

Funes Deluigi, Ignacio

Pedrueza, Lorenzo

Comparación de metodologías de diseño hidrológico

**Tesis para la obtención del título de
grado de Ingeniero Civil**

Directores:

Ganancias, Facundo

Catalini, Carlos

Fontana, Marcos

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



[Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- Compartir igual 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CÓRDOBA**
JESUITAS

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO HIDROLÓGICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

CÁTEDRA DE TRABAJO FINAL

Autores:

Funes Deluigi, Ignacio

Pedrueza, Lorenzo

Tutores:

Ing. Facundo Ganancias

Ing. Carlos Catalini

Ing. Marcos Fontana



AGRADECIMIENTOS

La realización y finalización de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo, orientación y espacio de muchas personas e instituciones. En este apartado queremos demostrar nuestra gratitud hacia ellos.

En primer lugar, deseamos agradecer a nuestros tutores, el Ing. Facundo Ganancias, el Ing. Carlos Catalini y Ing. Marcos Fontana por la orientación constante, la transmisión de la experiencia y los conocimientos expertos y la predisposición a resolver dudas cada semana. Han sido una guía indispensable para la materialización de este trabajo.

Luego, a los profesores y profesoras que han formado parte en todo el proceso de formación profesional. Así como a nuestros compañeros, por su compañía y los buenos momentos compartidos.

A la Universidad Católica de Córdoba, que nos ha brindado las herramientas, el espacio y los recursos intelectuales durante toda la carrera.

Finalmente, por su apoyo y contención incondicional, a nuestras familias y amigos. Sin ellos no hubiera sido posible trazar este camino. Gracias por el amor, la comprensión y aliento.

Este trabajo es la conclusión de un largo y complejo proceso que no hubiera sido posible sin el apoyo de muchas personas e instituciones. A ellos, gracias.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 1 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado evalúa distintas metodologías para la determinación de lluvias de diseño aplicadas al sistema de drenaje pluvial de una urbanización real en la Ciudad de Córdoba. Se modeló hidráulicamente el barrio mediante el software EPA SWMM, a partir de información topográfica obtenida mediante fotogrametría con dron y procesada en iTwin Capture.

El análisis consideró tres enfoques: lluvias de diseño convencionales basadas en curvas IDF, trenes de lluvias compuestos por eventos sucesivos, y lluvias generadas mediante redes neuronales (RN), que incorporan la variabilidad climática. Los resultados demuestran que el enfoque tradicional subestima situaciones críticas: solo 4 de las 11 lagunas de retención cumplen con la normativa, y varias presentan desbordes con recurrencias de apenas 5 años. En los escenarios de trenes de lluvias se observaron colapsos por insuficiente capacidad de infiltración, mientras que los modelos con RN mostraron incrementos de hasta 60% en caudales y 19% en tirantes máximos, evidenciando la sensibilidad del sistema frente al cambio climático.

Finalmente, la simulación de una lluvia real confirmó la influencia de la duración del evento sobre el comportamiento hidráulico. Se concluye que la incorporación de metodologías complementarias, como trenes de lluvia y modelos predictivos basados en inteligencia artificial, mejora la precisión del diseño y la resiliencia urbana ante eventos extremos.

PALABRAS CLAVE

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 2 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Lluvia - Cuencas - Curvas IDF - Trenes de lluvia - Redes Neuronales - Modelación - Laguna de retención - Calle - Inundabilidad - Recurrencia - Modelo digital de elevación - Fotogrametría - Curvas de nivel - Urbanización - Drenaje Urbano

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 3 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ABSTRACT

This Final Degree Project evaluates different methodologies for determining design rainfall applied to the stormwater drainage system of a real urban development in Córdoba City. The neighborhood was hydraulically modeled using EPA SWMM, with topographic data obtained via drone photogrammetry and processed in iTwin Capture.

