

# ESTUDIO DE DRENAJE E INFRAESTRUCTURA VIAL

## CLUB VACACIONAL VENETO 360

2/1/2023

ADMINISTRACIÓN PROVINCIAL DE RECURSOS HÍDRICOS



RAMIRO MANUEL GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
MAT. PROF. 4931/X

OBRA: **EMPENDIMIENTO “CLUB VACACIONAL VENETO 360”**

DEPARTAMENTO: **PUNILLA**

LUGAR: **VILLA SANTA CRUZ DEL LAGO**

***ESTUDIO DE DRENAJE E INFRAESTRUCTURA VIAL***

## Índice

1	METODOLOGÍA .....	5
1.1	ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO .....	5
1.2	SISTEMA DE OBRA DE DRENAJE .....	5
2	ESTUDIO HIDROLOGICO .....	6
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA .....	6
2.1.1	UBICACIÓN.....	6
2.1.2	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA A ESCALA REGIONAL .....	7
2.2	DELIMITACIÓN DE LAS ÁREA DE APORTE.....	9
2.2.1	Macro drenaje.....	9
2.2.2	Micro drenaje.....	12
2.2.3	PARAMETRIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS .....	14
2.3	TORMENTA DE DISEÑO .....	15
2.3.1	PERÍODO DE RETORNO (Tr).....	15
2.3.2	DURACIÓN .....	15
2.3.3	LLUVIA DE DISEÑO.....	18
2.3.4	DISTRIBUCION TEMPORAL .....	19
2.3.5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	21
2.3.6	LLUVIA NETA O EFECTIVA-PÉRDIDAS .....	21
2.4	ESTIMACIÓN DE CAUDALES E HIDROGRAMAS .....	24
2.4.1	HIDROGRAMA UNITARIO .....	24
2.4.2	MODELO HEC-HMS .....	25
2.4.3	ESQUEMA DE MODELACIÓN .....	25
2.4.4	CAUDALES RESULTANTES .....	27
2.4.5	RESUMEN DE RESULTADOS.....	28
3	SISTEMA DE OBRAS DE DRENAJE .....	29
3.1	DISEÑO DE LAS REGULACIONES .....	30
3.1.1	OBRA DE REGULACION NOROESTE (NO).....	31
3.1.2	OBRA DE REGULACION SUROESTE 1 (SO1) .....	32
3.1.3	OBRA DE REGULACION SUROESTE 2 (SO2) .....	33
3.1.4	OBRA DE REGULACION ESTE (E2).....	34
3.2	VERIFICACIONES HIDRAULICAS.....	35
3.2.1	DESCARGADOR DE FONDO .....	35
3.2.2	VERTEDERO .....	35
3.3	EFICIENCIA DE LAS REGULACIONES.....	36
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	38
5	BIBLIOGRAFÍA.....	39

## Índice de Figuras

Figura Nº 1: Ubicación del Empeñamiento .....	6
Figura Nº 2.-Regiones de la Provincia de Córdoba.....	7
Figura Nº 3: DEM SRTM 5m de resolución, líneas de escurrimiento (azul), Empeñamiento (negro),.....	9
Figura Nº 4.- Curvas de Nivel DEM 5m .....	10
Figura Nº 5.- Divisorias DEM 5m .....	10
Figura Nº 6.- Análisis cartas IGN Esc. 1:50.000 y empeñamiento .....	11
Figura Nº 7.- Esquema vial interno y relevamiento local .....	12
Figura Nº 8.- Cuencas Internas Naturales.....	13
Figura Nº 9.-Delimitación cuencas internas post-desarrollo.....	13
Figura Nº 10: Curva i-d-T para la cuenca de estudio .....	18
Figura Nº 11: Curva h-d-T para la cuenca en estudio .....	19
Figura Nº 12: Hietogramas Sintéticos de IMA .....	20
Figura Nº 13.- Hietograma para 60 minutos.....	20
Figura Nº 14: Hidrogramas Unitarios Sintéticos del Soil Conservation Service a) Hidrograma Adimensional, b) Hidrograma Unitario Triangular.....	24
Figura Nº 15.- Modelación en HEC-HMS escenario Natural .....	26
Figura Nº 16.- Modelación en HEC-HMS escenario Urbanizado.....	26
Figura Nº 17.- Planimetría Obra de Regulación NO .....	31
Figura Nº 18.- Curva H-V Obra de Regulación NO.....	31
Figura Nº 19.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación NO.....	31
Figura Nº 20.- Planimetría Obra de Regulación SO1 .....	32
Figura Nº 21.- Curva H-V Obra de Regulación SO1 .....	32
Figura Nº 22.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación SO1 .....	32
Figura Nº 23.- Planimetría Obra de Regulación SO2.....	33
Figura Nº 24.- Curva H-V Obra de Regulación SO2 .....	33
Figura Nº 25.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación SO2 .....	33
Figura Nº 26.- Planimetría Obra de Regulación E2 .....	34
Figura Nº 27.- Curva H-V Obra de Regulación E2 .....	34
Figura Nº 28.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación E2.....	34

## Índice de Tablas

Tabla Nº 1: Parámetros fisiográficos de las cuencas naturales .....	14
Tabla Nº 2.- Parámetros fisiográficos de las cuencas post desarrollo .....	14
Tabla Nº 3.- Estudio Tiempo de Concentración Cuencas Natural.....	17
Tabla Nº 4.- Estudio Tiempo de Concentración Cuencas post desarrollo.....	17
Tabla Nº 5: Números de Curva de Escorrentía (Ven Te Chow-Hidrología Aplicada) .....	22
Tabla Nº 6: Ponderación CN para estado post desarrollo .....	23
Tabla Nº 7: Tabla Resumen % incremento CN .....	23
Tabla Nº 8: Resumen de caudales y volúmenes para escenario Natural.....	27
Tabla Nº 9: Resumen de caudales y volúmenes Escenario Urbanizado .....	27
Tabla Nº 10.-Resumen de Resultados (Caudales) .....	28
Tabla Nº 11.- Resumen de Resultados (Volúmenes).....	29
Tabla Nº 12.- Volúmenes a prever en las obras de regulación.....	29
Tabla Nº 13.- Resumen de Resultados OR - NO .....	31
Tabla Nº 14.- Resumen de Resultados OR – SO1 .....	32
Tabla Nº 15.- Resumen de Resultados OR – SO2 .....	33
Tabla Nº 16.- Resumen de Resultados OR – E2.....	34
Tabla Nº 17.- Tabla Resumen Descargador de Fondo OR .....	35
Tabla Nº 18.- Tabla Resumen Vertederos OR .....	36

**Tabla N° 19.- Eficiencia OR respecto del estado desarrollado ..... 36**  
**Tabla N° 20.- Eficiencia OR respecto del estado sin intervenciones ..... 37**

## **ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO**

### **1 METODOLOGÍA**

El desarrollo metodológico, en el que se incluye la recopilación, clasificación y análisis de antecedentes, comprende las siguientes etapas y las implicancias de cada una de ellas, la mayoría de las cuales se encuentran intrínsecamente relacionadas. Estas etapas pueden ser contempladas en dos grandes capítulos tales como el “estudio hidrológico” y el análisis del “sistema de obras de drenaje”.

#### **1.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO**

En el desarrollo del estudio hidrológico se realizarán las siguientes tareas:

- *Definición de la Cuenca de Aporte Hídrico y su Caracterización:* A partir de la definición de la red de escurrimientos; aéreas deprimidas anegadas o inundadas; delimitación de las subcuencas; tipos de suelos; cobertura y uso del mismo; infraestructura vial – hidráulica relacionada.
- *Determinación de la Tormenta de Diseño:* Considerando el periodo de retorno; probabilidad de ocurrencia; duración; lamina total; distribución temporal y espacial; lluvia neta o efectiva.
- *Transformación Lluvia-Caudal y Propagación de Caudales:* Para lo cual se definirán: el hidrograma; caudal pico y volúmenes aportados.

#### **1.2 SISTEMA DE OBRA DE DRENAJE**

Este capítulo permitirá, a partir del análisis de sistema actual y sus obras existentes, definir y modelar las obras a ejecutar en el Proyecto que permitan regular los excedentes hídricos generados por el desarrollo del emprendimiento sobre el emisario final, y que no genere modificaciones indebidas del sistema ni usuarios aguas abajo.

## 2 ESTUDIO HIDROLOGICO

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

#### 2.1.1 UBICACIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar el estudio de escurrimiento superficial correspondiente a un emprendimiento turístico “CLUB VACACIONAL VENETO 360” ubicado en la localidad de Villa Santa Cruz del Lago en las propiedades catastralmente con las cuentas 230422426588 (5Has) y 230422426570 (2Has), en el departamento Punilla, y el manejo de los excedentes generados por el mismo.

La zona en estudio se ubica en la zona oeste del Lago San Roque, próximo a las Ruta Nacional N°38, y al norte del Arroyo Los Mimbres en la provincia de Córdoba, en coordenadas 31°22'31.83"S; 64°29'46.40"O.



Figura N° 1: Ubicación del Emprendimiento

La zona en estudio se ubica en una zona de escurrimientos superficiales marcados por el relieve circundante, tipo serrano. Condicionado por infraestructura existente. Las principales obras viales que condicionan el escurrimiento son, la Ruta Nacional N°38 y la red vial urbana municipal. El loteo se desarrolla en una zona marcada por el relieve ubicándose en una dorsal, divisoria de cuencas.

### 2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA A ESCALA REGIONAL

De acuerdo con la Agencia Córdoba D.A.C.yT - Dirección de Ambiente 2003, la provincia de Córdoba se encuentra dividida entre distintas regiones naturales. La zona de estudio se encuentra dentro de la denominada Sierras del Sur.

Constituyen el cuerpo principal y de mayor extensión de la región serrana de Córdoba. Estos macizos montañosos se extienden entre los 30° 45' a los 33° 10' de Lat. Sur y entre los 64° 20' y los 65° 25' de Long. Oeste. Abarcan una superficie aproximada de 21.136 Km<sup>2</sup>.

Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba

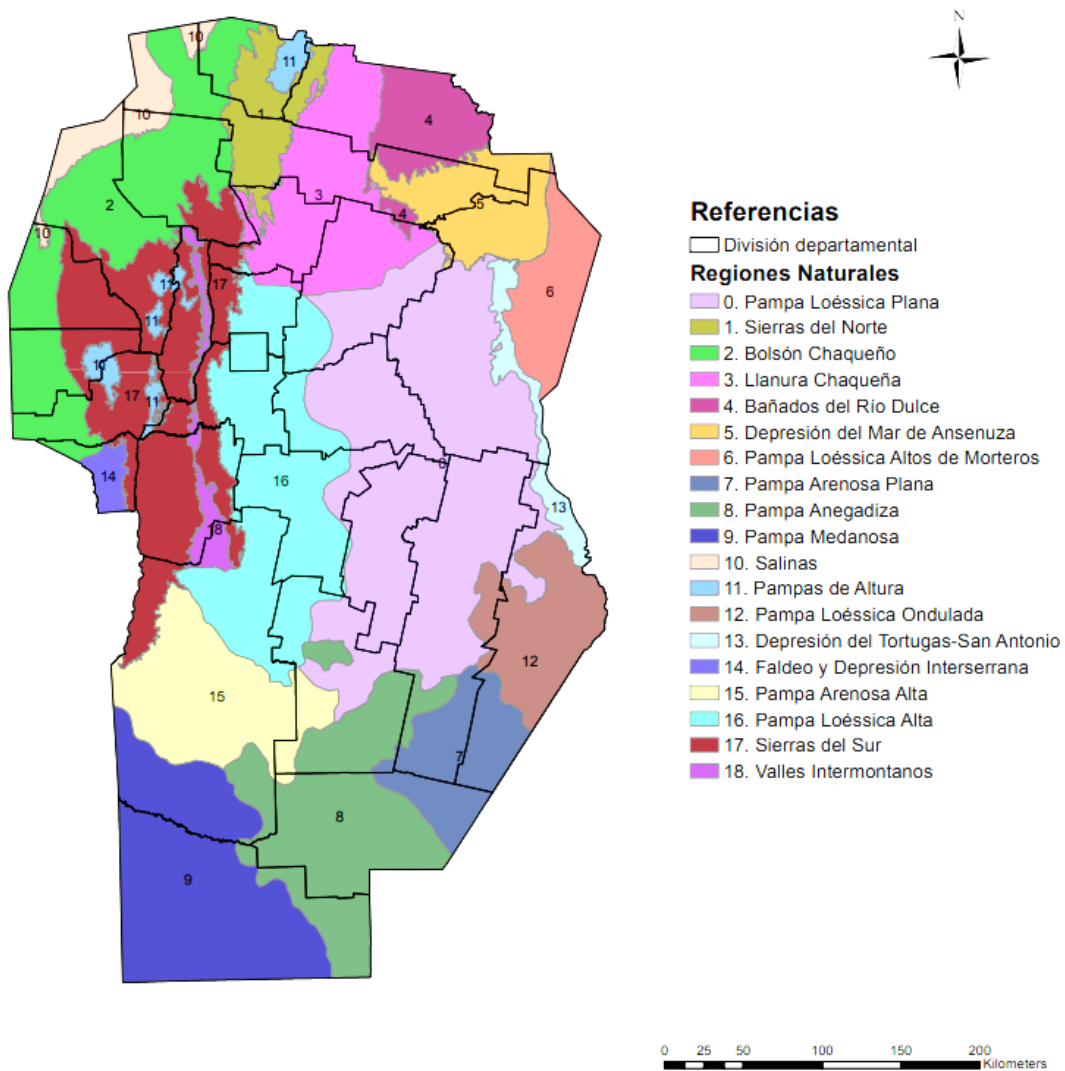


Figura Nº 2.-Regiones de la Provincia de Córdoba



En esta región se destacan: al Oeste las sierras de Serrezuela, Guasapampa y Pocho. El cordón central o de las Sierras Grandes, donde se encuentran las mayores alturas (Cerro Champaquí de 2.790 metros msnm), el que se prolonga al Sur en las Sierras de Comechingones. Hacia el Este y separado por el Valle de Punilla, se extiende el cordón de la Sierras Chicas.

