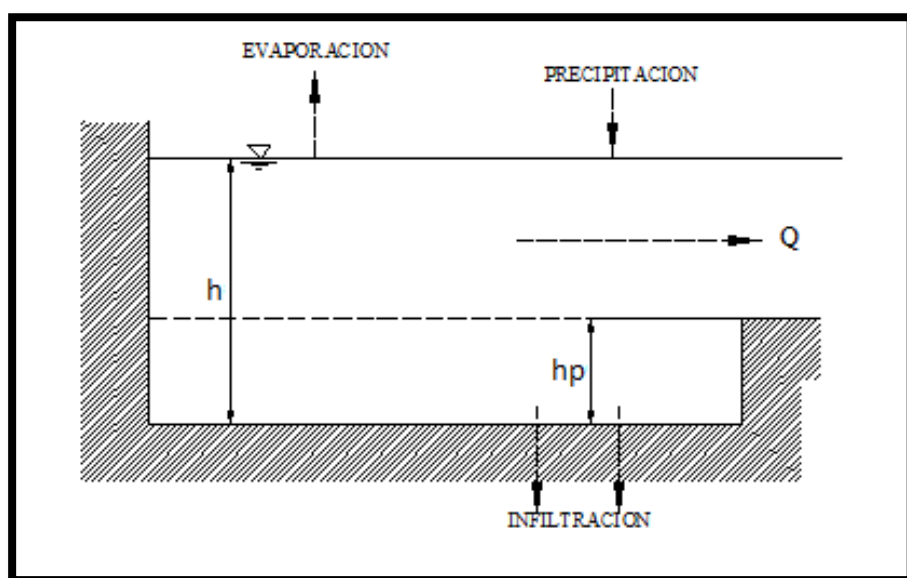


Figura 6.11. Esquema de reservorio No Lineal

El *caudal de salida* responde a la siguiente ecuación (1):

$$Q = \frac{W}{n} * (h - h_p)^{\frac{5}{3}} * (I_0)^{1/2} \quad (6.19)$$

Donde:

- Q : caudal de salida de la sub cuenca, [m³/s]
- W : ancho de la sub cuenca, [m]
- n : coeficiente de rugosidad de Manning
- h : profundidad del agua, [m]
- h_p : profundidad de la detención superficial, [m]
- I_0 : pendiente de la cuenca.

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

La *continuidad para cada sub cuenca* es:

$$\frac{dV}{dt} = A * \frac{dh}{dt} = A * i - Q \quad (6.20)$$

Donde:

- V: es el volumen de agua en la sub cuenca ($V = A \cdot h$), [m³/s]
- h: es la profundidad de agua, [m]
- t: es el tiempo, [s]
- A: superficie de la sub cuenca, [m²]
- i: intensidad de lluvia neta (precipitaciones menos infiltración y evaporación), [m/s]
- Q: caudal de salida de la sub cuenca según [6.19], [m³/s]

Las dos ecuaciones anteriores se combinan para dar lugar a la ecuación diferencial no lineal, a resolver para la profundidad:

$$\frac{dh}{dt} = i - \frac{W}{A * n} * (h - h_p)^{\frac{5}{3}} * (I_0)^{1/2} \quad (6.21)$$

Esta ecuación se resuelve mediante un esquema en diferencias finitas de Newton-Raphson, para cada incremento de tiempo. Por este motivo, es conveniente evitar sub cuencas de pocos metros cuadrados con incrementos de tiempo largos (varios minutos), para prevenir problemas de convergencia del esquema.

Los datos de entrada requeridos para realizar la ejecución de este módulo son:

- Datos meteorológicos: se debe introducir el evento (o eventos) de lluvia, como por ejemplo, mediante datos de intensidad de lluvia en intervalos fijados de tiempo y duración total (hietograma) o como lluvia total en mm.
- Características de las sub cuencas:
 - Asignación de un evento de lluvia (hietograma) a cada sub cuenca.
 - Número de identificación/nombre de la sub cuenca
 - Nodo al que se conecta
 - Ancho de la sub cuenca (W).
 - Área de la sub cuenca (A)
 - Pendiente media de la sub cuenca (I₀).
 - Coeficiente de rugosidad de Manning de las zonas permeables e impermeables.
 - Parámetros de infiltración, según la ecuación de Horton, Green-Ampt o Número de Curva del SCS.

Módulo de transporte

El "Módulo Hidráulico" del SWMM analiza el transporte de la lámina de agua o escorrentía (generada en las distintas superficies que definen las cuencas de aporte), a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento, bombas, elementos, etc. El transporte de agua por el interior de cualquiera de los conductos representados en SWMM está gobernado por las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento (ecuaciones de Saint Venant). El usuario del software puede seleccionar el nivel de sofisticación con que desea resolver estas ecuaciones. Por ello existen tres modelos hidráulicos de transporte (onda dinámica, onda difusiva y onda cinemática que se diferencian entre sí de acuerdo con los términos de la ecuación de cantidad de movimiento tenidos en cuenta), sin embargo, para el caso de grandes crecidas e inundaciones, donde en muchos casos se puede invertir el sentido de escurrimiento, se adopta el siguiente modelo:

- **Modelo de Onda Dinámica:** Este modelo de transporte resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nodos. Con este modelo es posible representar el escurrimiento a presión, de forma que el caudal que circula por el conducto puede exceder el caudal a sección llena obtenido mediante la ecuación de Manning. Las inundaciones ocurren en el sistema cuando la profundidad del agua en los nodos excede el valor máximo disponible en los mismos (usualmente representada por la diferencia entre el nivel del fondo de la cámara y el nivel del terreno). Este exceso de caudal bien puede perderse o bien puede generar un estancamiento en la parte superior del nodo y volver a entrar al sistema posteriormente. El modelo de transporte de la Onda Dinámica puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, el resalto hidráulico, las pérdidas de carga en la entrada y salida de los conductos, el flujo inverso y el flujo a presión.

El modelo SWMM permite:

- Simular redes de tamaño ilimitado
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, tanto abiertas como cerradas y canales naturales
- Simular elementos de control tales como almacenamientos, partidores de caudales, estaciones de bombeo, vertederos y orificios
- Simular distintos tipos de escurrimiento como efectos de remanso, escurrimiento a presión, flujo inverso y almacenamiento superficial
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular, por ejemplo, el funcionamiento de bombas o la apertura de orificios

Las ecuaciones de Saint-Venant que resuelve el "Módulo Hidráulico" son las siguientes:

i. Ecuación de continuidad para secciones prismáticas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (6.22)$$

Donde

- A: área de la sección
- Q: Caudal
- x: distancia a lo largo del conducto
- t: tiempo.

ii. Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{Q^2}{A})}{\partial x} + g * A * \frac{\partial H}{\partial x} + g * A * Sf = 0 \quad (6.23)$$

Donde

- g: gravedad
- H: cota piezométrica (H=z+h)
- z: cota de la solera o fondo del canal/conducto
- Sf: pendiente de fricción, según la ecuación de Manning.

Para resolver este sistema de ecuaciones diferenciales, el módulo transporte usa una descripción de la red en nodos ("junctions" o "nodes") y conductos ("links"), con elementos singulares tales como orificios, depósitos, vertederos, para representar matemáticamente el prototipo físico. Así, se usa la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en los conductos, y una modificación de la ecuación de continuidad en los nodos.

SWMM combina las ecuaciones 6.22 y 6.23 en una sola y la resuelve para todos los conductos en cada intervalo de tiempo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - 2U \frac{\partial A}{\partial t} - U^2 \frac{\partial A}{\partial x} + g * A * \frac{\partial H}{\partial x} + g * A * Sf = 0 \quad (6.24)$$

Donde:

- U: velocidad media

Por otro lado, aplica la ecuación de continuidad en los nodos para cada intervalo de tiempo:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \sum \frac{Q}{A_s} \quad (6.25)$$

Donde

- As: área del nodo (según la Figura 6.12, el área incluye el nodo propiamente dicho y el área correspondiente a la mitad de la longitud de los conductos que confluyen a ese nodo).

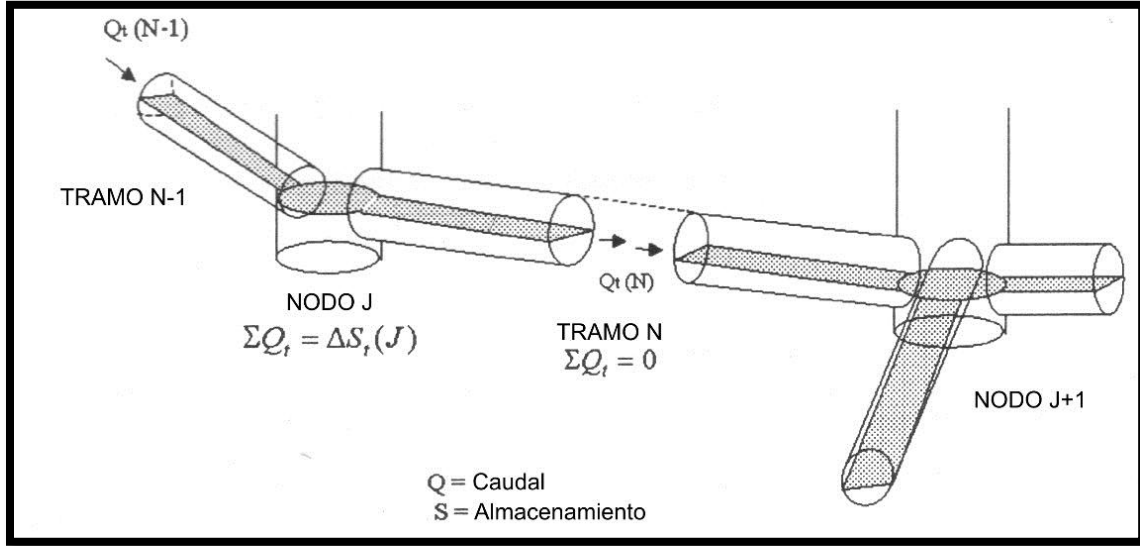


Figura 6.12: Representación conceptual del módulo transporte.

Las ecuaciones 6.24 y 6.25 se resuelven de forma secuencial para determinar el caudal en cada conducto y la profundidad en cada nodo para cada intervalo de tiempo mediante el método de Euler modificado.

Las condiciones que se deben cumplir para que el esquema sea estable son:

- i. Condición de Courant, donde el incremento de tiempo está limitado al tiempo necesario por una onda dinámica para propagarse en el conducto

$$\Delta t \leq \frac{L}{(g * h)^{1/2}} \quad (6.26)$$

Donde

- Δt : incremento de tiempo.
- L: longitud del conducto.
- h: profundidad máxima del conducto.
- g: aceleración de la gravedad.

- ii. Condición sobre los nodos

$$\Delta t \leq 0.1 * A_s \frac{\Delta H_{max}}{\Sigma Q} \quad (6.27)$$

Donde:

- ΔH_{max} : elevación máxima del agua en Δt
- ΣQ : caudal neto de entrada al nodo.

El cumplimiento de las dos ecuaciones anteriores será más restrictivo en los conductos más cortos y con mayores entradas de caudal. En general son comunes incrementos de tiempo de pocos segundos (10 a 30 segundos). El programa acepta un incremento de tiempo mínimo de 1 segundos.