Three approaches were analyzed: conventional IDF curve rainfall, rainfall trains composed of successive events, and rainfall generated through neural networks (NN) incorporating climatic variability. Results show that traditional design methods underestimate critical conditions: only 4 of 11 retention ponds meet regulatory standards, while several overflow under 5-year recurrence storms. Rainfall train simulations revealed failures due to limited infiltration, and NN-generated rainfall produced up to 60% higher peak flows and 19% greater water depths, highlighting system sensitivity to climatic changes.

A real rainfall event validated the major influence of storm duration on system response. It is concluded that incorporating complementary methodologies—such as rainfall trains and AI-based predictive models—enhances design reliability and urban resilience against extreme events.

KEY WORDS

Rainfall – Watersheds – IDF Curves – Rainfall Hyetographs – Neural Networks – Modeling – Retention Pond – Street – Flood Hazard – Return Period – Digital Elevation Model – Photogrammetry – Contour Lines – Urbanization – Urban Drainage

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 4 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	23
OBJETIVOS	25
I. CAPÍTULO PRIMERO: MARCO TEÓRICO	27
I.1. Marco Teórico: Urbanización	27
I.1.1. Impactos hidrológicos de una urbanización	28
I.2. Ordenanza N° 8060 Ciudad de Córdoba	37
I.2.1. Zonificación	37
I.2.2. Red vial	39
I.2.3. Retiros mínimos.....	40
I.2.4. Terrenos afectados por escorrentía superficial (Art. 32 - 35)	40
I.2.5. Canales de riego (Art. 36 - 38).....	41
I.2.6. Manzanas.....	41
I.2.7. Mensura y amojonamiento.....	42
I.2.8. Afectaciones al uso común	42

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 5 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.2.9. Infraestructura	42
I.2.10. Disposiciones orgánicas y procedimentales	44
I.2.11. Infracciones y sus penalidades.....	45
I.3. Marco Teórico: Hidrología.....	48
I.3.1. Definición de hidrología	48
I.3.2. El ciclo hidrológico.....	48
I.3.3. Cuencas	51
I.3.4. Precipitaciones	58
I.3.5. Hidrograma, hietograma y otros conceptos	66
I.3.6. Método del SCS para estimación de escorrentía	75
I.4. Marco Teórico: Drenaje Urbano.....	82
I.4.1. Macro y micro drenaje	82
I.4.2. Drenajes combinados y separados.....	84
I.4.3. Sistema de drenaje urbano sostenible	86
I.5. Marco Teórico: Cambio Climático	88
I.5.1. Impacto del cambio climático.....	89
I.5.2. Presiones ambientales asociadas y necesidad de adaptación.....	90

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 6 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.5.3.	Impactos sobre el ciclo hidrológico	90
I.5.4.	Efectos ecológicos, productivos y en la salud	98
I.5.5.	Vulnerabilidad territorial y sectorial diferenciada	99
I.5.6.	El cambio climático en Argentina	99
I.6.	Marco Teórico: Fotogrametría con Drone	104
I.6.1.	Resolución espacial (Ground Sample Distance, GSD):	104
I.6.2.	Solapamiento de imágenes	104
I.6.3.	Altura de vuelo.....	105
I.6.4.	Cámara y sensor	105
I.6.5.	Puntos de control terrestre (GCP).....	105
I.7.	Marco Teórico: Redes neuronales	106
I.8.	Revisión del estado del arte.....	108
I.8.1.	Hydraulic Modeling for Flood Risk Assessment and Mitigation	108
I.8.2.	Impacto de las inundaciones fluviales asociadas a eventos extremos de precipitación en zonas urbanas: caso de estudio arroyo Las Liebres de la ciudad de León, Guanajuato	110
I.8.3.	Streamflow Simulation in the Cau River Basin, Northeast Vietnam, Using SWAT-Based Hydrological Modelling	111