Las formaciones rocosas están compuestas principalmente por rocas metamórficas (gneiss, esquistos, migmatitas, etc.) e ígneas (granitos). A excepción de las pampas de altura, su relieve en general es escarpado, presentando una marcada diferencia entre su vertiente occidental y oriental. En ésta última, dominan **pendientes que varían entre el 12% y el 45 %, la densidad de drenaje es alta y los procesos dominantes son erosión vertical asociada a cursos de agua, procesos de remoción en masa (caídas y deslizamientos de bloques) en laderas escarpadas, erosión hídrica en manto o encauzada en áreas con cobertura de sedimentos, sometidas a uso principalmente ganadero.** Las áreas de relieve escarpado, ocupan aproximadamente el 70 % de la superficie de todo el ambiente serrano y constituyen las nacientes de los cursos de agua más importantes, que avenan tanto hacia la vertiente oriental como hacia la occidental. Este tipo de relieve se caracteriza por presentar fuertes pendientes, cursos angostos, encajonados, valles sin relleno sedimentario, con ollas y rápidos a nivel del cauce. En los interfluvios afloran rocas de basamento, sobre las que se desarrollaron suelos someros, pedregosos, que no superan los 10 cm de profundidad. Dominan procesos de remoción en masa y erosión fluvial. En el borde occidental y Sur de las sierras hay áreas de relieve más suavizado, que presentan valles con relleno sedimentario de origen coluvial y aluvial, pocas pendientes, suelos profundos y bien desarrollados, con alto contenido de materia orgánica y alta disponibilidad hídrica por su ubicación en el relieve. Los interfluvios presentan pendientes moderadas y desarrollo edáfico somero. En los valles se desarrollan cárcavas parcialmente integradas en una red de drenaje en proceso de reinstalación. En algunos sectores se observan mallines con suelos muy orgánicos, con poca expresión areal.

Los ríos y arroyos serranos, presentan en general, lechos rocosos, erosivos, con saltos, rápidos, ollas y un régimen turbulento. En algunos sectores, de menor relieve, tienen un lecho areno - gravoso y algunos niveles de terrazas. Constituyen verdaderos ecosistemas, sometidos a una alta dinámica hidrológica, producto de crecientes cortas e intensas, lo que caracteriza **un régimen de tipo torrencial.** Los caudales pico en épocas de lluvia, suman gran cantidad de sedimentos de granulometría variada, producto de los procesos de erosión hídrica y remoción en masa.

## 2.2 DELIMITACIÓN DE LAS ÁREA DE APOORTE

### 2.2.1 Macrodrenaje

Se procedió a definir las líneas de escurrimiento que permitieron delimitar la cuenca de aporte total a los fines de correr los modelos matemáticos de cálculo o modelación hidrológica.

Para la delimitación de las cuencas de aporte al emprendimiento y la red de escurrimiento se realizó un análisis en conjunto de:

- Imágenes Satelitales (servidores Google Earth, Bing Maps, etc.)
- Modelo Digital de Elevación SRTM de 5mts. de resolución (fuente IGN)
- Relevamiento Planialtimétrico realizado por terceros en la zona
- Cartas IGN Esc. 1:50.000

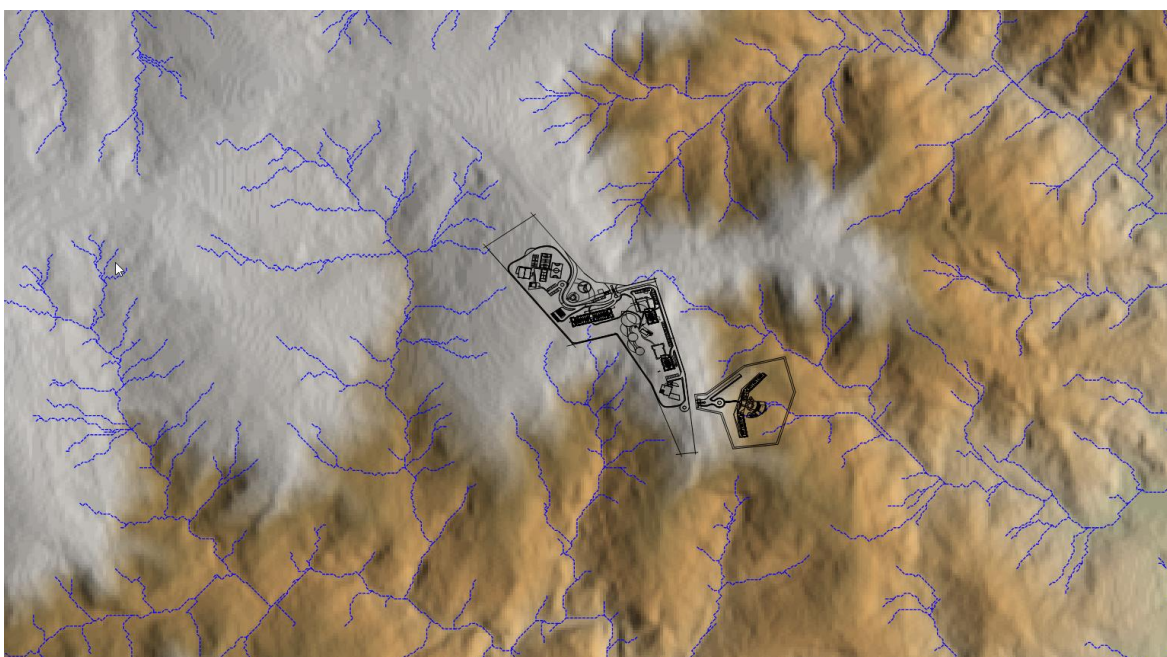


Figura Nº 3: DEM SRTM 5m de resolución, líneas de escurrimiento (azul), Emprendimiento (negro),

Del procesamiento de los distintos modelos digitales de elevación, el mejor ajuste se logró con el DEM SRTM de 5m de resolución. **La particularidad de la zona donde se desarrolla el emprendimiento es que se ubica sobre una dorsal, divisoria de cuencas. Por lo tanto, se puede concluir que no recibe aportes externos.**