Los datos de entrada requeridos por el módulo hidrodinámico son:

- Datos procedentes del Módulo Atmosférico
- Duración de los incrementos de tiempo:
 - Incremento de tiempo para el cálculo de las ecuaciones (teniendo precaución de cumplir las condiciones de estabilidad numérica)
 - Duración total de la simulación: La modelación debe durar lo suficiente para permitir el paso de los picos de caudales y niveles en todos los conductos y nodos de la red modelada.
- Características de los conductos:
 - Número/nombre de identificación del conducto
 - Número/nombre de identificación de los dos nodos que une el conducto.
 - Caudal inicial en el conducto
 - Tipo de conducto y sus dimensiones
 - Longitud del conducto
 - Desnivel de los extremos del conducto con respecto a la cota de fondo de los nodos.
 - Coeficiente de rugosidad de Manning
- Características de los nodos:
 - Número/nombre del nodo
 - Cota
 - Altura máxima: define la profundidad de agua para la cual el agua sale del sistema
- Características de la unidad de almacenamiento (laguna de regulación):
 - Número/nombre de la unidad de almacenamiento
 - Cota de fondo
 - Altura máxima: define la profundidad de agua para la cual el agua sale del sistema
 - Profundidad inicial: en caso de que haya un nivel fijo de agua
 - Curva de almacenamiento: Se deben cargar los datos que muestren como varía el área de la película de agua respecto a la profundidad de la unidad de almacenamiento

6.5.3 Aplicación del Modelo Hidrológico

Para la aplicación del software se modeló la cuenca en la que se encuentra el emprendimiento, tanto en la *situación actual* como en la *situación futura* (desarrollo completo del proyecto inmobiliario). De este modo, es posible observar el impacto del emprendimiento en el sector, y a partir de ello surgen las propuestas de las obras para mitigar sus efectos en cuanto a escurrimientos.

6.5.3.1 Situación actual

El punto de partida se encuentra en la creación del Modelo de Cuenca para el primer escenario, el cual representa la situación natural del terreno sin haber sufrido modificaciones. En él se busca determinar el caudal pico máximo que se genera a partir de determinada precipitación.

En este caso se utilizó una única cuenca la cual coincide con los límites del terreno como ya se mencionó anteriormente. La Figura 6. muestra la conformación del primer escenario.

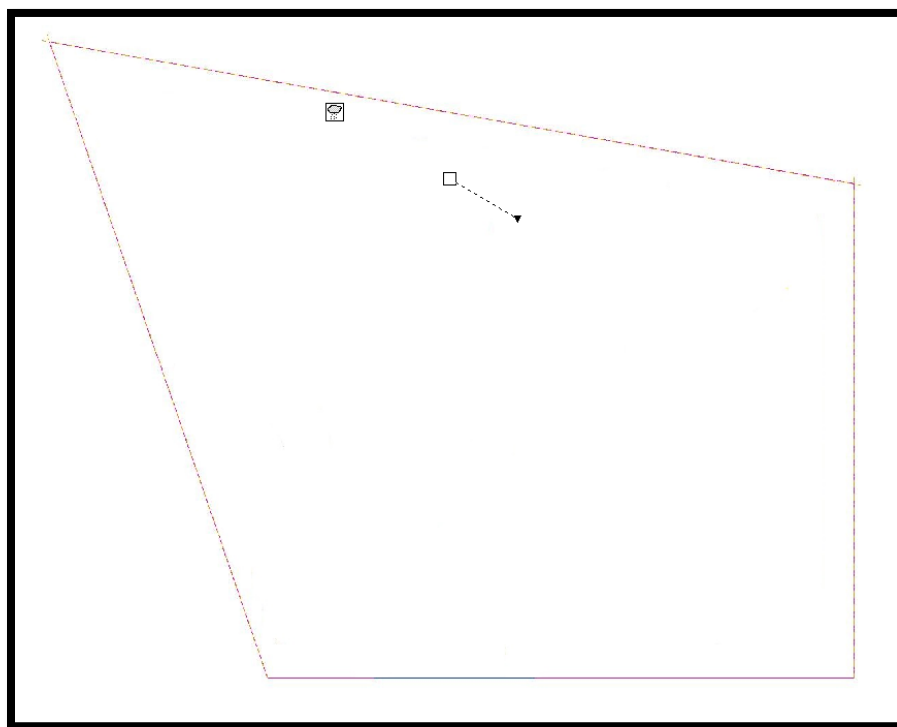


Figura 6.13. Esquema de Modelación Escenario Actual. SWMM

La cuenca debe poseer los parámetros que la caracterizan, y para ello estos deben ser cargados en un cuadro de diálogo como el que se presenta en la Figura 6.

| Property | Value |
|-----------------|--------------|
| Name | 1 |
| X-Coordinate | 4748.538 |
| Y-Coordinate | 7146.199 |
| Description | |
| Tag | |
| Rain Gage | 1 |
| Outlet | 2 |
| Area | 1 |
| Width | 104.49 |
| % Slope | 3.47 |
| % Imperv | 0 |
| N-Imperv | 0.015 |
| N-Perv | 0.03 |
| Dstore-Imperv | 2 |
| Dstore-Perv | 4 |
| %Zero-Imperv | 0 |
| Subarea Routing | OUTLET |
| Percent Routed | 100 |
| Infiltration | CURVE_NUMBER |
| Groundwater | NO |
| Snow Pack | |
| LID Controls | 0 |
| Land Uses | 0 |

User-assigned name of subcatchment

Figura 6.14. Parámetros por introducir a la cuenca bajo análisis. SWMM

Aquí los datos más relevantes a ingresar son:

- Name: Número/nombre de la cuenca
- Rain Gage: Asignación de la lluvia asociada a la cuenca
- Outlet: Nodo al que se conecta. En este caso, la única cuenca bajo análisis fue conectada a lo que se denomina "Outfall" o Punto de Vertido, el cual representa la salida del emprendimiento donde se miden los caudales.
- Area: Área de la cuenca
- Width: Ancho de la sub cuenca
- % Slope: Pendiente media de la cuenca

- % Imperv: Porcentaje de cuenca cuyo suelo es impermeable. En el caso de la situación actual este valor es cero ya que el terreno se encuentra en su estado natural
- N-Imperv: Coeficiente n de Manning para el flujo superficial sobre el área impermeable de la cuenca
- N-Perv: Coeficiente n de Manning para el flujo superficial sobre el área permeable de la cuenca
- Dstore-Imperv: Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la cuenca (se utilizaron valores recomendados por el manual de usuario).
- Dstore-perv: Altura de almacenamiento en depresión sobre el área permeable de la cuenca (se utilizaron valores recomendados por el manual de usuario).
- %Zero-Imperv: Porcentaje de suelo impermeable que no presenta almacenamiento en depresión.
- Infiltration: permite editar los parámetros de infiltración, según la ecuación de Horton, Green-Ampt o Número de Curva del SCS.

Los demás parámetros que no fueron explicados no fueron considerados en este análisis.

La utilización del Método Número de Curva del SCS para determinar las pérdidas requiere introducir los siguientes datos:

- Curve Number: Número de curva que caracteriza a la cuenca en cuestión
- Conductivity: Conductividad hidráulica del suelo completamente saturado (mm/h o in/h). Se utilizaron valores recomendados por el manual de usuario.
- Drying Time: Tiempo necesario (en días) para que un suelo completamente saturado se seque. Se utilizaron valores recomendados por el manual de usuario.

| Property | Value |
|--------------|-------|
| Curve Number | 69 |
| Conductivity | 0.5 |
| Drying Time | 4 |

SCS runoff curve number

Figura 6.15. Parámetros por introducir para el Método de Pérdida. SWMM

Luego, se deben cargar los datos de las lluvias que serán utilizadas para el análisis. Estas lluvias serán determinadas a partir de los datos obtenidos por el CRSA, particularmente para el pluviógrafo de la Zona Centro, como ya se mencionó con anterioridad.

En función de esto, sabiendo que se utilizará una lluvia de 60 minutos y que se analizarán tres períodos de recurrencia (10, 25 y 100 años) se obtendrán tres combinaciones de recurrencia-duración como se muestra en la Figura 6.

| Property | Value |
|-------------------|-------------|
| Name | 1 |
| X-Coordinate | -4593.596 |
| Y-Coordinate | 8731.527 |
| Description | |
| Tag | |
| Rain Format | VOLUME |
| Time Interval | 0:01 |
| Snow Catch Factor | 1.0 |
| Data Source | TIMESERIES |
| TIME SERIES: | |
| - Series Name | TR010_60MIN |
| DATA FILE: | |
| - File Name | TR010_60MIN |
| - Station ID | |
| - Rain Units | MM |

Name of rainfall time series (double-click to edit time series)

Figura 6.16. Registros de lluvias. SWMM

En el cuadro de dialogo de la figura anterior (6.15) se observa que los principales datos de entrada a ingresar para el pluviómetro son:

- Tipo de datos de lluvia (por ejemplo, intensidad de lluvia, volumen o volumen acumulado). En este caso se usó el tipo "volumen" ya que cada valor de precipitación es el volumen de lluvia recogido durante el intervalo de registro (en mm)
- Intervalo de tiempo de los datos (por ejemplo, cada hora, cada 15 minutos, etc.).

Una vez que los datos para la modelación del escenario actual fueron cargados en su totalidad se procede a correr el programa para efectuar las simulaciones para las tres combinaciones de recurrencia-precipitación planteadas para de esta manera obtener los resultados buscados.

A continuación, se plasman los flujos resultantes de la cuenca del emprendimiento para la situación actual. La Tabla 6.9 muestra los picos máximos obtenidos para las distintas recurrencias mientras que la Figura 6.16 muestra los hidrogramas para 60 minutos de duración con recurrencias de 10, 25 y 100 años.

Tabla 6.9. Caudales Situación Actual para la cuenca única bajo análisis.

| Escenario Actual | |
|-------------------------|--------------------------------|
| TR (años) | Caudales (l/s) |
| | UNICA |
| | Duración 60 minutos |
| 10 | 69.27 |
| 25 | 107.56 |
| 100 | 195.93 |

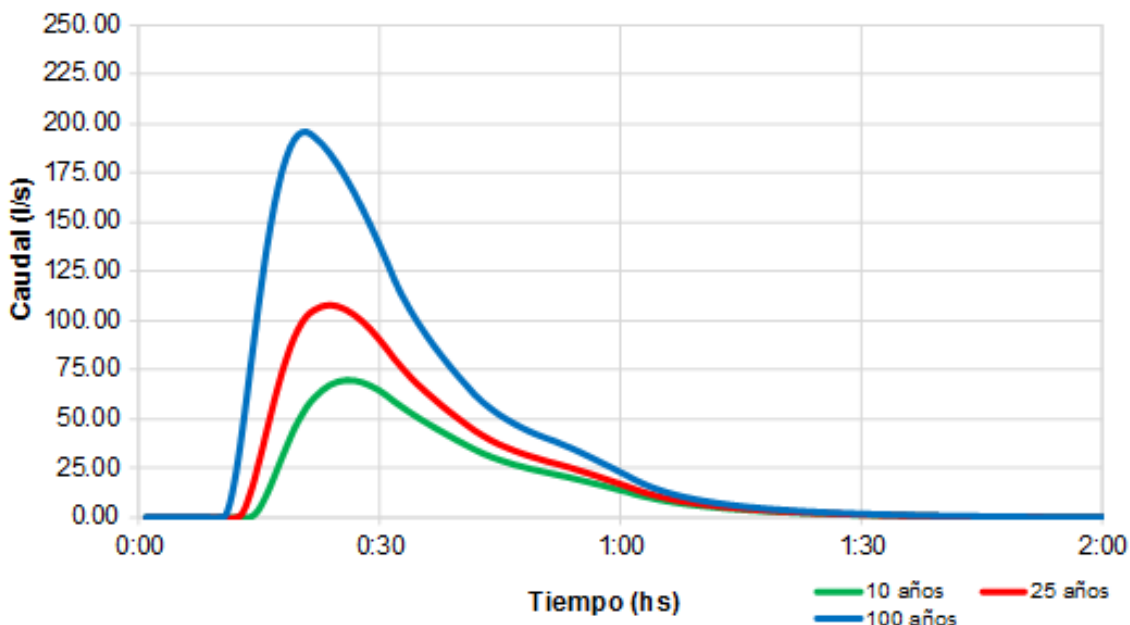


Figura 6.17. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Actual.