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 7 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.8.4.	Accelerating Urban Flood Inundation Simulation Under Spatio-Temporally Varying Rainstorms Using ConvLSTM Deep Learning Model	113
II.	CAPÍTULO SEGUNDO: ESTUDIO DEL ÁREA Y MODELACIÓN	116
II.1.	Descripción del área de estudio	116
II.1.1.	Ubicación	116
II.1.2.	Descripción de la Ciudad de Córdoba	119
II.1.3.	Características de la Urbanización	125
II.2.	Modelación de estado urbanizado.....	163
II.2.1.	Relevamiento fotogramétrico con Drone	164
II.2.2.	Procesamiento y modelos digitales en iTwin	165
II.2.3.	Obtención de curvas de nivel en QGIS.....	172
II.2.4.	Demarcación y caracterización de cuencas.....	178
II.2.5.	Modelación hidrológica del barrio en EPA SWMM.....	181
II.3.	Modelación de estado natural	202
III.	CAPÍTULO TERCERO: SIMULACIONES Y RESULTADOS	205
III.1.	Lluvias IDF	205
III.1.1.	Resultados y verificaciones	213

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 8 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.2.	Limitación del modelo y solución adoptada	249
III.2.1.	Resultados del modelo corregido	253
III.2.2.	Análisis de resultados frente a lluvias IDF	262
III.3.	Tren de lluvias.....	265
III.3.1.	Resultados	270
III.3.2.	Análisis de resultados de tren de lluvias	273
III.4.	Lluvias a partir de Redes neuronales	275
III.4.1.	Resultados de lluvias RN	279
III.4.2.	Análisis de resultados de lluvias RN.....	281
III.5.	Lluvia real.....	282
III.5.1.	Resultados de lluvia real	286
III.5.2.	Análisis de resultados de lluvia real.....	287
IV.	CAPÍTULO CUARTO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	289
IV.1.	Conclusiones particulares	289
IV.2.	Conclusiones y recomendaciones generales	292
	BIBLIOGRAFÍA.....	296
	ANEXO 1: TABLAS	303

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 9 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ANEXO 2: PLANOS.....	338
----------------------	-----

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 10 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrograma según densidad de urbanización	30
Figura 2 - Calidad del agua de lluvia durante tormenta - Fuente: (Tucci, 2007)	34
Figura 3 - Ciclo natural del agua - Fuente: Hidráulica de aguas subterráneas (Vélez, 2000)	49
Figura 4 - Variaciones en el hidrograma según forma de la cuenca - Fuente: (Ganancias, 2010).	55
Figura 5 - Longitud de la cuenca - Fuente: (Ganancias, 2010).....	56
Figura 6 - Tipos de lluvias - Fuente: Vélez (2000).....	59
Figura 7 - Media aritmética de precipitaciones - Fuente: (Andres, 2020).....	60
Figura 8 - Método de Thiessen - Fuente:(Andres, 2020).....	62
Figura 9 - Método de las isoyetas - Fuente: Andrés, 2020	64
Figura 10 - Pluviómetro.....	65
Figura 11 - Pluviógrafo.....	66
Figura 12 - Hidrograma - Fuente: Andrés (2020)	67
Figura 13 - Hietograma	69
Figura 14 - Hidrograma unitario - Fuente: (Aparicio, 1997)	71

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 11 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 15 - Drenajes combinados y separados	85
Figura 16 - Variación relativa de parámetros hídricos según calentamiento global - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.16)	93
Figura 17 - Variación de precipitación por cada grado de temperatura según diferentes líneas de evidencia - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.4)	94
Figura 18 - Variación de precipitación según diferentes escenarios - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.7)	96
Figura 19 - República Argentina	117
Figura 20 - Provincia de Córdoba	117
Figura 21 - Urbanización de estudio	118
Figura 22 - Clima de la provincia de Córdoba	124
Figura 23 - Relieve de la provincia de Córdoba	125
Figura 24 - Valle Cercano, Córdoba, Argentina - Imagen Satelital 2025	126
Figura 25 - Planimetría de Valle Cercano, Córdoba, Argentina	127
Figura 26 - Lagunas de retención relevadas en el área de estudio	130
Figura 27 - Laguna de retención 1 – Imagen satelital	131
Figura 28 - Laguna de retención 1	132
Figura 29 - Obra de Ingreso de laguna de retención 1	133