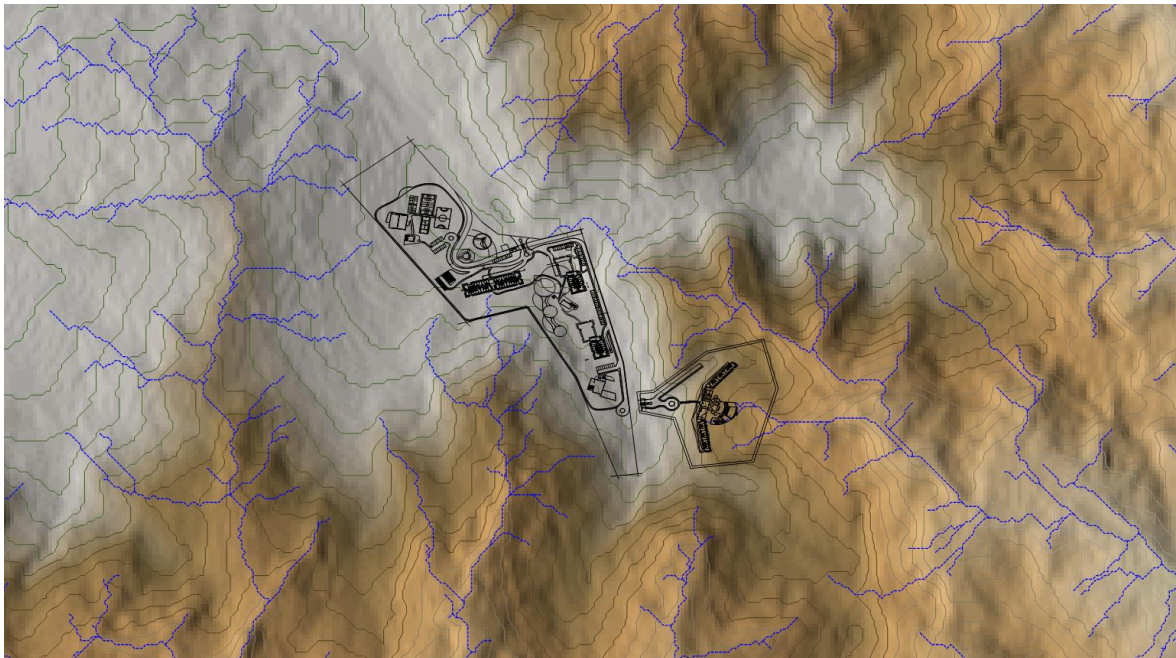


Figura Nº 4.- Curvas de Nivel DEM 5m

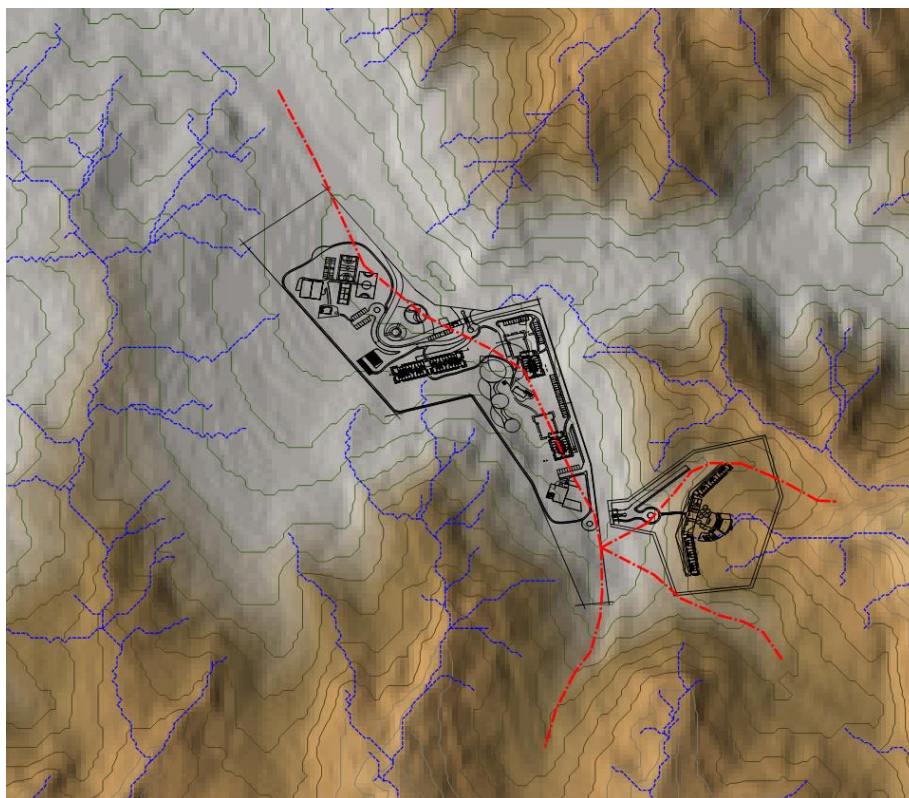
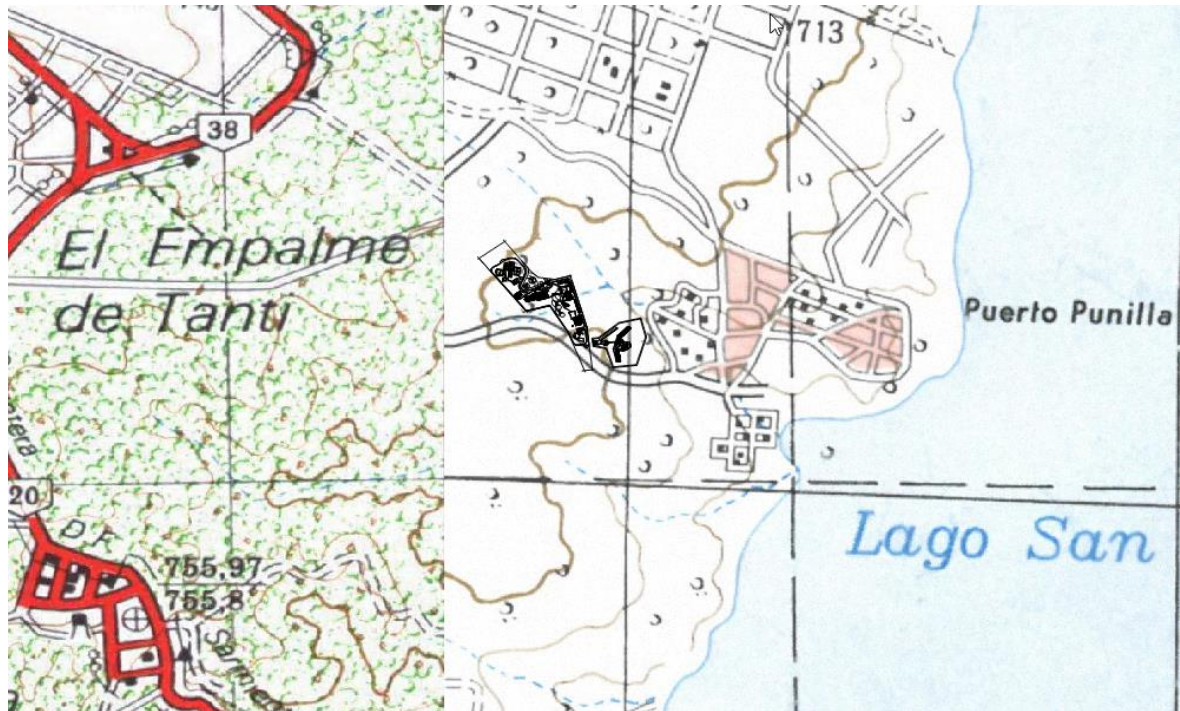


Figura Nº 5.- Divisorias DEM 5m

Del análisis de esta herramienta, se concluye que no hay aportes externos sobre la propiedad. Las cuencas internas drenan hacia el sur, suroeste, y hacia el este y sureste.



**Figura Nº 6.- Análisis cartas IGN Esc. 1:50.000 y emprendimiento**

Del análisis de las Cartas del Instituto Geográfico Nacional en escala 1:50.000, se observa un sentido de escurrimiento local hacia el Lago San Roque. A esta escala no se pueden apreciar los accidentes geográficos locales. Es adecuado afirmar, que el DEM de 5m de resolución del IGN es una mejor herramienta para describir el Macrodrenaje.

### 2.2.2 Microdrenaje

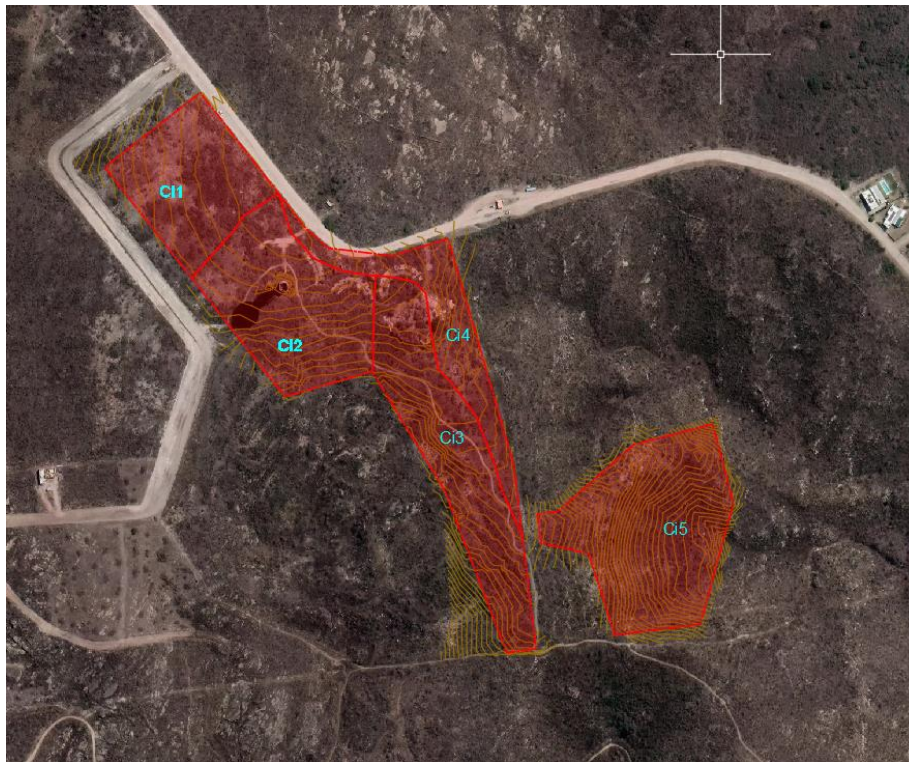
El proyecto vial interno es un importante condicionante de los escurrimientos naturales dentro de los desarrollos tipo loteos urbanos, no siendo el caso de este emprendimiento. El proyecto cuenta con calles de circulación internas, pasajes de tipo privado, que dan acceso a los distintos lugares dentro de la parcela. El objetivo planteado para este proyecto cumple la premisa de reducir el impacto hidrológico de la urbanización hacia aguas abajo. Por lo tanto, los puntos de descarga o bajos naturales se han mantenido para la situación post-desarrollo.



Figura Nº 7.- Esquema vial interno y relevamiento local

Se puede observar en el predio que la descarga se produce en el costado suroeste, sur y este sobre los bajos naturales identificados.

En el predio se delimitaron las cuencas internas naturales, definiendo 5 unidades hidrológicas, la que representan una superficie total a urbanizar de 6Ha8679m<sup>2</sup> aproximadamente.



**Figura N° 8.- Cuencas Internas Naturales**

Tanto para el escenario natural como para el escenario post-desarrollo, los límites de las cuencas no cambian.



**Figura N° 9.-Delimitación cuencas internas post-desarrollo**

### 2.2.3 PARAMETRIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS

Se analizaron los parámetros fisiográficos correspondientes a cada una de las unidades hidrológicas definidas en la delimitación de las cuencas internas para el estado natural y urbanizado.

**Tabla N° 1: Parámetros fisiográficos de las cuencas naturales**

Nº Cuenca	Hmax (msnm)	Hmin (msnm)	L (m)	Sm (m/m)	A (Km <sup>2</sup> )
N1	755.00	748.00	139.10	0.0503	0.0114
N2	755.00	744.00	160.41	0.0686	0.0152
N3	752.00	738.00	144.75	0.0967	0.0154
N4	755.00	741.00	218.06	0.0642	0.0084
N5	739.00	704.00	154.62	0.2264	0.0183

Dónde: Hmax (Altura máxima), Hmin (Altura mínima), L (Longitud), Sm (Pendiente Media), A (Área).

**Tabla N° 2.- Parámetros fisiográficos de las cuencas post desarrollo**

Nº Cuenca	Hmax (msnm)	Hmin (msnm)	L (m)	Sm (m/m)	A (Km <sup>2</sup> )
N1	755.00	748.00	139.10	0.0503	0.0114
N2	755.00	744.00	160.41	0.0686	0.0152
N3	752.00	738.00	144.75	0.0967	0.0154
N4	755.00	741.00	218.06	0.0642	0.0084
N5	739.00	704.00	154.62	0.2264	0.0183

Dónde: Hmax (Altura máxima), Hmin (Altura mínima), L (Longitud), Sm (Pendiente Media), A (Área).

Como podemos observar y se ha mencionado anteriormente los parámetros morfométricos de las cuencas par el escenario natural y post desarrollo no ha cambiado.

## 2.3 TORMENTA DE DISEÑO

Para numerosos propósitos ingenieriles es necesario conocer las precipitaciones máximas para distintas duraciones asociadas a su probabilidad de ocurrencia, a fin de poder realizar estimaciones de los caudales resultantes en los escurrimientos superficiales.

Para estimar crecientes de proyecto se incluye por lo común combinaciones de intensidad y persistencia extremas de la lluvia para cada probabilidad de ocurrencia o recurrencia (Curvas Intensidad-duración-frecuencia o i-d-T), así como la estructura interna o el patrón de distribución temporal medio de la altura de agua caída en la tormenta (hietograma tipo).

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

La Provincia de Córdoba cuenta en la actualidad con valiosos estudios sobre tormentas de diseño realizados por el Centro de Investigaciones de la Región Semiárida (CIRSA), el CETA (Centro de Estudios y Tecnologías del Agua) de la FCEFYN de la UNC, los cuales van a ser desarrollados más adelante.

### 2.3.1 PERÍODO DE RETORNO (Tr)

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia. Por definición, el periodo de retorno (o de recurrencia) es el tiempo promedio durante el cual se espera que la magnitud analizada sea igualada o superada, al menos, una vez.

En el presente trabajo se han adoptado diferentes periodos de retorno, según las funciones básicas y complementarias de un sistema de drenaje. Para la función básica se ha adoptado un periodo de 100 años, valor recomendado por la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. En el caso de la función complementaria, la recurrencia es función del uso de la tierra y el tipo de vía terrestre, lo cual para lotes con uso residencial sobre calles es de 5 años y sobre avenidas de 10 años. En el presente se ha verificado el correcto funcionamiento de las obras de drenaje para recurrencia de 5 y que no se produzcan daños para 100 años.

### 2.3.2 DURACIÓN

La duración de una tormenta de diseño se adopta igual o levemente superior al tiempo de concentración (tc) de la cuenca. Este criterio permite que el caudal máximo se origine por la contribución de toda el área de aporte. 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 de dicho tiempo existe un gran número de fórmulas empíricas y cuya aplicabilidad debe ser analizada para cada caso. Para la estimación del tc de las cuencas se evaluaron varias fórmulas empíricas basadas en las características físicas de las subcuencas. La mayoría de dichas fórmulas son descriptas en algunas de las referencias bibliográficas citadas, de las cuales se destacan algunas de las más usadas: Método Racional Generalizado, Kirpich, Témez, etc.



Las fórmulas utilizadas se resumen en:

- Método Racional Generalizado (MRG): origen EEUU, adoptado ampliamente por la ingeniería vial en la Argentina. Se sugiere adoptar k próximo a la unidad (ASCE, 1992).

$$T_c = \frac{60 \cdot K \cdot L}{H^{0,3}}$$

Dónde: L es la longitud del cauce principal en metros, H es la diferencia de nivel de la cuenca en metros y k es la rugosidad relativa del cauce.

- Fórmula de Témez (M.O.P.U.): es la recomendada en España, para el método racional modificado, en la Instrucción 5.2 – I.C. de Drenaje Superficial (M.O.P.U., 1990). Se utiliza en el cálculo del hidrograma triangular de J, R, Témez. Se deriva de la fórmula del U.S. Army Corps of Engineers.

$$T_c = \frac{0,30 \cdot L^{0,76}}{S_c^{0,19}}$$

Dónde: L es la longitud del cauce principal en metros y Sc es la pendiente del cauce principal en m/m.

- Kirpich (K): Desarrollada para cuencas rurales de Australia (Pilgrim & Cordery, 1993).

$$T_c = 0,0195 \cdot \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Dónde: L es la longitud del cauce principal en metros y H es la diferencia de nivel de la cuenca en metros.