6.5.3.2 Situación futura Sin Regular

Esta situación corresponde al escenario futuro sin regulación, es decir se considera a la cuenca bajo análisis con el emprendimiento ya construido, pero aún sin ningún elemento que regule los excedentes de caudales que se generan debido a la impermeabilización del terreno.

El único dato que debe ser modificado en el modelo computacional SWMM para este escenario futuro respecto al escenario actual es el porcentaje de cuenca cuyo suelo es impermeable (% Imperv). Para calcular este valor se efectuó una ponderación de los valores del porcentaje de impermeabilización midiendo las áreas permeables e impermeables en el plano CAD del proyecto inmobiliario, lo cual puede observarse en la Tabla 6.10

Esta manera de evaluar la Situación Futura es una simplificación que se realiza para obtener una estimación del aumento de escorrentías que se produce producto de la construcción del complejo.

Por lo tanto, el porcentaje de cuenca cuyo suelo es impermeable fue calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{ imper.} = \frac{(\text{Área impermeable} * 100) + (\text{Área permeable} * 0)}{\text{Área total del terreno}} \quad (6.27)$$

El valor de 100 y 0 corresponden a los valores de porcentajes de impermeabilización para las áreas impermeables y permeables respectivamente.

Tabla 6.10. Valores de áreas permeables e impermeables del proyecto inmobiliario.

| Escenario futuro sin regulación | | |
|---|-------------|----------------------------------|
| Área Total Terreno (m2) | 10000 | Porcentaje de impermeabilización |
| Área impermeable (m2) | | |
| Desglose de áreas (m2) | | |
| Subsuelo cocheras | 4482 | |
| Ingreso a cocheras | 309 | 100 |
| Casilla guardia | 24 | |
| Deck Pileta | 255 | |
| Senderos peatonales | 1006 | |
| TOTAL AREA IMPERMEABLE | 6076 | |
| Área permeable (m2) = Area total - Area Impermeable | 3923 | 0 |
| Promedio Porcentaje Impermeabilización | | 60.8 |

Se exponen a continuación, los resultados alcanzados para el estado de emprendimiento desarrollado, sin obras de regulación (Tabla 6.11).

Tabla 6.11. Caudales Situación Futura sin Obras de Regulación para la cuenca única bajo análisis.

| Escenario Futuro Sin Regulación | |
|---------------------------------|------------------------|
| TR (años) | Caudales (l/s) |
| | UNICA |
| | Duración 60 minutos |
| 10 | 303.76 |
| 25 | 386.34 |
| 100 | 548.61 |

Del mismo modo que el caso anterior, se muestra en la Figura 6.17 los hidrogramas producidos en la cuenca para el Escenario Futuro sin regulación para recurrencias de 10,25 y 100 años, quedando en evidencia al comparar la situación actual con la futura, que el incremento de los escurrimientos es considerable.

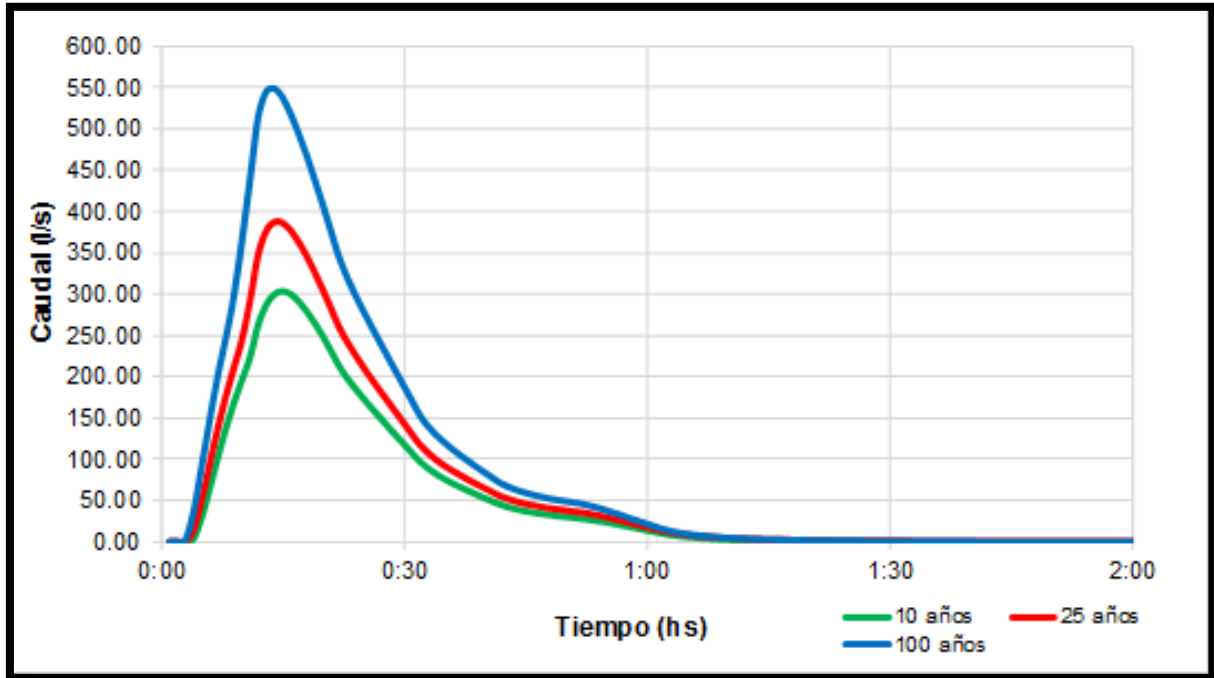


Figura 6.18. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Futura sin regular.



PRÁCTICA SUPERVISADA

PROYECTO DE DRENAJE

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 7

CAPÍTULO 7: PROYECTO DE DRENAJE

7.1 GENERALIDADES

La elaboración de un Proyecto de Drenaje requiere interpretar en forma integral la dinámica del sistema hidrológico y sus respuestas frente a modificaciones que pueden darse en las subcuencas que lo componen. En tal sentido, debe desarrollarse un modelo hidrológico computacional del mismo para simular el Escenario Actual y las diferentes alternativas de obras que se propongan dentro del Proyecto.

El Sistema de Drenaje propuesto estará dado por una laguna de regulación la cual tiene como principal objetivo demorar y atenuar el caudal pico que ingresa a la misma a través de las cañerías de desagüe pluvial, producto del mayor escurrimiento que se genera como consecuencia de la impermeabilización del suelo. De esta manera se busca que el caudal de salida sea el mismo, menor o levemente superior al que se presenta actualmente en condición natural, y así se evita perjudicar sectores que se encuentren aguas abajo del emprendimiento.

7.2 APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO

En primera instancia se determinó una posible ubicación de la laguna de regulación. El paso siguiente consistió en proponer un tamaño de laguna que permita almacenar el caudal a regular y luego verificar si este permite lograr un manejo eficiente de los escurrimientos. El volumen a almacenar por dicha laguna, como una manera de predimensionar su tamaño, resulta de la diferencia del área bajo la curva de los hidrogramas futuro sin regular y actual para TR 100 años y 60 min de duración. Dicho volumen resultó de $390 m^3$. A partir de aquí el proceso adquirió el carácter de iterativo, en un ida y vuelta hasta alcanzar la superficie y profundidad de laguna necesaria para poder regular de manera óptima los excedentes pluviales, ya que es muy difícil que se logre el volumen necesario en la primera propuesta efectuada.

Por lo tanto, dicha laguna y la disposición de las cañerías de desagüe se han modelado en el programa computacional SWMM, es decir se efectuó la modelación hidrológica del Escenario Futuro-Regulado, considerando el uso de suelo futuro y las obras de regulación de excedentes proyectadas funcionando. De dicha modelación surge que es posible reducir la laguna a $180 m^3$. Además, SWMM nos permite observar el comportamiento dinámico tanto de la laguna como de las cañerías que conforman el sistema de desagüe.

El esquema de modelación del Escenario Futuro-Regulado, se puede observar en la Figura 7.1 donde las líneas negras oscuras representan las tuberías, los cuadrados las cuencas, y subcuencas y los círculos los nodos los cuales en este caso representan a los sumideros.

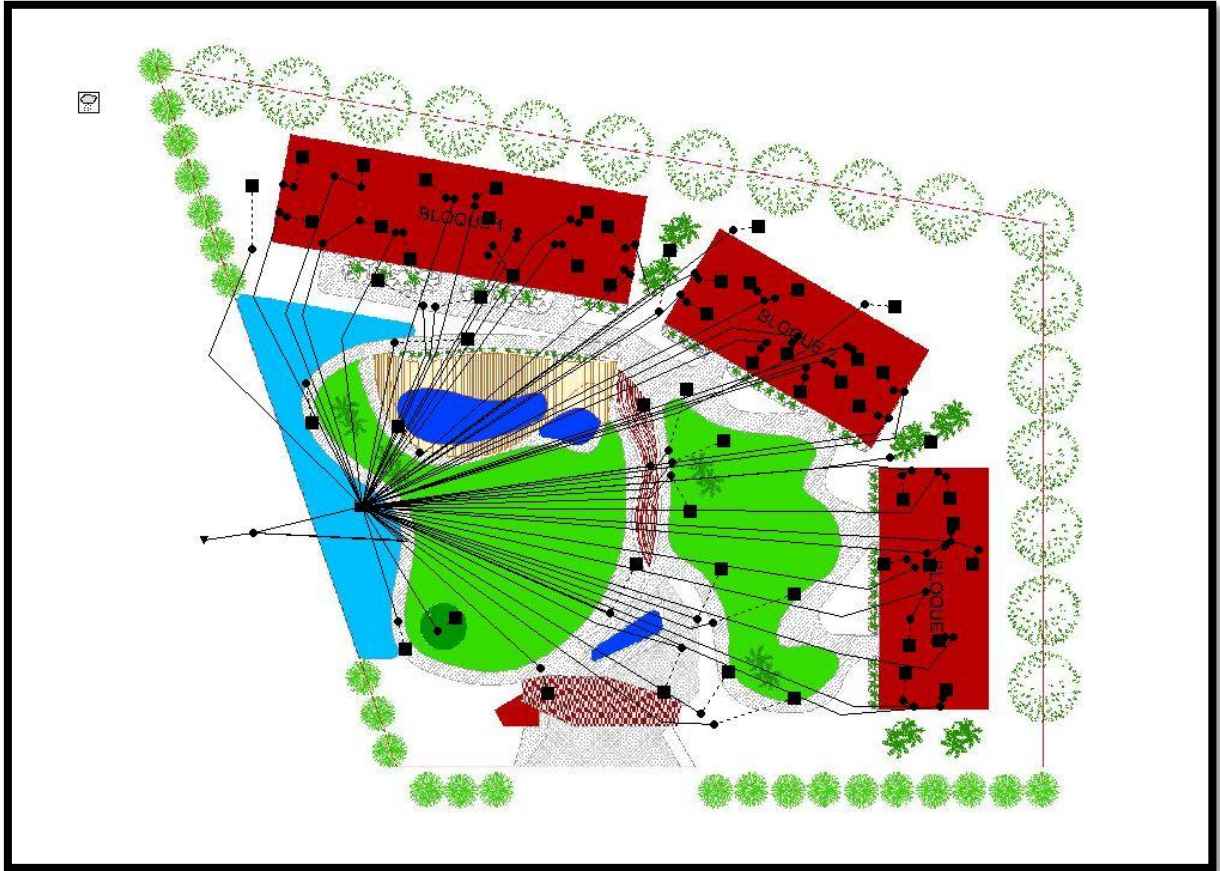


Figura 7.1. Esquema de Modelación Escenario Futuro Regulado. SWMM

A continuación, se muestra el ingreso de datos que debe hacerse en el programa computacional SWMM para cada uno de los elementos que conforman el sistema de drenaje (conductos, nodos, unidad de almacenamiento y salida del sistema)