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 12 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 30 - Laguna de retención 2	134
Figura 31 - Laguna de retención 2	135
Figura 32 - Obra de ingreso de laguna de retención 2	136
Figura 33 - Laguna de retención 3	137
Figura 34 - Laguna de retención 3	137
Figura 35 - Obra de ingreso de laguna de retención 3	138
Figura 36 - Obra de egreso (vertedero) de laguna de retención 3.....	139
Figura 37 - Obra de egreso (orificio) de laguna de retención 3	140
Figura 38 - Laguna de retención 4	141
Figura 39 - Obra de ingreso 1 de laguna de retención 4	142
Figura 40 - Obra de ingreso 2 de laguna de retención 4	143
Figura 41 - Obra de egreso de laguna de retención 4	144
Figura 42 - Laguna de retención 5	145
Figura 43 - Obra de ingreso de laguna de retención 5	146
Figura 44 - Obra de egreso de laguna de retención 5	147
Figura 45 - Laguna de retención 6	148
Figura 46 - Obra de ingreso de laguna de retención 6	149

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 13 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 47 - Obra de ingreso de laguna de retención 6	149
Figura 48 - Laguna de retención 7	150
Figura 49 - Obra de ingreso de laguna de retención 7	151
Figura 50 - Obra de egreso de laguna de retención 7	152
Figura 51 - Laguna de retención 8	153
Figura 52 - Obra de ingreso de laguna de retención 8	154
Figura 53 - Obra de egreso de laguna de retención 8	155
Figura 54 - Laguna de retención 9	156
Figura 55 - Obra de ingreso 1 de laguna de retención 9	157
Figura 56 - Obra de ingreso 2 de laguna de retención 9	158
Figura 57 - Obra de egreso de laguna de retención 9	159
Figura 58 - Laguna de retención 10	160
Figura 59 - Obra de ingreso de laguna de retención 10	161
Figura 60 - Laguna de retención 11	162
Figura 61 - Frame con punto de control visible	167
Figura 62 - Punto de control triangulado con los demás de un modelo	168
Figura 63 - Datos de cada punto de control	169

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 14 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 64 - Modelo previo a la reconstrucción 3D con sus puntos de control	170
Figura 65 - Reconstrucción 3D de modelo: zona norte	171
Figura 66 - Reconstrucción 3D de un modelo: zona centro.....	171
Figura 67 - Reconstrucción 3D de modelo: zona oeste.....	172
Figura 68 - Mapa de cubrimiento del modelo digital de elevación IGN.....	174
Figura 69 - Capa raster combinada.....	175
Figura 70 - Curvas de nivel (equidistancia 0,2 metros)	176
Figura 71 - Curvas de nivel suavizadas (0,2 metros)	177
Figura 72 - Parámetros de subcuenca 1	185
Figura 73 - Editor de infiltración subcuenca 1	186
Figura 74 - Totalidad de las subcuencas modeladas	187
Figura 75 - Totalidad de las subcuencas modeladas	189
Figura 76 - Parámetros de nodo 1	191
Figura 77 - Parámetros de conducto 1 (calle)	192
Figura 78 - Tipos de formas de laguna de retención	194
Figura 79 - Parámetros de laguna 1.....	195
Figura 80 - Parámetros de forma de laguna 1.....	195