- Bransby Williams: Sugerida por The Institution Engineers, Australia en remplazo de la fórmula de Kirpich, al arrojar esta valores muy bajos (Yen, 1992).

$$T_c = \frac{58 * L}{A^{0,1} * S_c^{0,2}}$$

Dónde: L es la longitud del cauce principal en kilómetros; A es el Área de la cuenca en km<sup>2</sup>; S es la pendiente media del canal principal en m/km.

- SCS (Soil Conservation Service): Método del SCS para el cálculo del tiempo de concentración:

$$t_{lag} = \frac{L^{0,8} * (S + 25)^{0,7}}{7069 * y^{0,5}}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$t_c = 1,67 * t_{lag}$$

Dónde: L es la longitud de la subcuenca en metros; y es la pendiente de la subcuenca en %; S es la máxima capacidad de retención de agua y CN número de curva del método del SCS.

Tabla N° 3.- Estudio Tiempo de Concentración Cuencas Natural

N° Cuenca	Kirpich (min)	Pezzoli (min)	B. Williams (min)	MRG (min)	SCS (min)	Dooge (min)	Prom (min)
N1	2.76	2.27	5.76	6.65	9.03	5.80	5.38
N2	2.73	2.24	6.07	6.70	8.67	6.20	5.43
N3	2.21	1.70	5.11	5.62	6.73	5.88	4.54
N4	3.55	3.15	8.87	8.47	11.46	4.92	6.74
N5	1.68	1.19	4.52	4.56	4.63	5.46	3.67

Para el caso de las cuencas internas naturales se observa cierta variabilidad de resultados, obteniendo valores promedio próximos a 45min.

Tabla N° 4.- Estudio Tiempo de Concentración Cuencas post desarrollo

N° Cuenca	Kirpich (min)	Pezzoli (min)	B. Williams (min)	MRG (min)	SCS (min)	Dooge (min)	Prom (min)
N1	2.76	2.27	5.76	6.65	7.64	5.80	5.15
N2	2.73	2.24	6.07	6.70	6.01	6.20	4.99
N3	2.21	1.70	5.11	5.62	5.16	5.88	4.28
N4	3.55	3.15	8.87	8.47	7.44	4.92	6.07
N5	1.68	1.19	4.52	4.56	3.94	5.46	3.56

Para el caso de las cuencas internas se observa cierta variabilidad de resultados, dependiendo de la formulación empleada, observando en valores promedio menores a los 10 minutos.

Por lo tanto, para la **definición de la lluvia de diseño se ha adoptado una duración característica para la zona de la precipitación de 60min.** Este valor nos asegura de que todas las cuencas han entrado en régimen y están aportando al punto de descarga.

### 2.3.3 LLUVIA DE DISEÑO

La determinación de la lluvia de diseño se basó en los estudios antecedentes referidos a la determinación de las Curvas i-d-T para la ciudad de Córdoba, cuyos registros corresponden a la estación Observatorio Córdoba. Para calcular las lluvias de diseño se utilizó el Modelo DIT, el cual es un modelo cuasi conceptual de la relación i-d-T, que plantea el logaritmo de la intensidad como una función lineal del factor de frecuencia  $\Phi$  (Chow et al. 1951) y de un factor de persistencia  $\delta$  (Caamaño Nelli et al. 1998), vinculados mediante dos parámetros locales, propios de la estación de medición, A y C y uno zonal B.

$$\ln i = A\phi - B\delta + C$$

$$\phi = 2.584458(\ln T)^{3/8} - 2.252573$$

$$\delta = (\ln d)^{5/3}$$

Mediante el empleo del modelo DIT se calcularon curvas i-d-T y h-d-T para la cuenca en estudio para las recurrencias de diseño adoptadas.

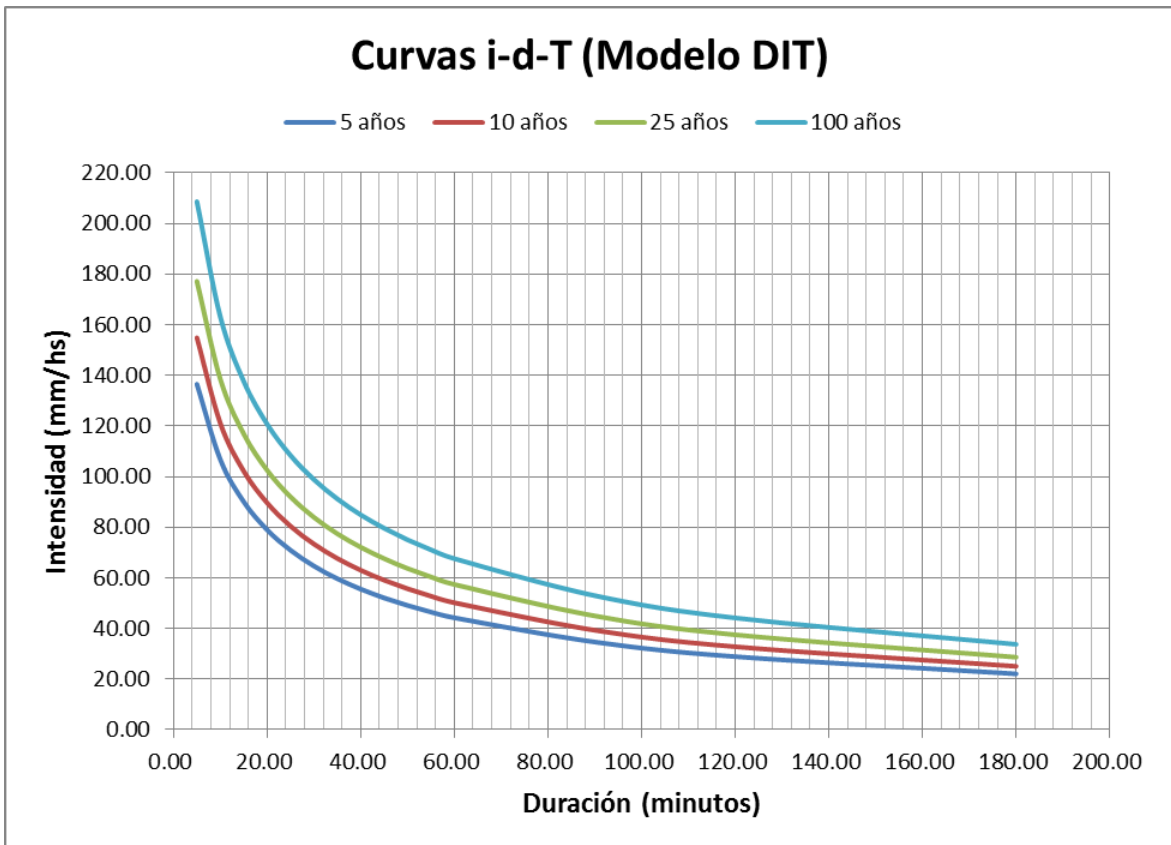
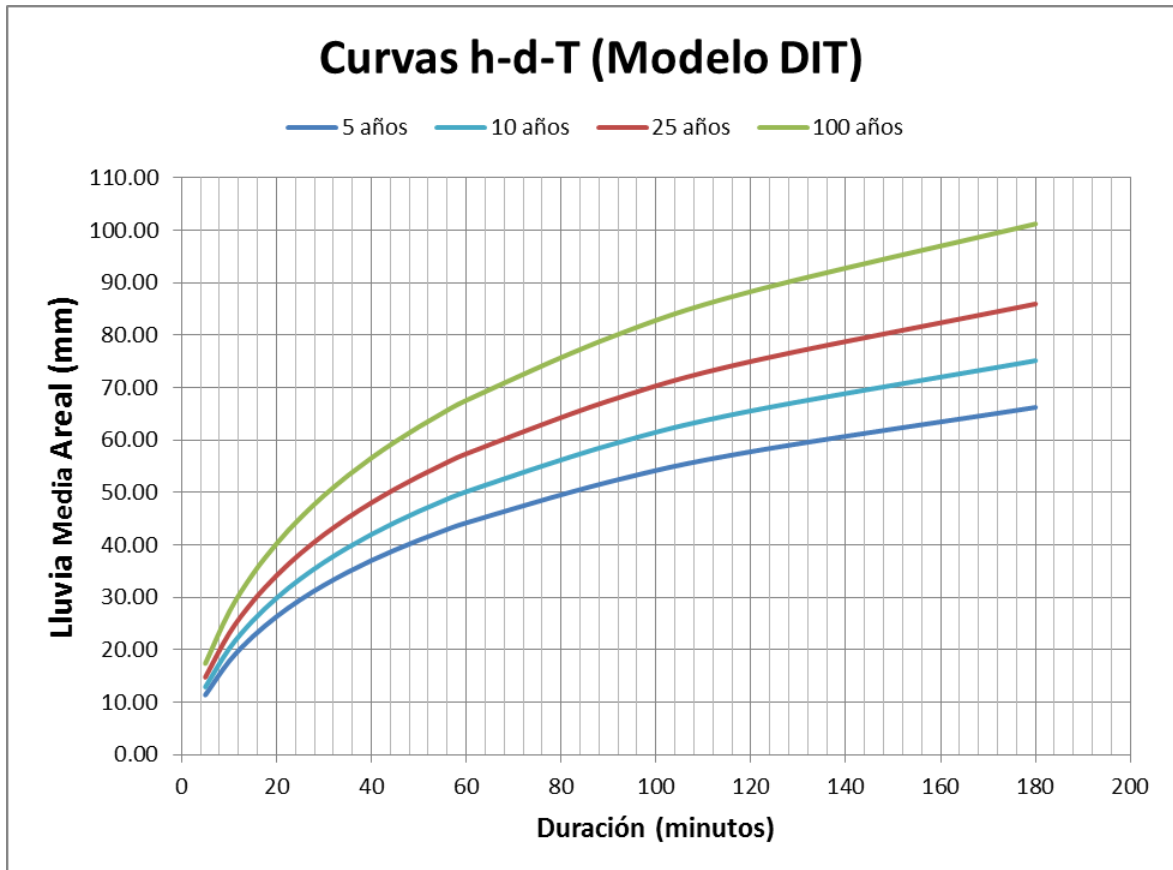


Figura Nº 10: Curva i-d-T para la cuenca de estudio



**Figura N° 11: Curva h-d-T para la cuenca en estudio**

De las curvas se obtienen la lámina de diseño para el modelo de transformación Lluvia-Caudal.

### 2.3.4 DISTRIBUCION TEMPORAL

El conocimiento de la distribución temporal de tormentas intensas reviste gran importancia para la resolución de ciertos problemas hidrológicos, como el estudio de la escorrentía potencial de varios tipos de tormenta. La distribución temporal de las tormentas intensas es requerida como dato de entrada en los modelos de simulación lluvia-caudal, constituyendo un elemento determinante en la estimación del hidrograma de crecidas.

Para obtener los patrones de distribución temporal se tienen en cuenta, tres tipos de variables intervinientes en el problema: criterio de separación de tormentas, duración de la tormenta y ubicación del pico (intervalo de mayor intensidad de la precipitación). El patrón temporal típico depende conjuntamente de la posición del pico y de la duración de la tormenta.

Se establecen los porcentajes de lámina precipitada dividiendo la duración de la tormenta en 6 intervalos (sextiles), de los cuales uno contiene el pico (de mayor intensidad) y los restantes decrecen en forma progresiva. La frecuencia de aparición de la posición del pico disminuye a medida que el patrón de tormenta se retrasa, es decir, que el patrón de lluvia con pico ubicado en el primer intervalo posee la mayor probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad decrece cuando el pico se ubica hacia los últimos sextiles o intervalos. Para el caso en estudio se han adoptado los hidrogramas sintéticos de IMA correspondiente a estación La Suela.