- 1) Para los *conductos*, los cuales representan los caños de desagües pluviales ("Conduits"):

| Property | Value |
|-------------------------------|----------|
| Name | C3-T1 |
| Inlet Node | T1-N3 |
| Outlet Node | B1-3 |
| Description | |
| Tag | |
| Shape | CIRCULAR |
| Max. Depth | 0.11 |
| Length | 4.52 |
| Roughness | 0.009 |
| Inlet Offset | 0 |
| Outlet Offset | 12.555 |
| Initial Flow | 0 |
| Maximum Flow | 0 |
| Entry Loss Coeff. | 0 |
| Exit Loss Coeff. | 0 |
| Avg. Loss Coeff. | 0 |
| Flap Gate | NO |
| Culvert Code | |
| User-assigned name of Conduit | |

Figura 7.2. Parámetros a introducir para los conductos. SWMM

- Inlet Node: Nombre del nodo inicial del conducto
- Outlet Node: Nombre del nodo final del conducto
- Shape: Forma geométrica de la sección transversal del conducto
- Length: Longitud del conducto (en m)
- Roughness: Coeficiente de rugosidad n de Manning del conducto.
- Inlet Offset: Desnivel entre la base del nodo inicial y el conducto (en m)
- Outlet Offset: Desnivel entre la base del nodo final y el conducto (en m)

2) Para los *nodos*, los cuales representan los sumideros ("Junctions"):

| Property | Value |
|-----------------|----------|
| Name | BE-1 |
| X-Coordinate | 1200.527 |
| Y-Coordinate | 6823.722 |
| Description | |
| Tag | |
| Inflows | NO |
| Treatment | NO |
| Invert EL. | -0.3 |
| Max. Depth | 2 |
| Initial Depth | 0 |
| Surcharge Depth | 0 |
| Pondered Area | 0 |

User-assigned name of junction

Figura 7.3. Parámetros a introducir para los nodos. SWMM

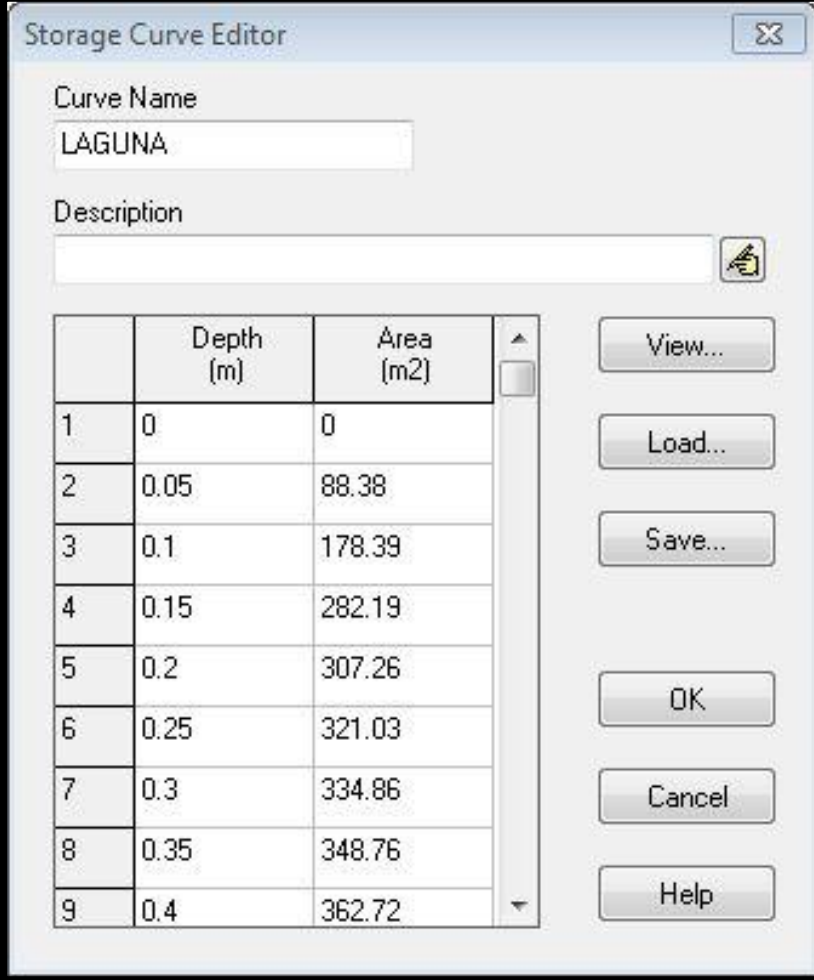
- Invert EL.: Cota de fondo de la conexión (en m)
- Max. Depth: Profundidad o nivel máximo en la conexión (en m)

- 3) Para la *unidad de almacenamiento*, la cual representa la laguna de regulación ("Storage Unit"):

| Storage Unit LAGUNA | |
|--|----------|
| Property | Value |
| Name | LAGUNA |
| X-Coordinate | 3226.798 |
| Y-Coordinate | 3792.724 |
| Description | |
| Tag | |
| Inflows | NO |
| Treatment | NO |
| Invert El. | -1.77 |
| Max. Depth | 0.8 |
| Initial Depth | 0 |
| Ponded Area | 0 |
| Evap. Factor | 0 |
| Infiltration | NO |
| Storage Curve | TABULAR |
| Functional Curve | |
| Coefficient | 1000 |
| Exponent | 0 |
| Constant | 0 |
| Tabular Curve | |
| Curve Name | LAGUNA |
| Method of describing the geometric shape of the storage unit | |

Figura 7.4. Parámetros a introducir para la unidad de almacenamiento. SWMM

- Invert EL.: Cota de fondo del depósito (en m).
- Max. Depth: Profundidad o nivel máximo en el depósito (en m).
- Storage Curve: Método para describir la geometría del depósito. En el caso "tabular", la geometría se describe mediante una curva de área frente al nivel de agua. Es decir, se deben cargar los valores del área de almacenamiento de la laguna para distintas alturas desde la cota de fondo hasta el coronamiento (curva altura-almacenamiento). Estos datos se extraen del dibujo de la laguna en Civil 3D. A continuación, en la figura 7.6 se muestra el cuadro de diálogo para ingresar los datos de la curva mencionada.



The image shows a software dialog box titled "Storage Curve Editor". It contains a "Curve Name" field with the text "LAGUNA" and a "Description" field which is empty. Below these fields is a table with two columns: "Depth (m)" and "Area (m2)". The table contains 9 rows of data. To the right of the table are several buttons: "View...", "Load...", "Save...", "OK", "Cancel", and "Help".

| | Depth (m) | Area (m2) |
|---|-----------|-----------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0.05 | 88.38 |
| 3 | 0.1 | 178.39 |
| 4 | 0.15 | 282.19 |
| 5 | 0.2 | 307.26 |
| 6 | 0.25 | 321.03 |
| 7 | 0.3 | 334.86 |
| 8 | 0.35 | 348.76 |
| 9 | 0.4 | 362.72 |

Figura 7.5. Cuadro de dialogo curva altura-almacenamiento. SWMM

La profundidad máxima que podía tener la laguna se vio condicionada por las cotas del proyecto arquitectónico y por la cota de la calle publica a la cual serán descargados los caudales de la laguna.

- 4) Para la salida del sistema, la cual representa el punto de vertido del sistema ("Outfall"):

| Property | Value |
|-----------------------------------|----------|
| Name | FINAL |
| X-Coordinate | 2368.051 |
| Y-Coordinate | 3729.328 |
| Description | |
| Tag | |
| Inflows | NO |
| Treatment | NO |
| Invert El. | -1.945 |
| Tide Gate | NO |
| Type | FREE |
| Fixed Outfall | |
| Fixed Stage | 0 |
| Tidal Outfall | |
| Curve Name | * |
| Time Series Outfall | |
| Series Name | * |
| Elevation of outfall's invert (m) | |

Figura 7.6. Parámetros a introducir para el punto de vertido del sistema. SWMM

- Invert EL.: Cota de fondo del punto de vertido (en m).

Por último y previo a efectuar la modelación en SWMM, fue necesario plantear la forma en que los caudales serán regulados a la salida de la laguna. Para esto, se propuso la construcción (dentro de la laguna misma) de una caja rectangular de hormigón armado en la cual serán colocados una serie de conductos en las paredes de la misma que nos permitan regular el excedente de caudales para poder descargar a la calle pública un caudal aproximadamente igual al que descarga el terreno en la situación de escenario actual. El funcionamiento de la caja de hormigón es análogo a un vertedero tipo "Pico de Pato".

7.2.1 Obras proyectadas

En base a lo anterior y luego de efectuar la modelación en SWMM se llegó a los siguientes resultados:

- Superficie de la laguna a nivel de coronamiento: 447,81 m²
- Superficie de fondo de la laguna: 276 m²
- Cota de Coronamiento de la laguna: 197,2 m
- Cota de Fondo de la laguna: 196,41 m
- Obra de Descarga hacia la calle pública: Un conducto tipo cajón de hormigón con dimensiones de 0,67 metros de ancho por 0,15 metros de alto y 21,8 metros de longitud.
- Taludes de la laguna: 2H: 1V
- Pendiente de fondo de la laguna: 0,3%

En cuanto a la ya mencionada caja rectangular de hormigón armado que será construida dentro de la laguna las dimensiones de la misma serán:

- Área en planta: 1 m²
- Altura: 77cm
- Espesor de pared: 15cm

En cuanto a la regulación de los caudales será necesario lo siguiente:

- Para regular el caudal con TR 10 años:
 - 6 conductos de PVC de diámetro 110 mm colocados en el fondo de la caja de hormigón.
- Para regular el caudal con TR 25 años:
 - 5 conductos de PVC de diámetro 110 mm colocados a una altura de 52cm del fondo de la caja de hormigón.
- Para regular el caudal con TR 100 años:
 - 8 conductos de PVC de diámetro 110 mm colocados a una altura de 58cm del fondo de la caja de hormigón.

En los planos de detalles al final del informe se pueden apreciar todas las obras mencionadas anteriormente.

En la Figura 7.7, se puede visualizar la ubicación de la laguna proyectada. La ubicación de la misma se determinó en forma conjunta con el comitente del emprendimiento. Los factores que influyeron en dicha determinación fueron la poca disponibilidad de espacios verdes, el proyecto arquitectónico y la topografía del terreno, lo que llevo a que la laguna se ubicara en el límite oeste del lote con una forma irregular en planta tal como se observa en la figura anterior.



Figura 7.7. Ubicación de la Laguna de Regulación.

7.2.2 Análisis de los Resultados

Luego de la modelación de la Laguna con su tamaño definitivo junto a las demás obras proyectadas, se realizó el análisis de los resultados obtenidos. A continuación, en la Tabla 7.1 se muestran los caudales para el Escenario Regulado y en la Figura 7.8 se exponen los gráficos de caudal de salida del emprendimiento.