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 15 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 81 - Forma de laguna de retención 1	196
Figura 82 - Laguna de retención 3 (LR3) y su conexión a la red	197
Figura 83 - Propiedades del canal de ingreso de la laguna de retención 3	198
Figura 84 - Sistema de nodos, calles y lagunas de retención.....	200
Figura 85 - Sistema global de drenaje en estado urbanizado.....	201
Figura 86 - Sistema global de drenaje en estado natural	204
Figura 87 - Curva Intensidad - Duración - Frecuencia en la urbanización	206
Figura 88 - Cuenca tributaria de la laguna de infiltración 6.....	215
Figura 89 - Cuenca tributaria de la laguna de infiltración 10.....	216
Figura 90 - Zona norte del barrio a la fecha del relevamiento	217
Figura 91 - Salida de drenaje norte del barrio	218
Figura 92 - Descarga de la zona norte del barrio hacia el barrio colindante	219
Figura 93 - Descarga de la zona norte del barrio hacia el barrio colindante	219
Figura 94 - Nodo J92 en estado natural.....	222
Figura 95 - Nodo J92 en estado urbanizado	223
Figura 96 - Link C314 en el estado natural	225
Figura 97 - Link C314 en el estado urbanizado.....	226

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 16 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 98 - Nodo J111 en el estado natural	227
Figura 99 - Nodo J111 en el estado urbanizado.....	228
Figura 100 - Nodo J224 en el estado natural	230
Figura 101 - Nodo J224 en el estado urbanizado.....	231
Figura 102 - Nodo J54 en el estado natural	233
Figura 103 - Nodo J54 en el estado urbanizado.....	234
Figura 104 - Nodo J67 en el estado natural	236
Figura 105 - Nodo J67 en el estado urbanizado.....	237
Figura 106 - Nodo J187 en el estado natural	239
Figura 107 - Nodo J187 en el estado urbanizado.....	240
Figura 108 - Ubicación general de las calles 'C232' y 'C164'	244
Figura 109 - Detalle calle 'C164'	245
Figura 110 - Detalle calle 'C232'	245
Figura 111 - Detalle de sección de la calle 'C232' - Escala en X:1:1, Escala en Y: 10:1	246
Figura 112 - Curvas de nivel de Laguna 2 y su cota de 'cierre' (en rojo).....	250
Figura 113 - Curvas de nivel de Laguna 2 a partir del nivel máximo	251
Figura 114 - Ubicación y ancho aproximado del vertedero de la Laguna 2	251

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 17 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 115 - Vertedero de la Laguna 2	252
Figura 116 - Ubicación de las calles C236 y C271	257
Figura 117 - Sección para calle C232 y tirante de agua máximo.....	258
Figura 118 - Sección para calle C236 y tirante de agua máximo.....	258
Figura 119 - Sección para calle C271 y tirante de agua máximo.....	258
Figura 120 - Sección para calle C164 y tirante de agua máximo.....	259
Figura 121 - Curvas de nivel de Laguna de retención 8	263
Figura 122 - Hietograma para tren de 5-25 años	269
Figura 123 - Hietograma para tren de 25-5 años	269
Figura 124 - Variación del tirante en la Laguna 1 frente a tren de lluvia (5-25).....	274
Figura 125 - Curva Intensidad vs duración para diferentes proyecciones	278
Figura 126 - Hietograma de lluvia real (31/12/23)	283
Figura 127 - Colapso del paquete estructural en calle V. Sarsfield, 01/01/2024.....	285
Figura 128 - Caudal llevado por “La Cañada” 01/01/2024.....	285

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 18 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Parámetros de aguas residuales.....	33
Tabla 2 - Dimensiones de parcela según zona	38
Tabla 3 – Parámetro CN según tipo y uso de suelo - Fuente: Soil Conservation Service.....	79
Tabla 4 - Características técnicas del modelo IGN	173
Tabla 5 - Parámetro CN según tipo y uso de suelo - Fuente: Soil Conservation Service ...	180
Tabla 6 - Parámetros comunes para subcatchment.....	184
Tabla 7 - Intensidad (i) de lluvia para diferentes tiempos de recurrencia y duración de lluvia	207
Tabla 8 - Lámina (h) de lluvia para diferentes tiempos de recurrencia y duración de lluvia	208
Tabla 9 - Intensidad y lámina de lluvia de 180 minutos y distintos tiempo de recurrencia ..	211
Tabla 10 - Distribución teórica por sextiles para Córdoba	211
Tabla 11 - Hietograma lluvia de diseño TR=5 años.....	212
Tabla 12 - Hietograma lluvia de diseño TR=10 años.....	212
Tabla 13 - Hietograma lluvia de diseño TR=25 años.....	213
Tabla 14 - Hietograma lluvia de diseño TR=100 años.....	213
Tabla 15 – Comportamiento de Laguna 1 frente a lluvia IDF	221