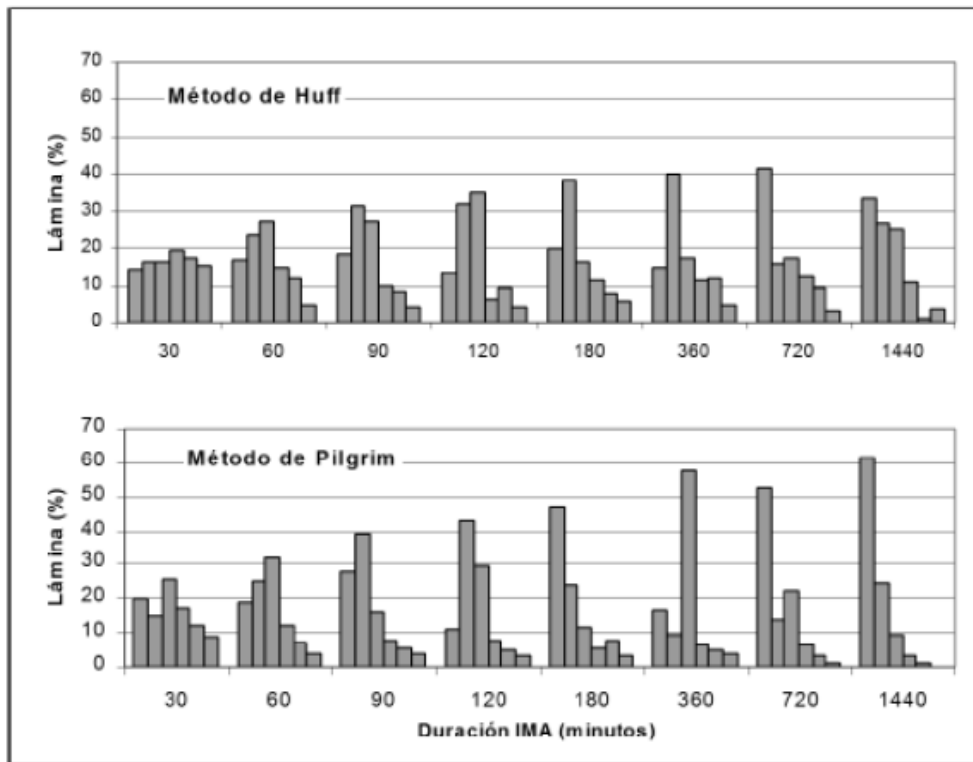


Figura Nº 12: Hietogramas Sintéticos de IMA

A continuación, se presentan los hietogramas de proyecto para la recurrencia de diseño de 5 años, 25 años y verificación 100 años para las obras de drenaje proyectadas.

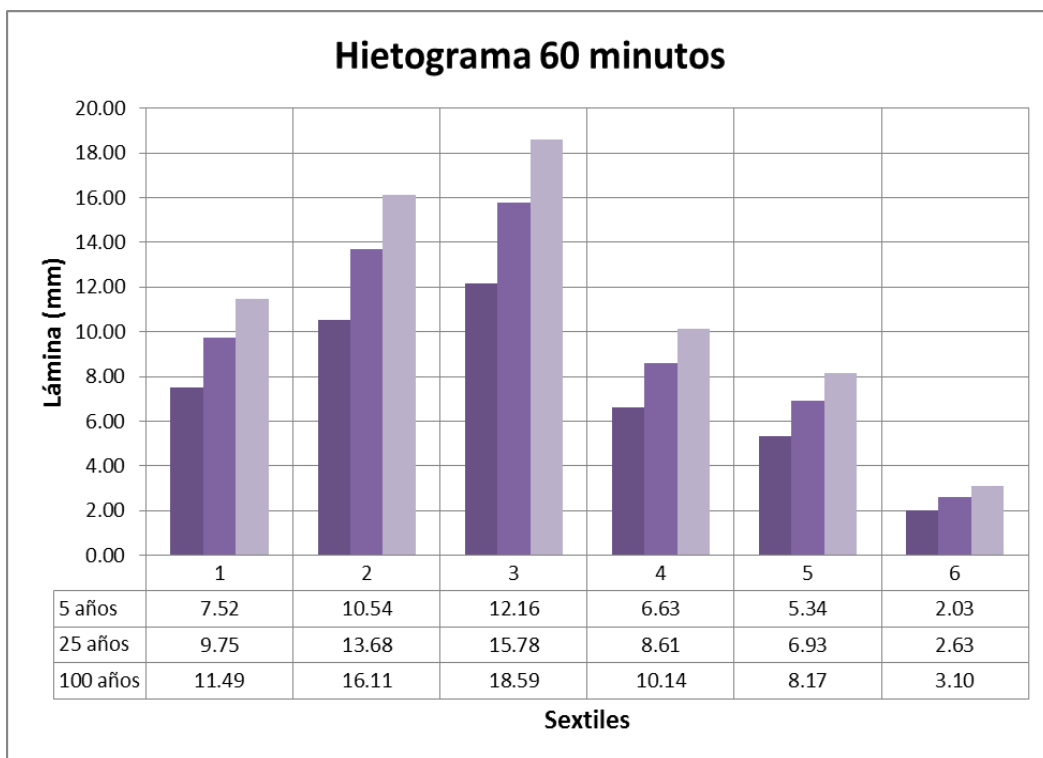


Figura Nº 13.- Hietograma para 60 minutos

### 2.3.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Uno de los aspectos más importantes y a la vez más dificultosos de contemplar cuando se estiman los caudales generados por cuencas de dimensiones intermedias a grandes, es la variación espacial de las tormentas. Dicho de otro modo, en cuencas de gran extensión o de gran desarrollo longitudinal, es necesario considerar la baja probabilidad de que un evento de alta intensidad se produzca simultáneamente en toda el área de la cuenca.

Generalmente, son consideradas como cuencas intermedias y grandes cuando el área de la misma supera los 20 o 25 km<sup>2</sup>, en estos casos es posible reducir los valores puntuales en función del área considerada. Teniendo en cuenta que la cuenca en estudio posee un área considerablemente inferior, se desestima reducción de la lámina puntual.

### 2.3.6 LLUVIA NETA O EFECTIVA-PÉRDIDAS

Para la estimación del caudal pico o hidrogramas de proyecto, es necesario considerar que existe una porción de la lluvia precipitada que no contribuye a la formación del escurrimiento superficial inmediato. Esta porción es determinada por la acción de procesos de interceptación vegetal, almacenamiento superficial e infiltración entre otros, y es referida como pérdidas al escurrimiento. La diferencia entre la lluvia total precipitada y las pérdidas define la lámina neta o efectiva.

Existen diversos métodos para estimar estas pérdidas a lo largo de una tormenta, en general basados en índices simplificados, relaciones funcionales (Método de la Curva Número – CN del SCS) y ecuaciones de infiltración (Horton, Philip, etc.) En el presente trabajo fue adoptado para la estimación de pérdidas, el método de la Curva Número – CN del US Soil Conservation Service.

La valoración del parámetro CN para las cuencas analizadas fue realizada bajo las hipótesis de “situación actual” (estado con superficie existente) y de “situación futura” (estado con un incremento en la superficie urbanizada).

- Para la situación actual se ha considerado que las cuencas internas del loteo se encuentran en estado natural: CN=74 Tipo de Suelo B en Condición II

Tabla N° 5: Números de Curva de Escorrentía (Ven Te Chow-Hidrología Aplicada)

154

HIDROLOGÍA APLICADA

TABLA 5.5.2

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II,  $I_a = 0.2S$ )

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

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

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

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

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

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

Para considerar el efecto del desarrollo del emprendimiento, se efectuó un promedio ponderado de las áreas con distinto uso, asignándole a cada una el valor del Número de Curva (CN) correspondiente a sus características, tipo de suelo, cubierta vegetal, grado de impermeabilización, entre otros. Se han adoptado los siguientes valores para los distintos complejos hidrológicos suelo-vegetación:

Se ponderaron los distintos usos de suelo para las distintas subcuencas internas y se determinaron los CN para la condición futura. Para el caso urbanizado se adoptaron los siguientes Números de Curva:

- CN=74 (superficie en estado natural sin modificación)
- CN=98 (Edificación y calles internas del complejo)

Tabla N° 6: Ponderación CN para estado post desarrollo

Nº Orden Subcuenca	Área (m²)	Porcentaje Impermeable	Porcentaje Permeable	CN Futuro Ponderado	Impacto Urbanización
N1	11379.79	23.40%	76.60%	79.62	7.59%
N2	15175.63	48.39%	51.61%	85.61	15.69%
N3	15416.84	36.17%	63.83%	82.68	11.73%
N4	8406.25	55.79%	44.21%	87.39	18.10%
N5	18300.71	22.76%	77.24%	79.46	7.38%

Tabla N° 7: Tabla Resumen % incremento CN

	CN actual	CN futuro	% incremento
<b>N1</b>	74	79.62	7.59%
<b>N2</b>	74	85.61	15.69%
<b>N3</b>	74	82.68	11.73%
<b>N4</b>	74	87.39	18.10%
<b>N5</b>	74	79.46	7.38%
<b>CN Promedio</b>	<b>74.00</b>	<b>82.95</b>	<b>12.10%</b>

De la tabla se desprende que luego de realizar el emprendimiento, la impermeabilización producida en la superficie es en promedio alrededor del 12.10% pasando de un CN promedio de 74 a un CN promedio de 82.95, se puede ver que el impacto producido no es tan significativo a nivel de cuencas internas. Se han adoptado las superficies definidas en el proyecto de arquitectura.



## 2.4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES E HIDROGRAMAS

Ante la falta de registros históricos de caudales para cuencas de características similares a la analizada, resulta habitual relacionar las escorrentías con registros de precipitación mediante la transformación lluvia – caudal, asumiendo que las tormentas de proyecto y los picos de caudales que éstas generan, poseen la misma recurrencia.

La determinación de la tormenta de diseño tiene como finalidad el cálculo de los hidrogramas de proyecto que permiten obtener los picos de caudal y establecer la forma del mismo. En ese orden, los valores máximos permiten el cálculo o verificación de las obras de captación y conducción, mientras que los hidrogramas sirven al dimensionado de los almacenamientos (embalses o lagunas) y sus obras de descarga.

Estos análisis tienden a definir La Descarga Máxima (caudal asociado a un cierto riesgo de ser igualado o superado, utilizado para el cálculo de canales, alcantarillas, etc.) y el Hidrograma de Proyecto (secuencia de caudales caracterizada por su volumen, distribución temporal y caudal pico, requerido para definir tiempos de inundación, alturas de reservorios y diseño de obras hidráulicas)

El análisis de las cuencas desarrollará mediante la aplicación del Modelo Matemático HEC-HMS.

### 2.4.1 HIDROGRAMA UNITARIO

El Hidrograma Unitario de una cuenca es el hidrograma observable a la salida de la misma cuando sobre ella actúa una tormenta de lámina neta o efectiva unitaria, que se distribuye uniformemente sobre toda el área de aporte y de intensidad constante. Es necesario para recordar que el HU supone que la cuenca tiene un comportamiento lineal, es decir, se dan los fenómenos de proporcionalidad y superposición de efectos.

Para el presente trabajo fue utilizado el Hidrograma Unitario de US Soil Conservation Service.

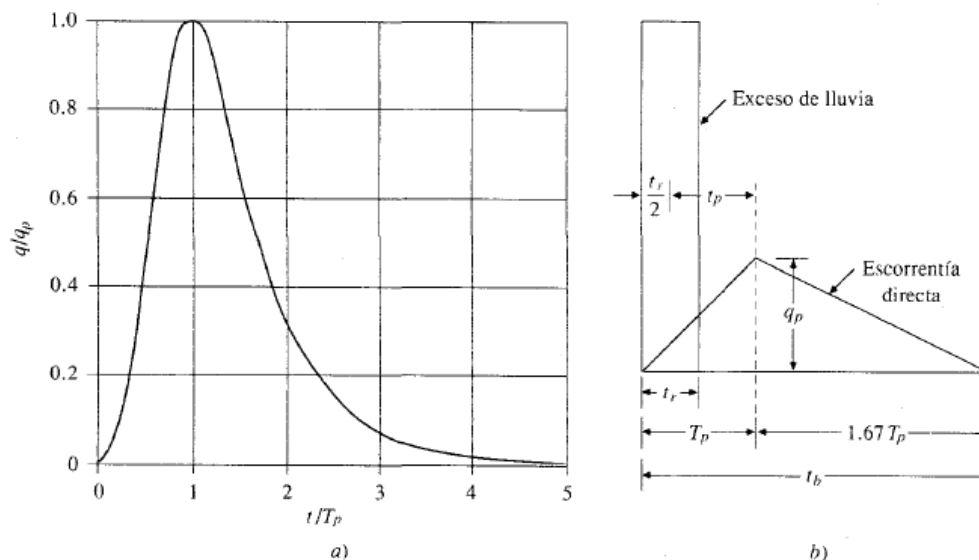


Figura N° 14: Hidrogramas Unitarios Sintéticos del Soil Conservation Service a) Hidrograma Adimensional, b) Hidrograma Unitario Triangular

### 2.4.2 MODELO HEC-HMS

La obtención de los hidrogramas de escorrentía para lluvias de distintas recurrencias se obtuvo a través del Modelo HEC-HMS. Este modelo permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces. Las siglas HEC significan Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), del Centro de Investigación del U. S. Army Corps of Engineers en Davis, California, donde fue desarrollado.