Tabla 7.1. Caudales Situación Futura Regulada para la cuenca única bajo análisis.

| Escenario Futuro Regulado | |
|----------------------------------|-----------------------|
| TR (años) | Caudales (l/s) |
| | UNICA |
| | Duración |
| | 60 minutos |
| 10 | 70.23 |
| 25 | 106.02 |
| 100 | 194.73 |

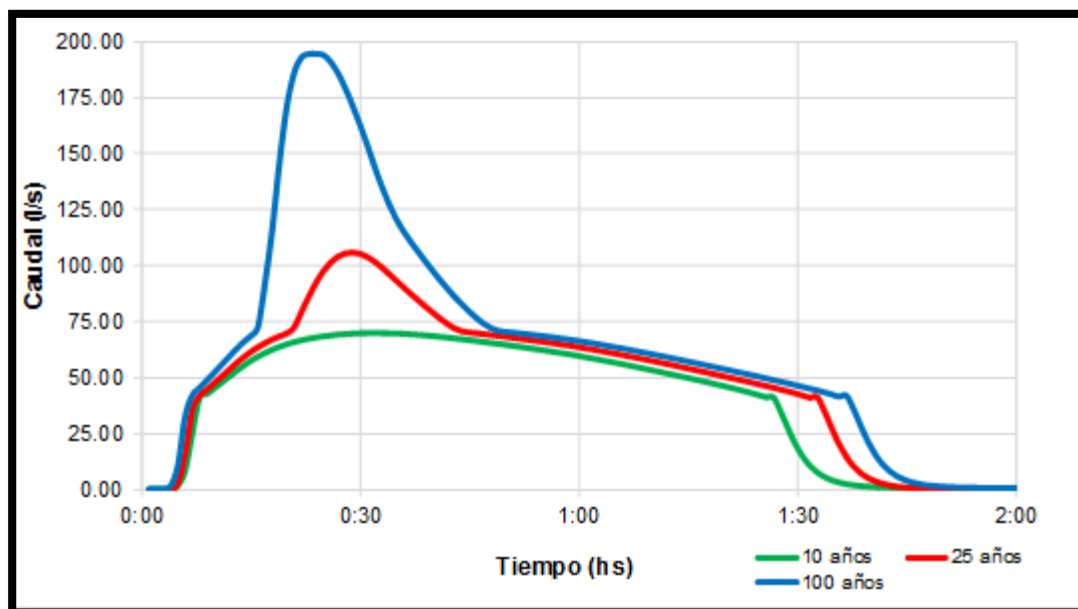


Figura 7.8. Hidrogramas de Salida Cuenca Única – Lluvia 60 min – Situación Futura Regulada

Para determinar si la laguna diseñada lograba restituir la Situación Actual se compararon los caudales de esta con la Situación Regulada. En la siguiente Tabla se puede observar la diferencia entre ambos Escenarios:

Tabla 7.2 Diferencia de Caudales entre Escenario Actual y Regulado.

| Caudales Totales de Salida del Predio (l/s) - 60 minutos | | | |
|--|---------------|----------------|----------------|
| TR (años) | 10 | 25 | 100 |
| Escenario Actual | 69.2700 | 107.5600 | 195.9300 |
| Escenario Futuro | 303.76 | 386.3400 | 386.3400 |
| Escenario Regulado | 70.2300 | 106.0200 | 194.7300 |
| Diferencia (Regulado - Actual) | 0.9600 | -1.5400 | -1.2000 |

Como puede observarse en la Tabla 7.2 por un lado se presentan diferencias negativas, mientras que, por otro lado, hay diferencias positivas. En el primero de los casos se logra sobre regular los excedentes generados, siendo el caudal de descarga inferior al caudal que tiene lugar en el Escenario Actual. En tanto las diferencias positivas indican que no se logra regular los excedentes. Esto último se observa para recurrencias de 10 años, sin embargo, la diferencia es muy pequeña por lo que se la toma como aceptable ya que el porcentaje de regulación alcanzado es muy alto.

Por lo tanto, se puede decir que, con las obras de regulación propuestas, para recurrencias de 25 y 100 años, se logra descargar caudales inferiores a los descargados actualmente, en tanto que para recurrencias 10 años, los caudales en un escenario futuro, serán muy próximos a los actuales. De esta forma se puede concluir que el sistema de drenaje planteado permite la regulación de los excedentes.

En la Figuras 7.9, 7.10 y 7.11 se muestran los hidrogramas de salida del predio para las recurrencias de 10, 25 y 100 años para los tres escenarios (Actual, Futuro y Futuro Regulado).

Es importante hacer una comparación entre los hidrogramas de salida del escenario futuro y del escenario futuro regulado notándose que gracias a las obras de regulación logra disminuirse el caudal pico a la salida de la laguna y por otro lado un retardo en el tiempo en el que ocurre dicho pico.

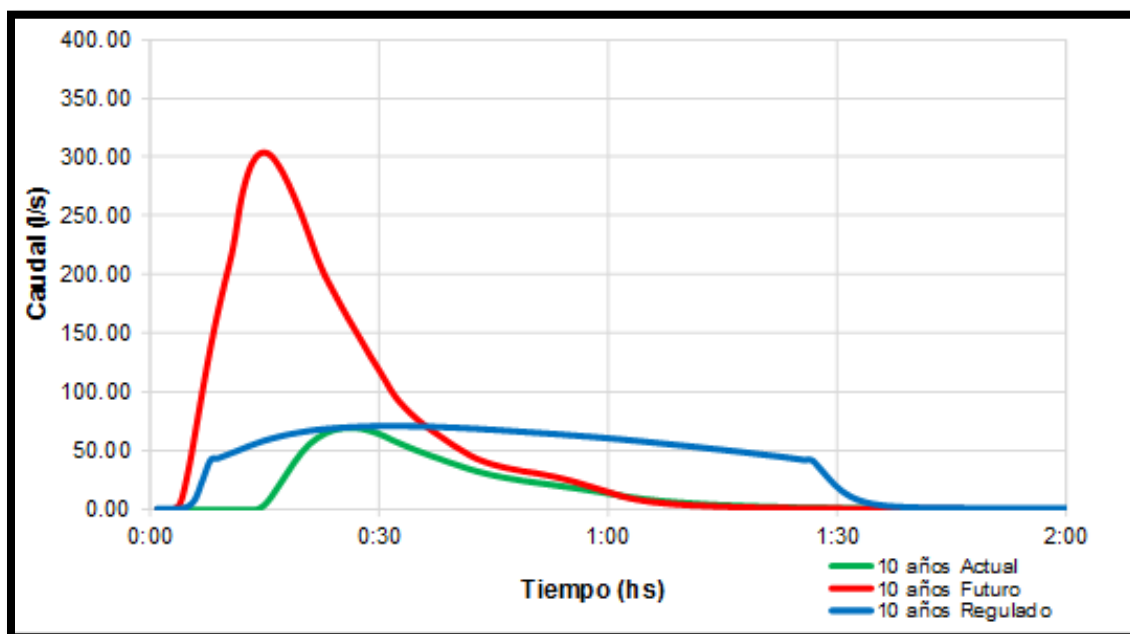


Figura 7.9. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 10 años - Lluvia 60 min

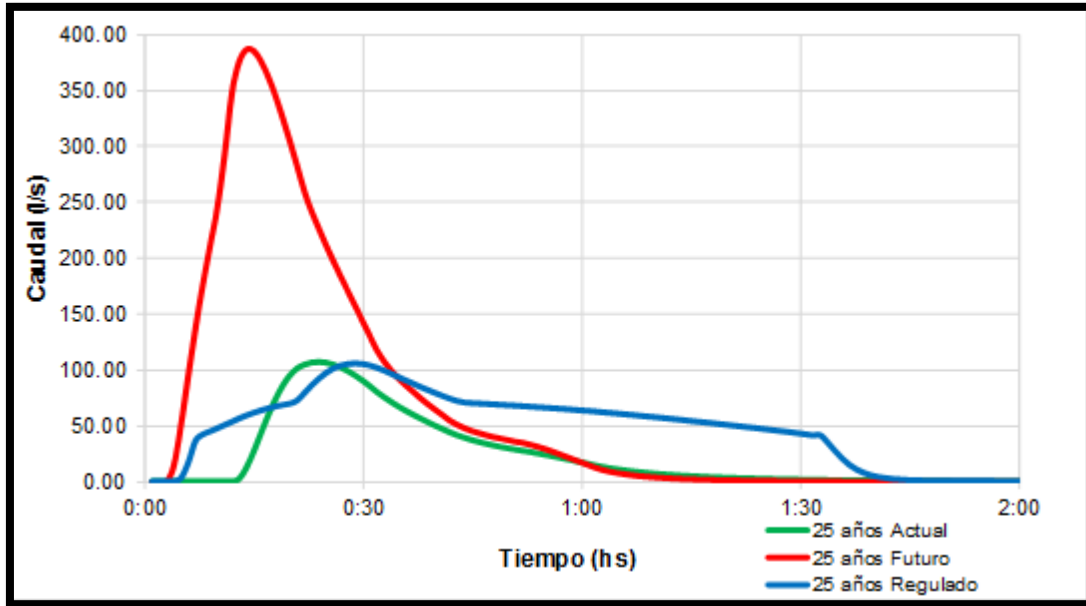


Figura 7.10. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 25 años - Lluvia 60 min

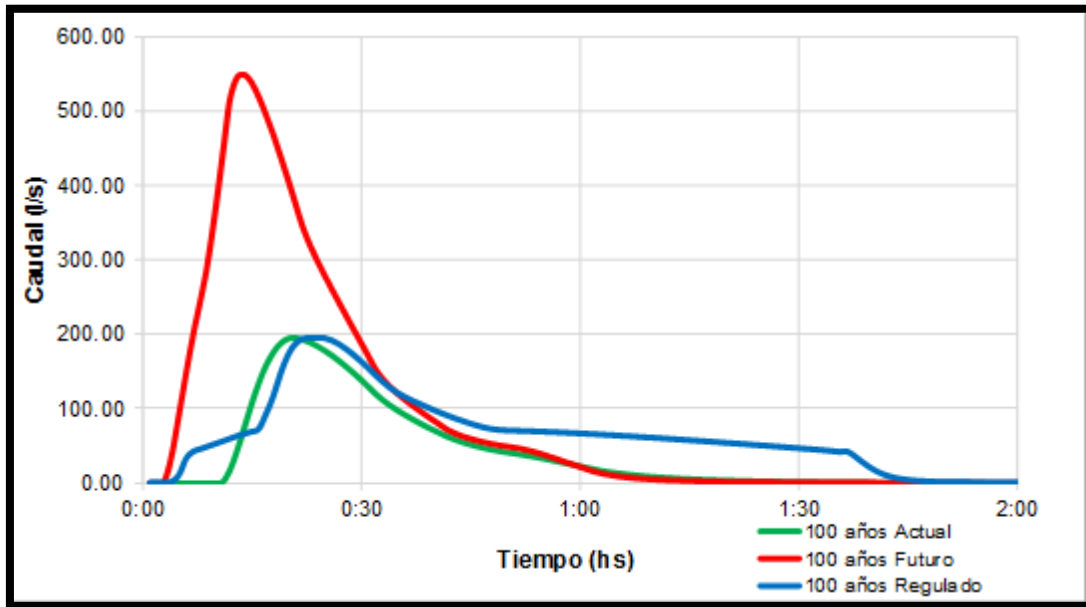


Figura 7.11. Hidrogramas de Salida del Predio –TR 100 años - Lluvia 60 min

Por otro lado, en la Figura 7.12 se muestran los niveles alcanzados en la laguna mientras que en la Figura 7.13 se expone gráficamente la curva altura-volumen-superficie de la Laguna.

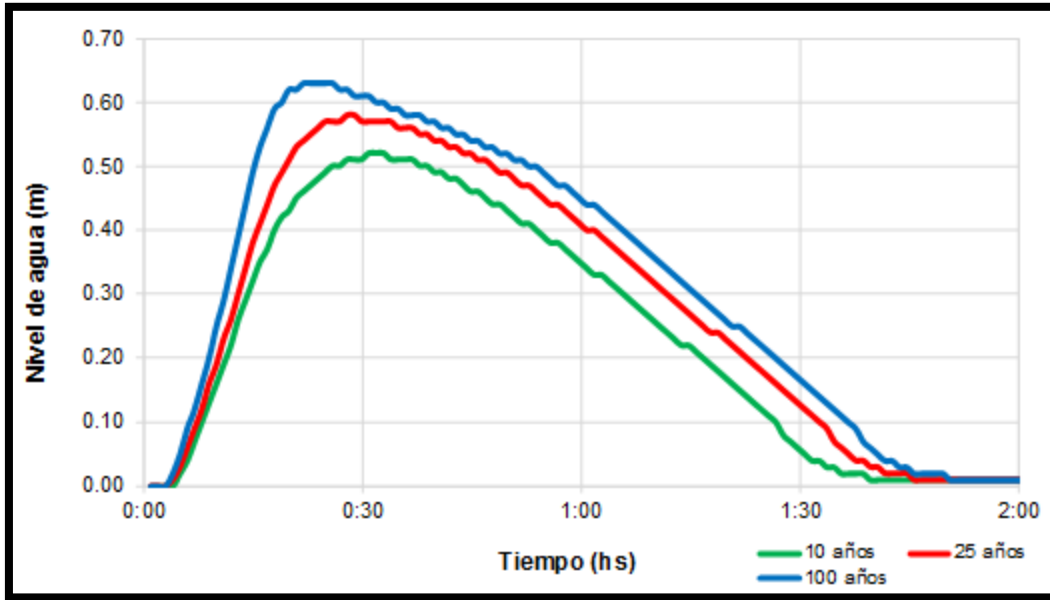


Figura 7.12. Niveles de agua en la Laguna para las distintas recurrencias.