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 19 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 16 - Comportamiento de Laguna 2 frente a lluvia IDF	221
Tabla 17 – Caudal en el nodo J92 en el estado natural	223
Tabla 18 - Descarga de orificio y vertedero de la laguna 3 frente a lluvia IDF	224
Tabla 19 - Comportamiento de la Laguna 4 frente a lluvia IDF	226
Tabla 20 – Caudal en el nodo J111 en estado natural	228
Tabla 21 - Caudal en el nodo J111 en estado urbanizado	229
Tabla 22 - Comportamiento de la Laguna 6 frente a lluvia IDF	229
Tabla 23 - Caudal nodo J224 en el estado natural	231
Tabla 24 - Caudal nodo J224 en el estado urbanizado	232
Tabla 25 - Comportamiento de la Laguna 7 frente a lluvia IDF	232
Tabla 26 - Caudal en el nodo J54 en el estado natural	235
Tabla 27 - Caudal en el nodo J54 en el estado urbanizado.....	235
Tabla 28 - Comportamiento de la Laguna 8 frente a lluvia IDF	235
Tabla 29 - Caudal en el nodo J67 en el estado natural	237
Tabla 30 - Caudal en el nodo J67 en el estado urbanizado.....	238
Tabla 31 - Comportamiento de Laguna 9 frente a lluvia IDF	238
Tabla 32 - Comportamiento de Laguna 10 frente a lluvia IDF	238

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 20 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 33 - Caudal en el nodo J187 en el estado natural	240
Tabla 34 - Caudal en el nodo J187 en el estado urbanizado.....	241
Tabla 35 - Tabla resumen de funcionamiento de Lagunas frente a lluvia IDF	241
Tabla 36 - Tirantes máximos en las calles para 5 años de recurrencia	243
Tabla 37 - Tirantes máximos en las calles para 10 años de recurrencia	247
Tabla 38 - Tirantes máximos en las calles para 100 años de recurrencia	248
Tabla 39 - Comportamiento de la Laguna 1 en el modelo solucionado	254
Tabla 40 - Comportamiento de la Laguna 3 en el modelo solucionado	254
Tabla 41 - Tirantes máximos en las calles en el modelo corregido (5 años de recurrencia)	256
Tabla 42 - Tirantes máximos en calles en el modelo corregido (10 años de recurrencia) ..	260
Tabla 43 - Tirantes máximos en las calles en el modelo corregido (100 años de recurrencia)	261
Tabla 44 - Hietogramas de trenes de lluvia modelados.....	267
Tabla 45 - Comportamiento de las lagunas 1 y 5 frente a tren de lluvias (5-25)	270
Tabla 46 - Comportamiento de la Laguna 3 frente a tren de lluvias (5-25)	270
Tabla 47 - Comportamiento de las lagunas 1 y 5 frente a tren de lluvias (25-5)	271
Tabla 48 - Tirantes máximos en las calles para tren de lluvias (5-25)	272

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 21 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 49 - Tirantes máximos en las calles para tren de lluvias (25-5)	273
Tabla 50 - Rango de lámina de lluvia para 2 años de proyección	276
Tabla 51 - Rango de lámina de lluvia para 25 años de proyección	277
Tabla 52 - Tirantes máximos en las calles para la lluvia real.....	287

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 22 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



INTRODUCCIÓN

El diseño y la planificación del drenaje de una nueva urbanización presenta grandes desafíos, sobre todo en cuanto a la determinación de la lluvia de diseño, a partir de la cual se diseñarán y verificarán las diferentes obras hidráulicas que la integran. Hoy en día, siguiendo la normativa vigente, se hace uso de curvas estadísticas que nacen a través del análisis de series históricas de lluvias ocurridas en el lugar de trabajo, denominadas curvas IDF. No obstante, otras metodologías, que contemplan otros escenarios, como los Trenes de lluvia o bien, que utilizan otras variables, como las Redes Neuronales, pueden dar lugar a situaciones que no son contempladas desde el análisis tradicional.