El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia-caudal mediante la simplificación de la realidad.

La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (Versión 4.2.1) requiere de las siguientes especificaciones:

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

### 2.4.3 ESQUEMA DE MODELACIÓN

Para cuantificar los caudales de las cuencas de aporte del emprendimiento se realizó la modelación matemática del sistema hidrológico mediante el programa HEC-HMS, para 5, 25 y 100 años de recurrencia de todas las cuencas para la situación actual en estado natural y la cuenca en estado desarrollada. Se adoptaron las duraciones de lluvia de los apartados anteriores. A continuación, se presentan los esquemas de modelación adoptados.

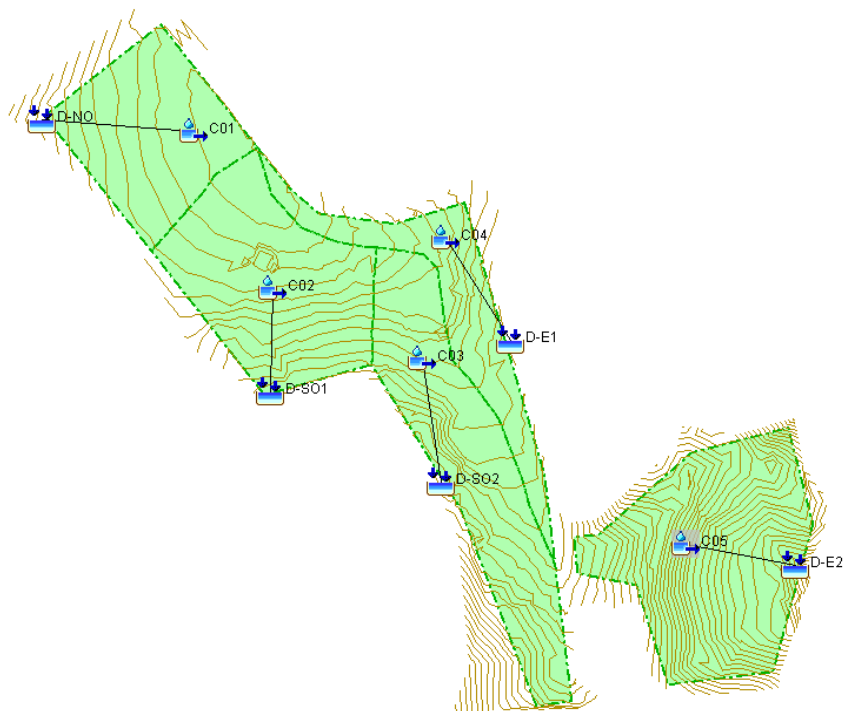


Figura N° 15.- Modelación en HEC-HMS escenario Natural



Figura N° 16.- Modelación en HEC-HMS escenario Urbanizado

## 2.4.4 CAUDALES RESULTANTES

A continuación, se presentan los resultados de la modelación para el estado natural y desarrollado. Para todos los casos analizados se han respetado los bajos naturales locales dentro del emprendimiento. En la misma se pueden identificar 5 puntos de descarga, uno en el extremo noroeste (D-NO), dos en el costado al suroeste (D-SO1 y D-SO2), dos en el costado este (D-E1 y D-E2).

**Tabla Nº 8: Resumen de caudales y volúmenes para escenario Natural**

P-60 minutos		Tr 5 años		Tr 25 años		Tr 100 años	
Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )
C01	0.0114	0.038	0.069	0.083	0.138	0.123	0.203
C02	0.0152	0.051	0.091	0.111	0.184	0.164	0.271
C03	0.0154	0.054	0.093	0.116	0.187	0.172	0.274
C04	0.0084	0.027	0.051	0.058	0.102	0.087	0.15
C05	0.0183	0.067	0.11	0.143	0.222	0.209	0.326
<b>D-E1</b>	<b>0.0084</b>	<b>0.027</b>	<b>0.051</b>	<b>0.058</b>	<b>0.102</b>	<b>0.087</b>	<b>0.15</b>
<b>D-E2</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.067</b>	<b>0.11</b>	<b>0.143</b>	<b>0.222</b>	<b>0.209</b>	<b>0.326</b>
<b>D-NO</b>	<b>0.0114</b>	<b>0.038</b>	<b>0.069</b>	<b>0.083</b>	<b>0.138</b>	<b>0.123</b>	<b>0.203</b>
<b>D-SO1</b>	<b>0.0152</b>	<b>0.051</b>	<b>0.091</b>	<b>0.111</b>	<b>0.184</b>	<b>0.164</b>	<b>0.271</b>
<b>D-SO2</b>	<b>0.0154</b>	<b>0.054</b>	<b>0.093</b>	<b>0.116</b>	<b>0.187</b>	<b>0.172</b>	<b>0.274</b>

**Tabla Nº 9: Resumen de caudales y volúmenes Escenario Urbanizado**

P-60 minutos		Tr 5 años		Tr 25 años		Tr 100 años	
Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (1000m <sup>3</sup> )
C01	0.0114	0.07	0.115	0.126	0.205	0.173	0.284
C02	0.0152	0.152	0.247	0.239	0.396	0.309	0.521
C03	0.0154	0.126	0.2	0.209	0.337	0.278	0.454
C04	0.0084	0.092	0.155	0.141	0.243	0.181	0.315
C05	0.0183	0.118	0.183	0.208	0.326	0.285	0.452
<b>D-E1</b>	<b>0.0084</b>	<b>0.092</b>	<b>0.155</b>	<b>0.141</b>	<b>0.243</b>	<b>0.181</b>	<b>0.315</b>
<b>D-E2</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.118</b>	<b>0.183</b>	<b>0.208</b>	<b>0.326</b>	<b>0.285</b>	<b>0.452</b>
<b>D-NO</b>	<b>0.0114</b>	<b>0.07</b>	<b>0.115</b>	<b>0.126</b>	<b>0.205</b>	<b>0.173</b>	<b>0.284</b>
<b>D-SO1</b>	<b>0.0152</b>	<b>0.152</b>	<b>0.247</b>	<b>0.239</b>	<b>0.396</b>	<b>0.309</b>	<b>0.521</b>
<b>D-SO2</b>	<b>0.0154</b>	<b>0.126</b>	<b>0.2</b>	<b>0.209</b>	<b>0.337</b>	<b>0.278</b>	<b>0.454</b>

## 2.4.5 RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta una tabla resumen de resultados para los escenarios modelados.

**Tabla N° 10.-Resumen de Resultados (Caudales)**

Tr 5 años		Caudales (m <sup>3</sup> /s)				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.027	0.067	0.038	0.051	0.054	
Urbanizado	0.092	0.118	0.07	0.152	0.126	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.065</b>	<b>0.051</b>	<b>0.032</b>	<b>0.101</b>	<b>0.072</b>	
<b>% incremento</b>	<b>240.74%</b>	<b>76.12%</b>	<b>84.21%</b>	<b>198.04%</b>	<b>133.33%</b>	
Tr 25 años		Caudales (m <sup>3</sup> /s)				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.058	0.143	0.083	0.111	0.116	
Urbanizado	0.141	0.208	0.126	0.239	0.209	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.083</b>	<b>0.065</b>	<b>0.043</b>	<b>0.128</b>	<b>0.093</b>	
<b>% incremento</b>	<b>143.10%</b>	<b>45.45%</b>	<b>51.81%</b>	<b>115.32%</b>	<b>80.17%</b>	
Tr 100 años		Caudales (m <sup>3</sup> /s)				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.087	0.209	0.123	0.164	0.172	
Urbanizado	0.181	0.285	0.173	0.309	0.278	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.094</b>	<b>0.076</b>	<b>0.05</b>	<b>0.145</b>	<b>0.106</b>	
<b>% incremento</b>	<b>108.05%</b>	<b>36.36%</b>	<b>40.65%</b>	<b>88.41%</b>	<b>61.63%</b>	

Como se observa en la tabla, se produce un incremento en los caudales pico producto del desarrollo del emprendimiento. Los incrementos dependen del punto de descarga analizado y la recurrencia evaluada. A medida que la recurrencia aumenta se observa que estos porcentajes disminuyen. Por ejemplo para el caso de la recurrencia de 100 años se observan incrementos del orden de 108.05% (D-E1), 36.36% (D-E2), 40.65% (D-NO), 88.41% (D-SO1) y 61.63% (D-SO2). Para una recurrencia de 25 años se observan incrementos del orden de 143.10% (D-E1), 45.45% (D-E2), 51.81% (D-NO), 115.32% (D-SO1) y 80.17% (D-SO2).

Si bien se observa que los porcentajes son moderados, la magnitud de los valores de caudales e incrementos es baja.

Tabla N° 11.- Resumen de Resultados (Volúmenes)

Tr 5 años		Volúmenes (1000m <sup>3</sup> )				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.051	0.11	0.069	0.091	0.093	
Urbanizado	0.155	0.183	0.115	0.247	0.2	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.104</b>	<b>0.073</b>	<b>0.046</b>	<b>0.156</b>	<b>0.107</b>	
<b>% incremento</b>	<b>203.92%</b>	<b>66.36%</b>	<b>66.67%</b>	<b>171.43%</b>	<b>115.05%</b>	
Tr 25 años		Volúmenes (1000m <sup>3</sup> )				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.102	0.222	0.138	0.184	0.187	
Urbanizado	0.243	0.326	0.205	0.396	0.337	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.141</b>	<b>0.104</b>	<b>0.067</b>	<b>0.212</b>	<b>0.15</b>	
<b>% incremento</b>	<b>138.24%</b>	<b>46.85%</b>	<b>48.55%</b>	<b>115.22%</b>	<b>80.21%</b>	
Tr 100 años		Volúmenes (1000m <sup>3</sup> )				
Escenario	D-E1	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2	
Natural	0.15	0.326	0.203	0.271	0.274	
Urbanizado	0.315	0.452	0.284	0.521	0.454	
<b>Dif. Nat. vs Urb.</b>	<b>0.165</b>	<b>0.126</b>	<b>0.081</b>	<b>0.25</b>	<b>0.18</b>	
<b>% incremento</b>	<b>110.00%</b>	<b>38.65%</b>	<b>39.90%</b>	<b>92.25%</b>	<b>65.69%</b>	

Como se observa en la tabla, se produce un incremento en los volúmenes producto del desarrollo del emprendimiento. Los incrementos dependen del punto de descarga analizado y la recurrencia evaluada. A medida que la recurrencia aumenta se observa que estos porcentajes disminuyen. Por ejemplo para el caso de la recurrencia de 100 años se observan incrementos del orden de 110.00% (D-E1), 38.65% (D-E2), 39.90% (D-NO), 92.25% (D-SO1) y 65.69% (D-SO2). Para una recurrencia de 25 años se observan incrementos del orden de 138.24% (D-E1), 46.85% (D-E2), 48.55% (D-NO), 115.22% (D-SO1) y 80.21% (D-SO2).

Si bien se observa que los porcentajes son moderados, la magnitud de los valores de volúmenes e incrementos es baja.

### 3 SISTEMA DE OBRAS DE DRENAJE

De acuerdo a los requerimientos que fija la Administración Provincial de Recursos Hídricos en materia de regulación, se deberán prever obras que regulen la totalidad del impacto para 25 años recurrencia.

Tabla N° 12.- Volúmenes a prever en las obras de regulación

Pto de Descarga	Volumen en m <sup>3</sup> a regular		
	Tr 5 años	Tr 25 años	Tr 100 años
D-E1	104	141	165
D-E2	73	104	126
D-NO	46	67	81
D-SO1	156	212	250
D-SO2	107	150	180

Las obras hidráulicas a considerar para regular el impacto hidrológico son reservorios o lagunas de retardo que reduzcan los picos de crecidas de las cuencas internas.

### 3.1 DISEÑO DE LAS REGULACIONES

Para materializar las obras antes mencionadas se plantea la **ejecución de reservorios o cierres en los puntos de drenaje identificados previamente. Se proyecta aprovechar la senda peatonal o bicisenda perimetral del complejo como coronamiento y elevar la rasante de la misma en dichos puntos de forma de materializar el reservorio, colocando una estructura de descargador de fondo compuesto por un conducto circular.** Cabe destacar que en el punto de descarga denominado D-E1, no se cuenta con espacio necesario para realizar una regulación y es por ello que dicha cuenca no ha sido analizada, admitiéndose para este caso que el caudal urbanizado transite sin regulación.