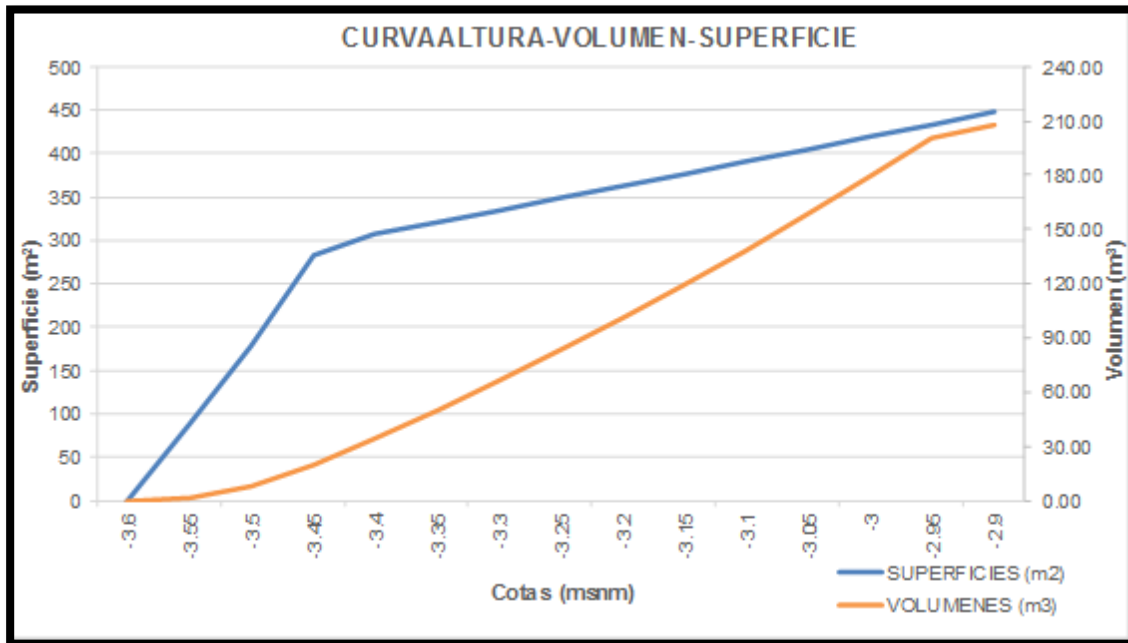


Figura 7.13. Curva Altura-Volumen-Superficie de la Laguna

Al observar la Figura 7.13 es necesario aclarar que la cota -2.9 m se corresponde con la cota de los senderos peatonales que bordean a la laguna, los cuales representan el coronamiento de la misma.

Haciendo un análisis de los hidrogramas de salida de la figura 7.8 podemos observar que para recurrencias de 25 años ocurre un sobresalto en el gráfico. Este sobresalto ocurre cuando el nivel de agua en la laguna supera la cota en la que se encuentran los conductos descargadores para 25 años de recurrencia (ubicados a 52 cm desde el fondo). En ese momento el agua está siendo evacuada por los descargadores de fondo y también por esos conductos colocados para 25 años de recurrencia. Con el pasar de los minutos, el nivel de agua en la laguna desciende y deja de pasar agua por los descargadores para 25 años funcionando solamente los descargadores de fondo.

Corresponde hacer un mismo análisis para recurrencias de 100 años donde también se tienen conductos descargadores a mayor altura (ubicados a 58 cm desde el fondo).

7.2.3 Verificación de las funciones básicas y complementarias para el sistema de drenaje

A continuación, y tal como el título lo dice, se hará una verificación de las funciones básicas y complementarias las cuales fueron las que nos permitieron definir el periodo de retorno de las obras proyectadas.

Recordando lo que se dijo anteriormente, 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.

Cuando se definió el periodo de retorno, se adoptó el valor de *100 años* de recurrencia para cumplir con la función básica y *10 años* de recurrencia para cumplir con la función complementaria.

Por tanto, en función del perfil tipo de la calle que recibe las descargas de caudales del emprendimiento (Enrique Cavendish; Figura 7.15) la verificación debe cumplir lo siguiente:

- Para la función básica: Se fija como máximo nivel de inundación permitido el umbral de las viviendas (10 cm desde el nivel de vereda).
- Para la función complementaria: Se fija como máximo nivel de inundación permitido la altura del cordón cuneta (H cordón cuneta= 15 cm).

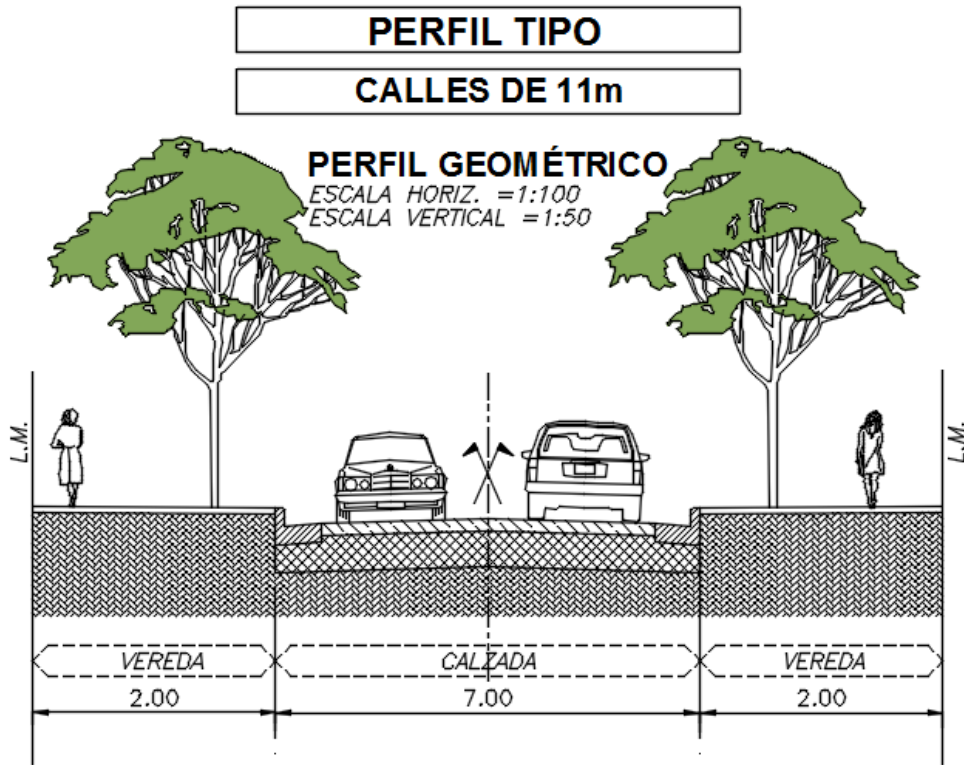


Figura 7.14. Perfil Tipo Calle Enrique Cavendish (11 m)

CORDON CUNETA

ESCALA 1:10

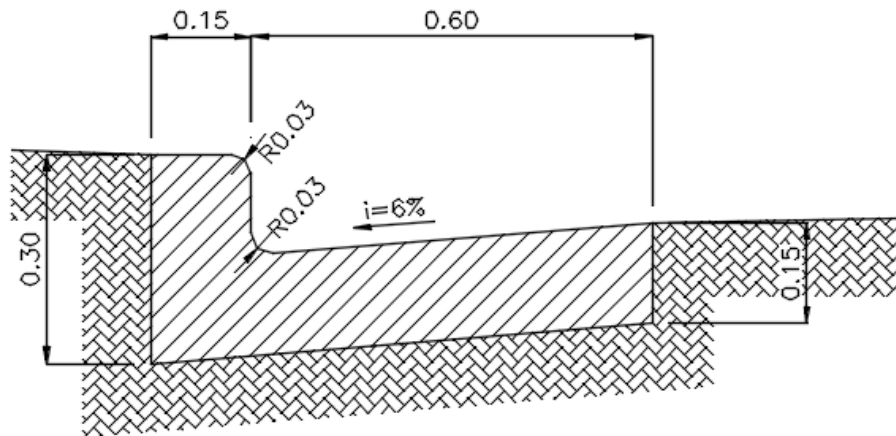


Figura 7.15. Detalle Cordon Cuneta

Las cunetas fueron consideradas, para su verificación, como canales a cielo abierto. Para el cálculo fue adoptada la ecuación de Manning para canales en régimen permanente.

La expresión de Manning se detalla a continuación:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}}{n}$$

Donde

- Q: caudal en m³/s.
- A: área en m².
- R: radio hidráulico (igual a la relación A/P) en m.
- P: perímetro mojado en m.
- S: pendiente longitudinal en m/m.
- n: coeficiente de rugosidad de Manning. (se adoptó un valor de 0,015)

En la siguiente Figura 7.16 se presenta el perfil de la **Calle Enrique Cavendish** junto con los máximos niveles de inundación permitidos explicados anteriormente.

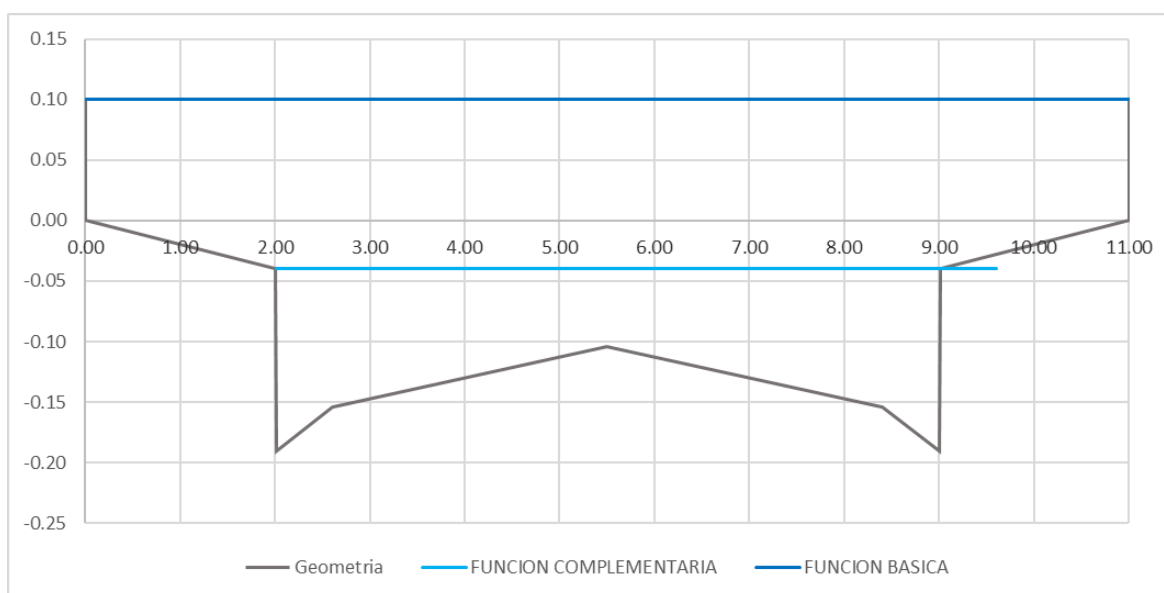


Figura 7.16. Niveles máximos de inundación permitidos (Perfil Calle Enrique Cavendish)

A partir de la aplicación de la ecuación de Manning, tenemos:

- **Función Básica:** Tr = 100 años
 - Caudal de salida del emprendimiento $Q = 0,1947 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Caudal de aporte de lotes vecinos (Por Método Racional) $Q = 0,27 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Q total aporte = $0,1947 \text{ m}^3/\text{s} + 0,27 \text{ m}^3/\text{s} = 0,467 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Capacidad de transporte de la calle $Q = 7,19 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Q total aporte < Capacidad de transporte de la Calle **VERIFICA**

- **Función Complementaria:** $Tr = 10$ años
 - Caudal de salida del emprendimiento $Q = 0,0702 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Caudal de aporte de lotes vecinos (Por Método Racional) $Q = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Q aporte total = $0,0702 \text{ m}^3/\text{s} + 0,17 \text{ m}^3/\text{s} = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Capacidad de transporte de la calle $Q = 3,67 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Q aporte total < Capacidad de transporte de la Calle **VERIFICA**

En resumen, se ha verificado que la calle en estudio cumple con la función básica y complementaria del sistema de drenaje.