A su vez, habitualmente, ante un evento con consecuencias desastrosas en una ciudad, como eventos ocurridos en los últimos años en el país, como lo ocurrido en Bahía Blanca a inicios del 2025, se suele responsabilizar a ciertas causas que no tienen relación con las consecuencias del evento ocurrido, como el cambio climático. Sin embargo, ante estos eventos, resulta necesario analizar y estudiar las series históricas de lluvias en el lugar ya que los mismos pueden no ser eventos extraordinarios sino, en cambio, tener una probabilidad de ocurrencia considerable.

En el presente trabajo se comparará el comportamiento del sistema de drenaje pluvial de un barrio de la Ciudad de Córdoba, Córdoba, Argentina, frente a diferentes lluvias de diseño. Estas últimas, contemplarán: el uso de las curvas IDF, con ello, la verificación frente a lo establecido por la normativa vigente; Trenes de lluvia, compuestos por dos lluvias puntuales separadas por un intervalo de tiempo dado; y lluvias extraídas de Redes Neuronales, en donde se contemplará la variabilidad que existe de los valores medios (más probables).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 23 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Para esto, será necesario, en primer lugar, realizar un relevamiento y una caracterización de la zona de estudio. A partir del cual se obtendrá información de las obras hidráulicas existentes en el sitio y la topografía del lugar a través de un levantamiento fotogramétrico con Drone.

Luego, se hará un post-procesamiento de lo obtenido en el campo, en donde se transformarán los videos capturados con el Drone en modelos digitales de elevación. A partir de los cuales, se podrá obtener las curvas de nivel de la urbanización analizada.

Con esta información, se llevará a cabo un modelo hidrológico del lugar definiendo cuencas, calles, lagunas de retención, orificios y vertederos, con el objetivo de que este sea lo más fidedigno a la realidad.

A partir de este punto, se identificarán las diferentes lluvias de diseño a partir de las distintas metodologías antes mencionadas, se modelarán y se analizarán sus resultados particulares.

Finalmente, se complementarán los resultados antes obtenidos con una lluvia real ocurrida en la Ciudad de Córdoba. Pudiendo, así, trasladar y aplicar los conceptos teóricos a un caso real.

De esta manera, se podrán obtener una gran cantidad de conclusiones y recomendaciones en lo que respecta a la determinación de lluvias de diseño y el proyecto y manejo del drenaje urbano.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 24 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo general la comparación de metodologías de diseño hidrológico, confrontando a la normativa vigente con diferentes lluvias de diseño, basado en el comportamiento de drenaje de un barrio real ubicado en la Ciudad de Córdoba. Complementario a esto, se perseguirá obtener conclusiones respecto a la influencia de la planificación, construcción y mantenimiento de las obras hidráulicas en la inundación de una urbanización.

Los objetivos específicos son:

- Realizar una caracterización y un estudio profundo de la zona de estudio, a partir de relevamientos que incluyen la inspección de las obras existentes y un levantamiento fotogramétrico del lugar.
- Aplicar el software iTwin Capture, de procesamiento fotogramétrico, a fines de obtener modelos digitales de elevación del barrio.
- Obtener la topografía de la zona de estudio, debiendo realizar las curvas de nivel a partir de los modelos antes generados.
- A partir de toda la información anterior, realizar un modelo hidrológico de la urbanización, en el software EPA SWMM.
- Determinar la lluvia de diseño según lo exigido en la normativa vigente. Con ella, analizar el comportamiento de la urbanización y verificar las obras hidráulicas y las calles según lo exigido.
- Diseñar trenes de lluvias y analizar el comportamiento del barrio frente a esta nueva metodología de diseño.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 25 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Utilizar lluvias obtenidas a partir de Redes Neuronales, entender la naturaleza y las características principales de estas y analizar el comportamiento del barrio frente a esta nueva metodología de diseño.
- Realizar una comparación integral de las tres metodologías modeladas. Realizar, a partir de esta, propuestas de mejoras en el barrio de estudio considerando todos los escenarios.
- Complementar todos los resultados anteriores con una lluvia correspondiente a un evento real, extraída de una página web de recopilación de datos meteorológicos.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 26 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I. CAPÍTULO PRIMERO: MARCO TEÓRICO