A partir de los datos topográficos se obtuvieron las curvas las curvas altura volumen H-V de cada uno de los reservorios

A partir de dichas curvas, y aplicando el modelo de transito de crecidas en embalses (método de Puls o de piscina nivelada) se llegan a las siguientes curvas de funcionamiento de las lagunas. El método de Puls modificado (CEWRC-HEC, 1990) es una variación del método de ruteo en reservorios descrito por Henderson (1966), y es aplicable tanto a canales como reservorios. El grado de atenuación introducido en la onda de crecida varía en función de la longitud del tramo de río elegida o con el número de pasos de ruteo especificados para cada tramo (parámetro de calibración del método de ruteo en embalses). Una función de almacenamiento está dada por el almacenamiento dado y el caudal:

$$Q_{(t)} = \frac{Alm}{\Delta t} + \frac{Q_{(OUT)}}{2}$$

Donde Q(t) es el indicador de almacenamiento, Alm. es el almacenamiento en el tramo de ruteo por un caudal de salida Q(OUT) en el intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

El indicador de almacenamiento al final de cada intervalo de tiempo está dado por:

$$Q_{(2)} = Q_{(t)} + Q_{(IN)} - Q_{(1)}$$

Donde Q(IN) es el caudal medio de entrada, Q es el caudal de salida y los subíndices 1 y 2 indican el comienzo y final del intervalo de tiempo considerado.

El caudal de salida al final del intervalo es interpolado desde una tabla de almacenamiento - caudal, donde el Almacenamiento se calcula:

$$Alm = \left( Q_{(t)} - \frac{Q}{2} \right) \Delta t$$

Las condiciones iniciales pueden ser definidas en términos de almacenamiento o caudal o nivel. El valor correspondiente de almacenamiento o caudal se computa desde un valor inicial dado.

A continuación, se muestran para cada obra de regulación la planimetría de los cierres y las curvas altura volumen H-V de cada uno de ellos. Asimismo, las curvas de funcionamiento de los reservorios. Finalmente, la tabla resumen de los mismos.

3.1.1 OBRA DE REGULACION NOROESTE (NO)

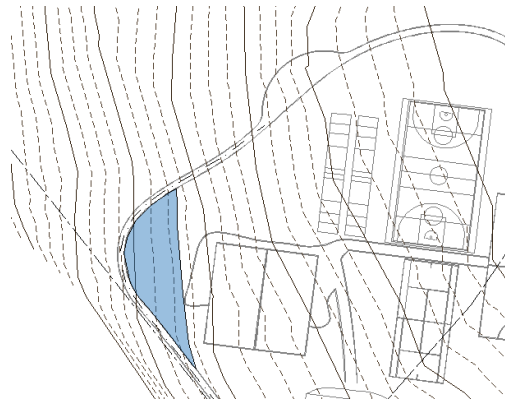


Figura Nº 17.- Planimetría Obra de Regulación NO



Figura Nº 18.- Curva H-V Obra de Regulación NO

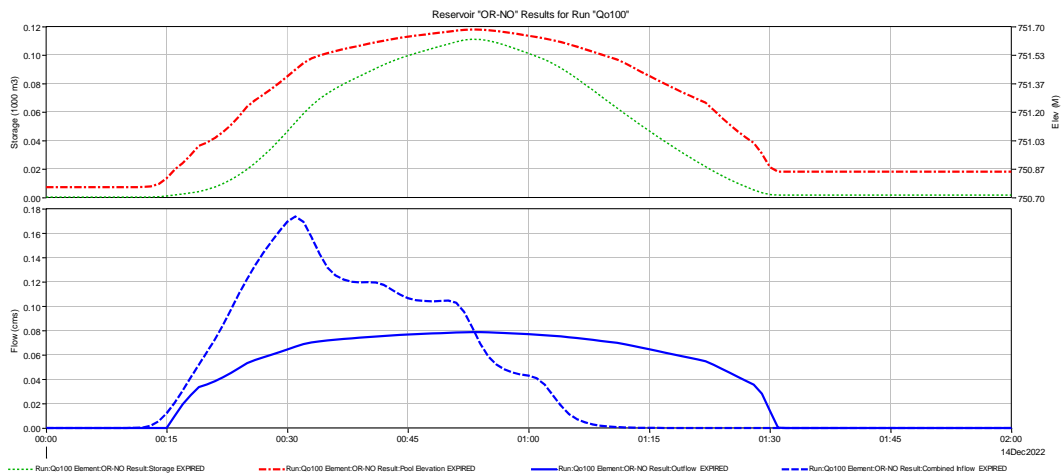


Figura Nº 19.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación NO

Tabla Nº 13.- Resumen de Resultados OR - NO

	TR5	TR25	TR100
Q Ingreso (m3/s)	0.070	0.126	0.173
Q Salida (m3/s)	0.051	0.070	0.079
Almacenamiento (m3)	17.00	61.00	111.00
Nivel Maximo (m)	751.20	751.50	751.68
Profundidad (m)	0.45	0.75	0.93



3.1.2 OBRA DE REGULACION SUROESTE 1 (SO1)

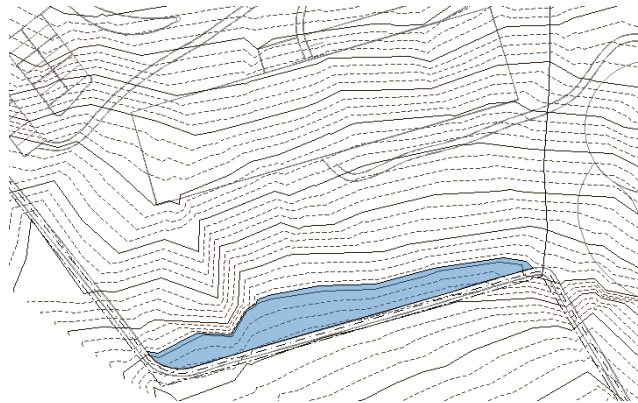


Figura N° 20.- Planimetría Obra de Regulación SO1

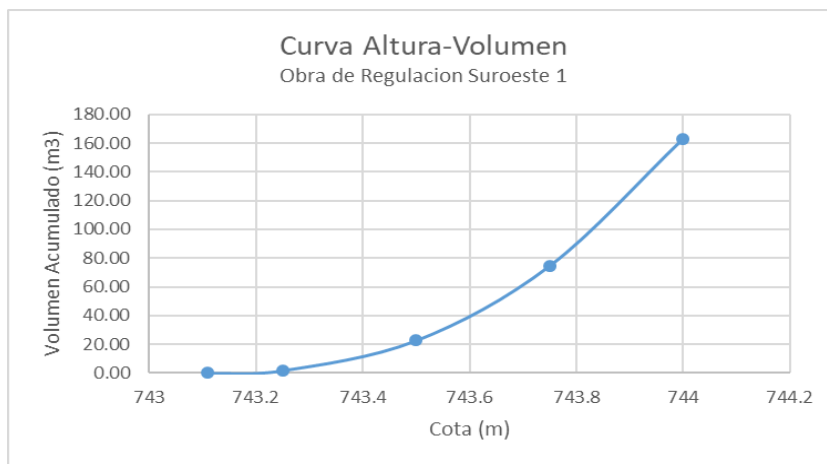


Figura N° 21.- Curva H-V Obra de Regulación SO1

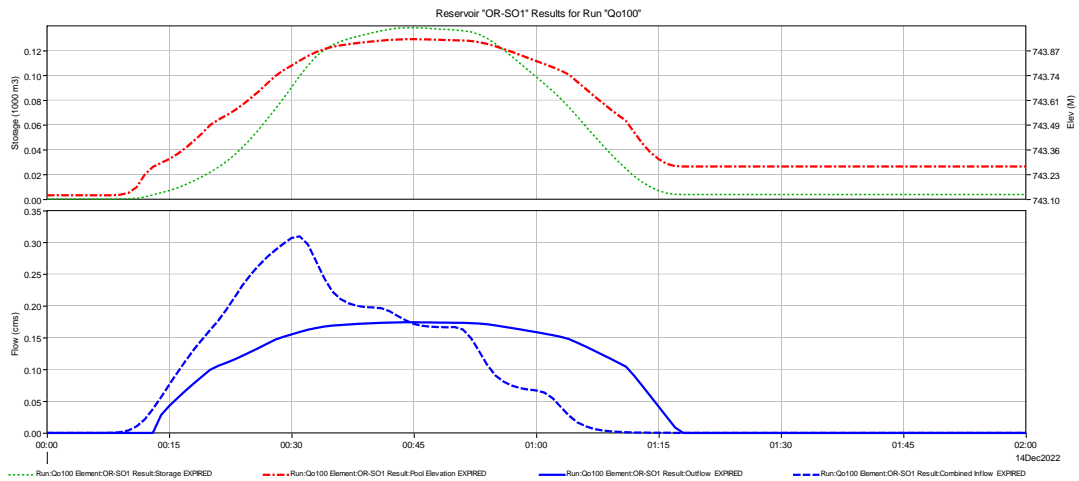


Figura N° 22.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación SO1

Tabla N° 14.- Resumen de Resultados OR – SO1

	TR5	TR25	TR100
<b>Q Ingreso (m3/s)</b>	0.152	0.293	0.309
<b>Q Salida (m3/s)</b>	0.091	0.115	0.174
<b>Almacenamiento (m3)</b>	57.00	141.00	138.00
<b>Nivel Maximo (m)</b>	743.66	743.94	743.93
<b>Profundidad (m)</b>	0.55	0.83	0.82

### 3.1.3 OBRA DE REGULACION SUROESTE 2 (SO2)



Figura N° 23.- Planimetría Obra de Regulación SO2



Figura N° 24.- Curva H-V Obra de Regulación SO2

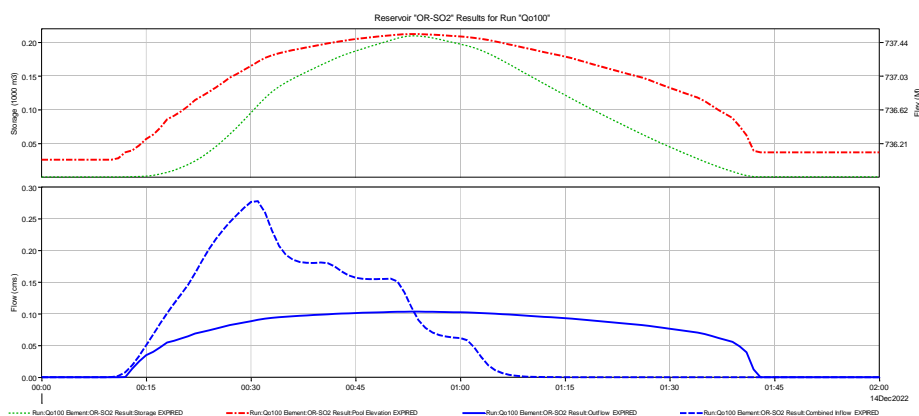


Figura N° 25.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación SO2

Tabla N° 15.- Resumen de Resultados OR – SO2

	TR5	TR25	TR100
<b>Q Ingreso (m3/s)</b>	0.126	0.209	0.278
<b>Q Salida (m3/s)</b>	0.075	0.094	0.103
<b>Almacenamiento (m3)</b>	42.00	126.00	209.00
<b>Nivel Maximo (m)</b>	736.87	737.28	737.53
<b>Profundidad (m)</b>	0.87	1.28	1.53