PRÁCTICA SUPERVISADA

CONCLUSIONES

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

En función de la problemática planteada y de los objetivos propuestos para la presente Practica Supervisada, se llega a las siguientes conclusiones:

Tal como fue explicado anteriormente, el desarrollo del emprendimiento produce un aumento de los caudales y una aceleración en el tiempo en que se produce el caudal pico, lo cual es de esperar dado el cambio en el uso del suelo y en el sistema de drenaje actual. A causa de ello, se propone una obra de regulación para los excesos propios de este emprendimiento.

Dicha obra, que consiste en una Laguna de Regulación, a la cual llegan las diversas cañerías que captan los escurrimientos de los distintos tipos de superficies del proyecto, permiten retener el agua en las mismas y luego descargarla progresivamente a la vía pública buscando aproximarse de la mejor manera al escenario actual (previo a la urbanización del lote).

De este modo se logra regular el incremento de caudales producto del desarrollo del emprendimiento.

Por otro lado, como futuro profesional considero importante que los desarrollistas de este tipo de emprendimientos tengan en claro desde un principio que debe reservarse un espacio del terreno para destinarlo a las obras necesarias para la regulación de los caudales excedentes que se generan, para evitar tener que realizar cambios de último momento en el proyecto arquitectónico. Para ello es necesario una continua comunicación entre los desarrollistas y la consultora a la cual se le encargue el estudio de drenaje.

Finalmente, desde el punto de vista personal, se han cumplido todos los objetivos propuestos, integrando, incrementando y adquiriendo nuevos conocimientos.



PRÁCTICA SUPERVISADA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

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. (1997). Elementos de Hidrometeorología.

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.

Catalini C. G., Caamaño Nelli G., García C. M. (2002): Efectos Fisiográficos y Climáticos sobre las Curvas de Reducción Areal de Lluvias de Diseño. XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, 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. McGrawHill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá. Colombia.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2012): Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.

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. (ed.) (1993): Hidrologia: Ciência e Aplicação. Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.

Tucci Carlos (2005): Gestão de inundações urbanas. Porto Alegre, UNESCO-PHI.

Vanoli G. (2007): Vialidad Urbana - Drenaje Urbano. Apuntes de Clase. Maestría en Transporte. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.



PRÁCTICA SUPERVISADA

ANEXOS

*ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL
COMPLEJO "SAINT JORDI"*

A.1: CÓMPUTO MÉTRICO Y PRESUPUESTO

| |
|-----------------------------|
| COMPLEJO SAINT JORDI |
| PROYECTO DE DRENAJE |
| CÓMPUTO MÉTRICO |

Un: unidad; m³: metro cúbico; m²: metro cuadrado; m: metro lineal

| ITEM | DESCRIPCION DEL ITEM | UNIDAD | CANTIDAD |
|------|---|----------------|----------|
| I | Excavación | m ³ | 272.88 |
| II | Hormigón Armado H-21 | m ³ | 5.26 |
| III | Provisión y Colocación de Rejas Metálicas | Un | 1.00 |

| |
|-----------------------------|
| COMPLEJO SAINT JORDI |
| PROYECTO DE DRENAJE |
| PRESUPUESTO |

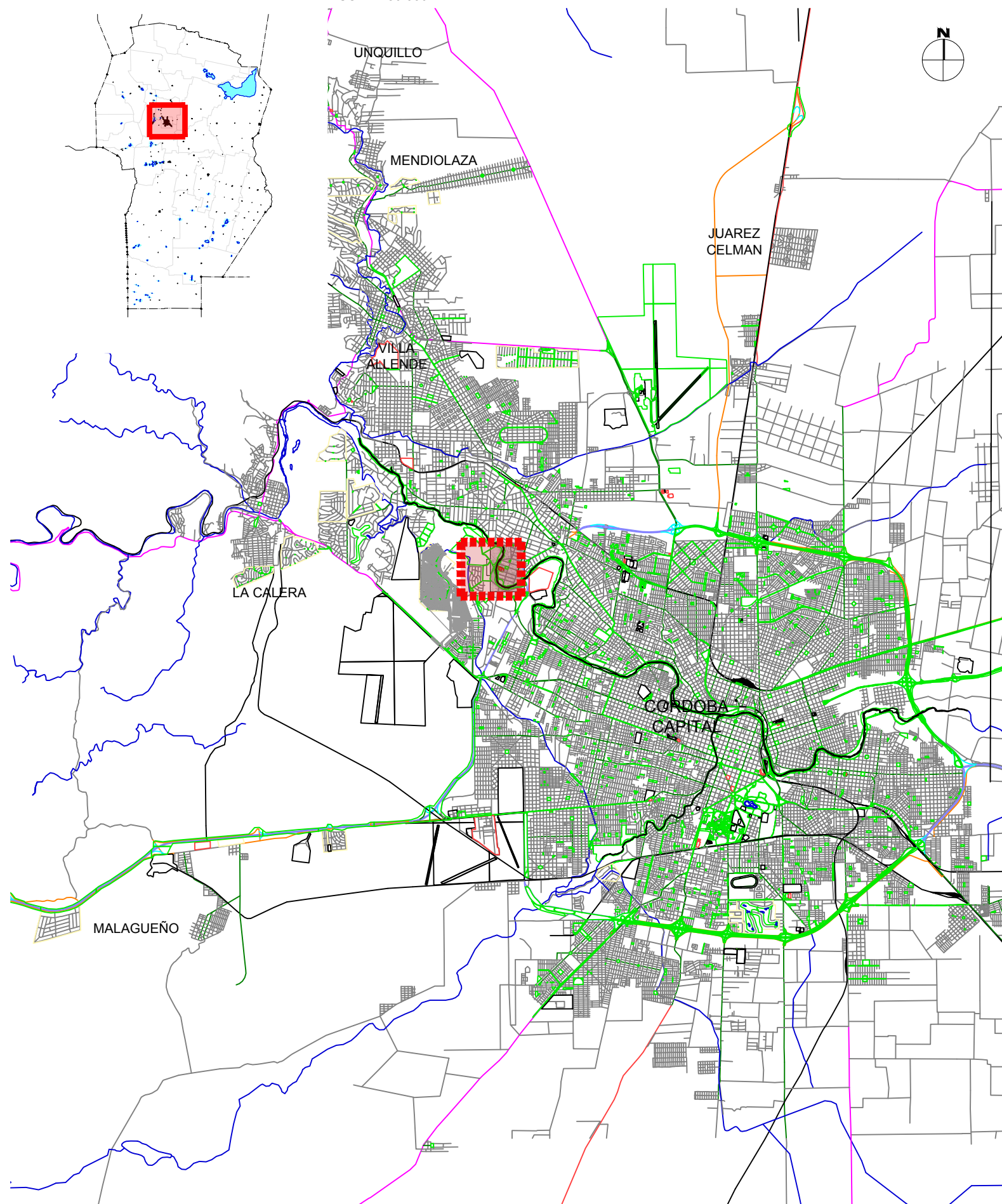
Un: unidad; m³: metro cúbico; m²: metro cuadrado; m: metro lineal

| ITEM | DESCRIPCION DEL ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL |
|----------------|---|----------------|----------|-----------------|----------------------|
| I | Excavación | m ³ | 272.88 | \$ 200.00 | \$ 54,576.00 |
| II | Hormigón Armado H-21 | m ³ | 5.26 | \$ 24,224.39 | \$ 127,299.17 |
| III | Provisión y Colocación de Rejas Metálicas | Un | 1.00 | \$ 8,750.00 | \$ 8,750.00 |
| TOTAL = | | | | | \$ 190,625.17 |

PROVINCIA DE CÓRDOBA

CIUDAD DE CÓRDOBA

ESC= 1:150.000



SAINT JORDI VILLA BELGRANO

ESC= 1:1500



Comitente:

Saint Jordi

Revisión:

0

Escalas:

Indicadas

Proyección:

Equidistancia:

-

Faja:

-

Norte:

Geográfico

Datum:

-

Obra:

Proyecto:

COMPLEJO SAINT JORDI
Drenaje

PLANIMETRÍA DE UBICACIÓN

LAMINA Nº

01

TOTAL LAMINAS

01

Cuenca de Aporte Actual



| PLANIMETRÍA | |
|--------------------|---------------------------|
| Referencia Gráfica | |
| | Límite de Cuenca |
| | Curva de Nivel Principal |
| | Curva de Nivel Secundaria |
| | Sentido de Escurrimiento |



Comitente:

Saint Jordi

Revisión:

0

Escalas:

1:750

Equidistancia:

-

Norte:

Geográfico

Proyección:

-

Faja:

-

Datum:

-

Obra:

**COMPLEJO SAINT JORDI
Drenaje**

Proyecto:

PLANIMETRÍA DE CUENCAS

LAMINA Nº

01

TOTAL LAMINAS

02

Cuenca de Aporte Futura



Cuenca Única
Superficie = 1 Ha

| PLANIMETRÍA | |
|--------------------|--------------------------|
| Referencia Gráfica | |
| | Límite de Cuenca |
| | Sentido de Escurrimiento |



Comitente:

Saint Jordi

Revisión:

0

Escalas:

1:750

Proyección:

-

Equidistancia:

-

Faja:

-

Norte:

Geográfico

Datum:

-

Obra:

COMPLEJO SAINT JORDI
Drenaje

Proyecto:

PLANIMETRÍA DE CUENCAS

LAMINA Nº

02

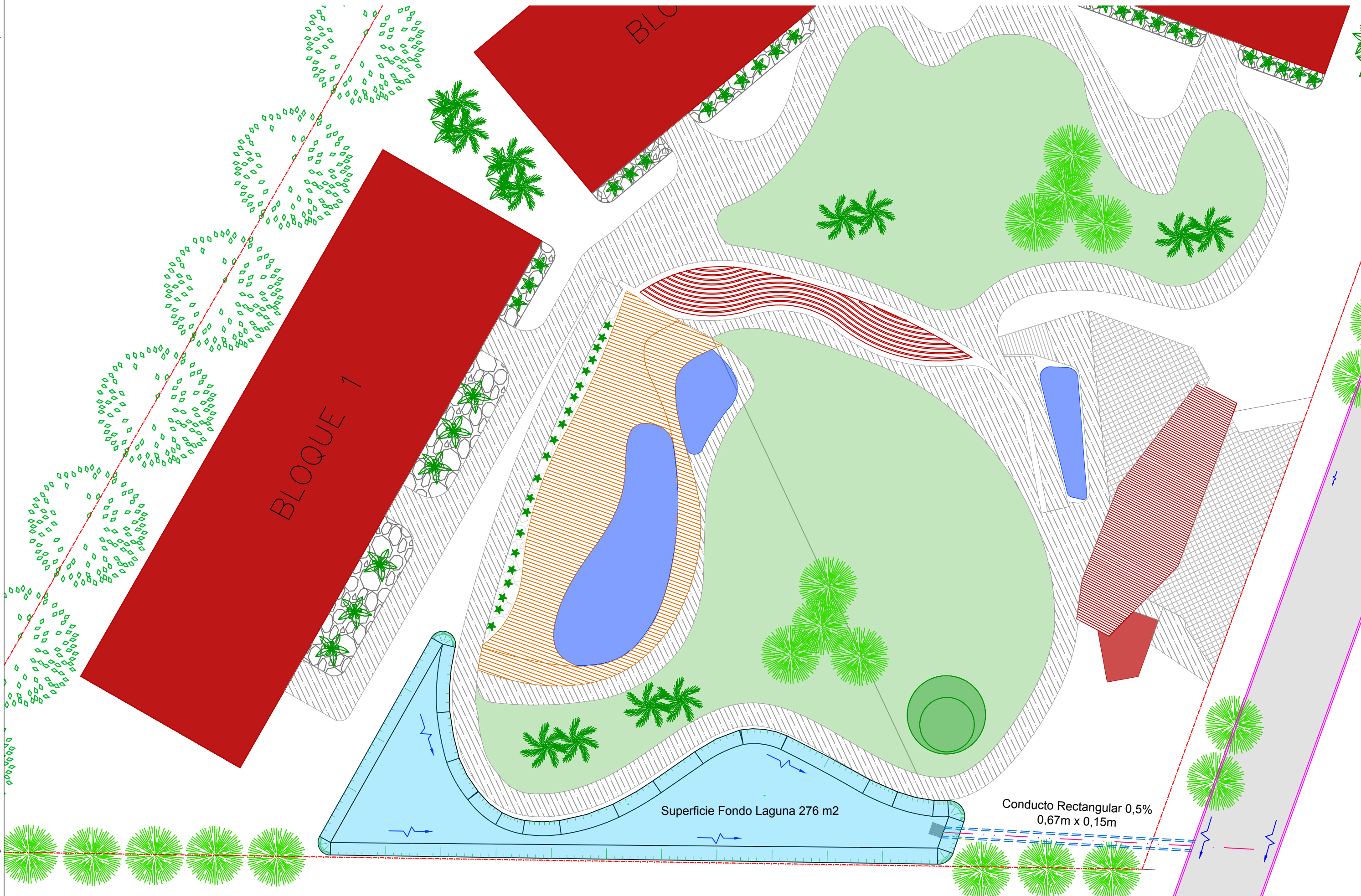
TOTAL LAMINAS

02

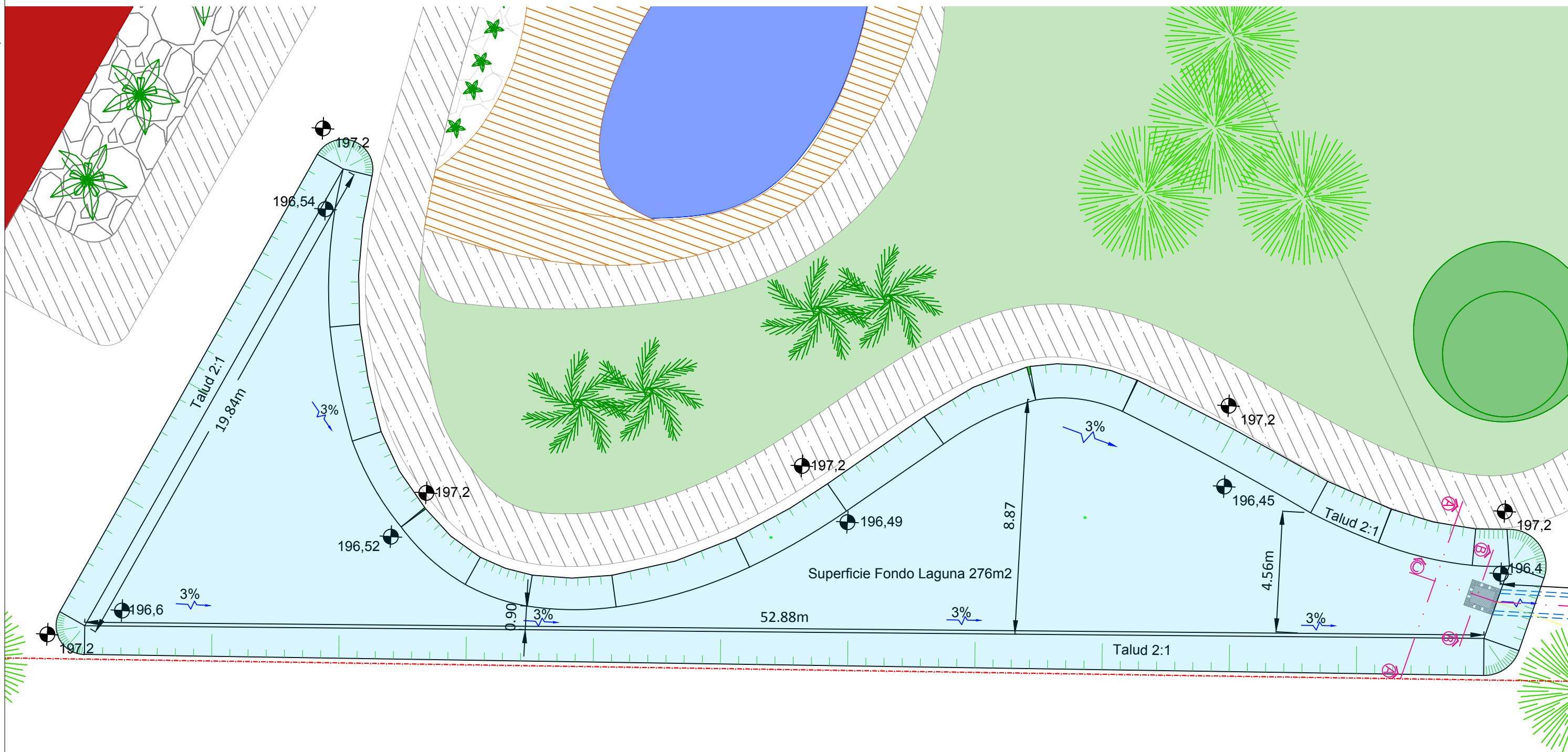


| PLANIMETRÍA | |
|---|-------------------------------|
| Referencia Gráfica | |
| | Torres Residenciales y Techos |
| | Espacio Verde |
| | Laguna de Regulación |
| | Piscina |
| | Deck |
| | Senderos |





Planta Laguna Regulación 1:150



Comitente:
Saint Jordi

Revisión:
0

| | | |
|-------------|----------------|------------|
| Escalas: | Equidistancia: | Norte: |
| Indicadas | - | Geográfico |
| Proyección: | Faja: | Datum: |
| - | - | - |

Obra:
COMPLEJO SAINT JORDI

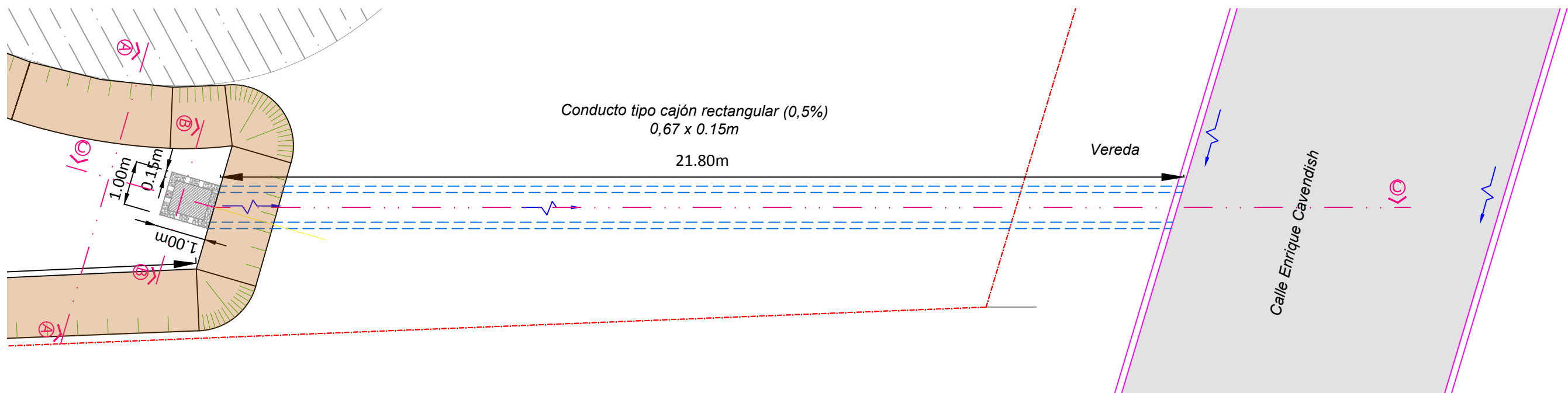
Proyecto:
Drenaje

DETALLES

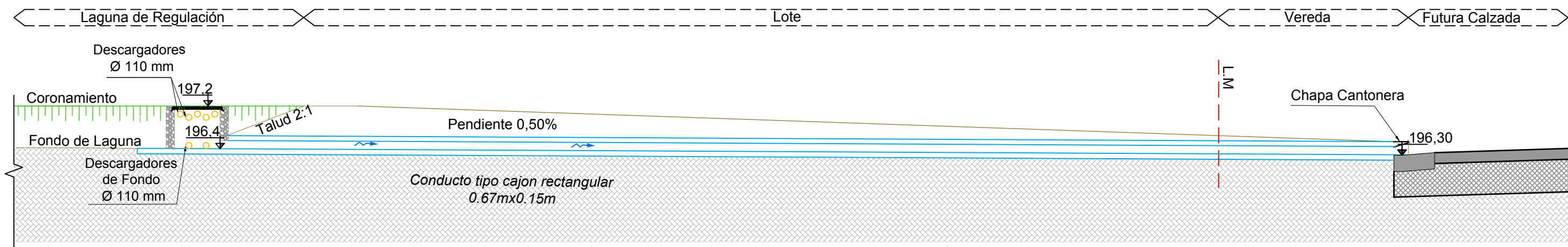
LAMINA Nº
02

TOTAL LAMINAS
03

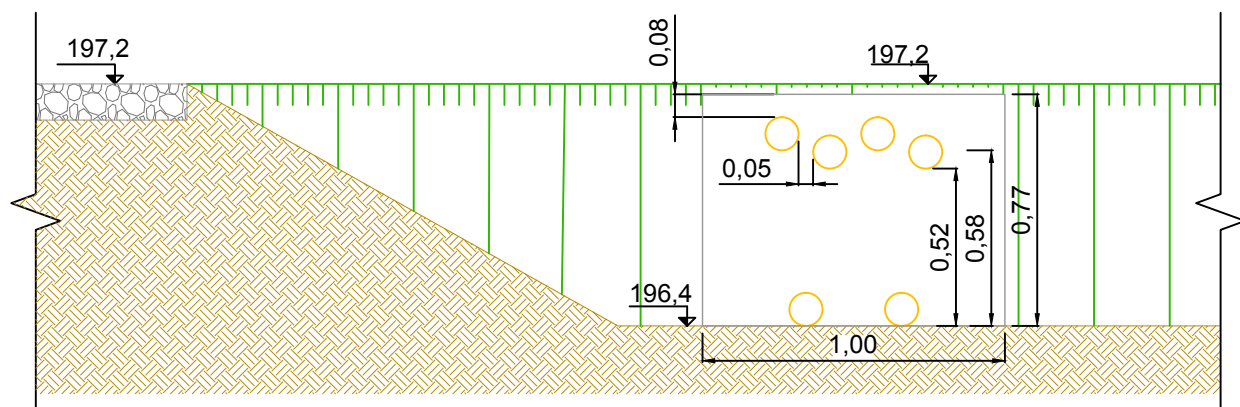
Planta Descargador Escala 1:100



Corte Longitudinal C-C 1:75



Vista A-A Escala 1:25



Corte B-B Escala 1:25