3.1.4 OBRA DE REGULACION ESTE (E2)



Figura N° 26.- Planimetría Obra de Regulación E2

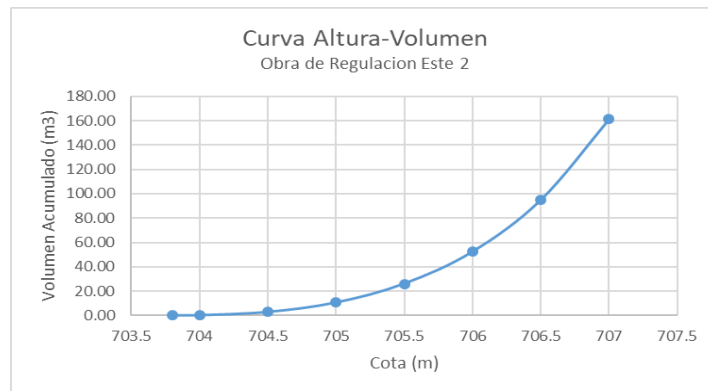


Figura N° 27.- Curva H-V Obra de Regulación E2

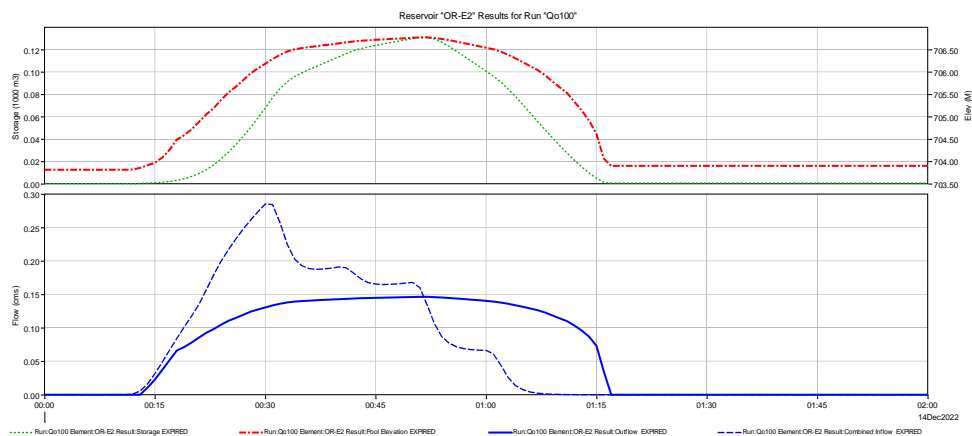


Figura N° 28.- Curvas de Funcionamiento Obra de Regulación E2

Tabla N° 16.- Resumen de Resultados OR – E2

	TR5	TR25	TR100
Q Ingreso (m3/s)	0.118	0.208	0.285
Q Salida (m3/s)	0.092	0.127	0.146
Almacenamiento (m3)	13.00	59.00	131.00
Nivel Maximo (m)	705.05	706.08	706.77
Profundidad (m)	1.25	2.28	2.97

### 3.2 VERIFICACIONES HIDRAULICAS

Las verificaciones hidráulicas consisten en dimensionar, para los caudales de proyecto la totalidad de los elementos y estructuras hidráulicas previstas en el sistema. Para el caso en estudio se trata de descargadores de fondo y vertederos de excedencia.

Los descargadores de fondo se calculan mediante la ecuación básica de orificios

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Dónde:  $C_d$  es el coeficiente de gasto;  $A$  es el área del orificio;  $H$  es la carga sobre centro de gravedad del orificio y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

La capacidad del vertedero se verifico mediante la siguiente fórmula:

$$Q = C \cdot B \cdot H^{3/2}$$

Dónde:  $C$  es el coeficiente de gasto;  $B$  es la longitud del vertedero en metros;  $H$  es la carga sobre vertedero medida desde el umbral en metros.

#### 3.2.1 DESCARGADOR DE FONDO

La estructura de salida de las lagunas consta de un descargador de Fondo. **Se adoptó como  $\emptyset$ min un descargador de 200mm de diámetro y para el caso de la OR-SO1 un descargador de 315mm.** Conforme las ecuaciones previamente indicadas se muestran a continuación las erogaciones máximas correspondientes a TR100.

Tabla N° 17.- Tabla Resumen Descargador de Fondo OR

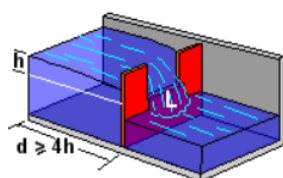
	OR-NO	OR-SO1	OR-SO2	OR-E2
$C_d$	0.62	0.62	0.62	0.62
$\emptyset$ Descargador (m)	0.200	0.315	0.200	0.200
$A$ (m <sup>2</sup> )	0.031	0.078	0.031	0.031
$g$ (m/s <sup>2</sup> )	9.81	9.81	9.81	9.81
$h$ (m)	0.83	0.6625	1.43	2.87
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	0.079	0.174	0.103	0.146

#### 3.2.2 VERTEDERO

En cuanto a la estructura de vertedero de Excedencia, **Las mismas se materializan mediante la Bicisenda o camino perimetral con calzada de  $H^0$  de 2.00m de ancho por lo que se considera un vertedero de cresta ancha.** La cota de vertedero estará dada en cada uno de los casos por la altimetría correspondiente y la longitud del mismo de acuerdo a ese desarrollo por lo que los valores de caudal admisible varían en función de dicha longitud. Atento que para el diseño se encuentra completamente contenida la crecida de TR100, el valor del caudal se estimara considerando una sobre elevación de 10cm por sobre el coronamiento a modo de estandarizar los resultados. Se muestra a continuación la erogación por vertedero de excedencia recordando que la misma responderá a recurrencias más altas que las adoptadas y mayores duraciones de eventos de precipitación.

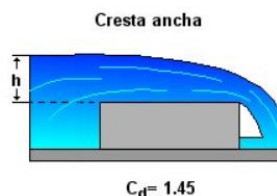
Tabla Nº 18.- Tabla Resumen Vertederos OR

	OR-E2	OR-NO	OR-SO1	OR-SO2
<b>Cd</b>	1.45	1.45	1.45	1.45
<b>Nivel de Embalse (m)</b>	706.77	751.68	743.93	737.53
<b>Nivel Vertedero (m)</b>	706.8	751.7	744.00	737.60
<b>Long. Vertedero (m)</b>	25.8	70	77.3	62.2
<b>h (m)</b>	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Q (m3/s)</b>	1.18	3.21	3.54	2.85



**Ecuación:**

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{3/2}$$



### 3.3 EFICIENCIA DE LAS REGULACIONES

A continuación, se muestran los análisis comparativos entre los escenarios analizados.

Tabla Nº 19.- Eficiencia OR respecto del estado desarrollado

Tr 5 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Urbanizado	0.118	0.07	0.152	0.126
Urbanizado y Obras	0.092	0.051	0.091	0.075
<b>Dif. Urb. vs Urb. Obras</b>	<b>-0.026</b>	<b>-0.019</b>	<b>-0.061</b>	<b>-0.051</b>
<b>% incremento</b>	<b>-22.03%</b>	<b>-27.14%</b>	<b>-40.13%</b>	<b>-40.48%</b>

Tr 25 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Urbanizado	0.208	0.126	0.239	0.209
Urbanizado y Obras	0.127	0.07	0.115	0.094
<b>Dif. Urb. vs Urb. Obras</b>	<b>-0.081</b>	<b>-0.056</b>	<b>-0.124</b>	<b>-0.115</b>
<b>% incremento</b>	<b>-38.94%</b>	<b>-44.44%</b>	<b>-51.88%</b>	<b>-55.02%</b>

Tr 100 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Urbanizado	0.285	0.173	0.309	0.278
Urbanizado y Obras	0.146	0.079	0.174	0.103
<b>Dif. Urb. vs Urb. Obras</b>	<b>-0.139</b>	<b>-0.094</b>	<b>-0.135</b>	<b>-0.175</b>
<b>% incremento</b>	<b>-48.77%</b>	<b>-54.34%</b>	<b>-43.69%</b>	<b>-62.95%</b>

Como puede apreciarse, las obras propuestas contienen el impacto hidrológico, no solo para la recurrencia de diseño sino también para un evento de 100 años de recurrencia. Los porcentajes de reducción en el caudal picos son de entre 22 y 63% siendo los mayores los correspondientes a recurrencias altas. Las capacidades de los vertederos quedan entonces definidas para eventos de precipitaciones de mayor recurrencia y duraciones superiores a las diseñadas.

Tabla N° 20.- Eficiencia OR respecto del estado sin intervenciones

Tr 5 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Natural	0.067	0.038	0.051	0.054
Urbanizado y Obras	0.092	0.051	0.091	0.075
<b>Dif. Nat. vs Urb. Obras</b>	<b>0.025</b>	<b>0.013</b>	<b>0.04</b>	<b>0.021</b>
<b>% incremento</b>	<b>37.31%</b>	<b>34.21%</b>	<b>78.43%</b>	<b>38.89%</b>

Tr 25 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Natural	0.143	0.083	0.111	0.116
Urbanizado y Obras	0.127	0.07	0.115	0.094
<b>Dif. Nat. vs Urb. Obras</b>	<b>-0.016</b>	<b>-0.013</b>	<b>0.004</b>	<b>-0.022</b>
<b>% incremento</b>	<b>-11.19%</b>	<b>-15.66%</b>	<b>3.60%</b>	<b>-18.97%</b>

Tr 100 años				
Escenario	D-E2	D-NO	D-SO1	D-SO2
Natural	0.209	0.123	0.164	0.172
Urbanizado y Obras	0.146	0.079	0.174	0.103
<b>Dif. Nat. vs Urb. Obras</b>	<b>-0.063</b>	<b>-0.044</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.069</b>
<b>% incremento</b>	<b>-30.14%</b>	<b>-35.77%</b>	<b>6.10%</b>	<b>-40.12%</b>

En cuanto al impacto hidrológico, para las recurrencias de 25 y 100 años, el mismo no solo queda totalmente contenido, sino que se observan reducción del caudal erogado por presencia de la obra por lo cual la eficiencia de las mismas es total. En cuanto a la recurrencia de 5 años, la misma presenta leves incrementos del orden de 20-40 lts/s, siendo estas totalmente admisibles respecto de la envergadura del emprendimiento y del impacto hidrológico estimado en el escenario sin obras (50-100 lts/s).

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se puede observar en los resultados del modelo que se cumple con el objetivo planteado de cuantificar y verificar de caudales generados por el emprendimiento a desarrollar en la propiedad
- Se observa que la magnitud de los caudales y volúmenes que generan las cuencas internas es baja.
- Se han cuantificado los caudales y volúmenes en cada uno de los puntos de descarga definidos para el escenario natural y post desarrollo.
- Se han previsto obras de regulación consistentes en reservorios para atenuar el impacto hidrológico de las obras. Las obras proyectadas controlan la totalidad del impacto de la urbanización para las recurrencias analizadas e incluso implican una mejora para el caudal en estado natural.
- Las obras a proyectar consisten en la adecuación de la altimétrica de la bicusenda o camino perimetral del predio y colocación de un descargador de fondo.
- Se hace mención que este tipo de obras requiere mantenimiento periódico posterior a cada lluvia para remover malezas y obstrucciones.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACASE – INTA (2003): Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. ACASE - Dirección de Ambiente. INTA – EEA Manfredi.
- [2] Bolinaga I. J.J. (1979): Drenaje Urbano. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Instituto Nacional de Obras Sanitarias, Caracas, Venezuela.
- [3] Caamaño Nelli G, et. Al. (1993): Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba. INCYTH, CIHRSA, CONICET, SMN, DPH, CONICOR.
- [4] Caamaño Nelli G. y Dasso C. M. (2003): Lluvias de diseño; Conceptos, técnicas y experiencias. Ed. Científica Universitaria, Córdoba.
- [5] Capitanelli, R (1979): Geomorfología. Capítulo V en Geografía Física de la Provincia de Córdoba. Cap. V pp. 263-279. Editorial Boldt. Córdoba.
- [6] Chow V., T. (1994): Hidráulica de Canales Abiertos. Ed, McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [7] Chow V., T., Maidment D, R. y Mays L. W. (1994): Hidrología Aplicada. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [8] Dirección Nacional de Vialidad (1966): Gráficos Hidráulicos para el Diseño de Alcantarillas. Preparados por la sección hidráulica, división puentes, oficina de ingeniería y operaciones del Bureau of Public Roads, U.S.
- [9] U.S. Army Corps of Engineers R&D Work Unit #32444. (2000): Hydrologic Modeling Systems HEC-HMS. Technical Reference Manual. Author Arlen D. Feldman, Editor, Washington, DC.
- [10] U.S. Army Corps of Engineers (2016): Hydrologic Modeling Systems HEC-HMS. Quick Start Guide. Author M. Fleming and T. Brauer. Davis, California
- [11] U.S. Army Corps of Engineers (2016): Hydrologic Modeling Systems HEC-HMS. User's Manual. Author W. Scharffenberg. Davis, California
- [12] Tucci C.E.M. (ed.) (1993): Hidrologia: Ciência e Aplicação. Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.