I.1. Marco Teórico: Urbanización

La urbanización es una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. Esta se comprende como el proceso de transición desde una sociedad rural hacia una sociedad más concentrada en ciudades. Estadísticamente, la urbanización refleja la creciente proporción de población que reside en asentamientos definidos como urbanos, debido principalmente a un saldo neto positivo de la migración del campo a la ciudad (Martínez, 2007, apud Mafla Chamorro 2015).

Cuando se urbaniza un terreno se divide en diversas entidades, sea en parcelas, manzanas, calles, polígonos, etc., para luego establecer la infraestructura y las viviendas necesarias. Existen diversos modos de realizar urbanizaciones:

- Urbanizaciones cerradas, se tratan de barrios residenciales, donde su viabilidad y su ordenamiento son proyectados, ejecutados y mantenidos por un ente privado; posee un perímetro definido por rejas o muros y dispone entradas controladas por un servicio de seguridad. Cada urbanización determina su reglamento interno, como normas de tránsito, recolección de residuos, horarios de construcción, etc. Teniendo como objetivo lograr mayor armonía social y edilicia.
- Urbanizaciones públicas, se tratan de barrios donde el estado determina los modos y usos del suelo; en ellos conviven diferentes actores que establecen cierto dinamismo. Pueden coexistir usos privados, de comercio o residenciales, entidades públicas y

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 27 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



espacios verdes; el cuidado y mantenimiento de la infraestructura responde ante el estado.

En cualquier tipo de urbanización tanto privada como pública siempre se debe respetar lo establecido por el código de edificación de cada municipio.

Según la Ordenanza 8060 de la Ciudad de Córdoba exployada más adelante, será considerado urbanización o loteo todo fraccionamiento de tierra con el fin fundamental de ampliar el núcleo urbano ya existente, con ampliación o modificación de la red vial, con la provisión de espacios verdes y/o espacios libres para uso público. También se considerará urbanización o loteo a todo fraccionamiento, aún sin apertura de calles, cuando las parcelas resultantes superen el núcleo de 10 (diez). (Ordenanza 8060, Título I, Capítulo II, Artículo 4).

I.1.1. Impactos hidrológicos de una urbanización

Los impactos hidrológicos de las urbanizaciones se pueden clasificar en:

- Impactos cuantitativos: Asociados con el aumento de caudales y volúmenes de agua, así como el adelanto del tiempo de inicio del escurrimiento debido principalmente a la impermeabilización del suelo.
- Impactos cualitativos: Relacionados con la contaminación de los medios receptores debido a la descarga de agua residual resultado de las actividades del ser humano y de aguas lluvias contaminadas por el contacto con las superficies impermeables generadas por el proceso de urbanización (Mafla Chamorro, 2015).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 28 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.1.1.1. Impactos cuantitativos

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

En las ciudades más pequeñas con pocas calles pavimentadas, terrenos baldíos intercalados con casas generalmente provistas de fondos de tierra o jardines, la lluvia encuentra una gran cantidad de zonas aptas para la infiltración. El agua que escurre como resultado de la lluvia de determinada intensidad sobre un área en estas 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 previamente proveían almacenamiento), a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración) y construir sistemas de alcantarillado pluvial con cordones y cunetas, con lo cual colecta más escurrimiento, que lo dirige a cauces, lagos o humedales, haciendo que se produzca un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos, produciendo importantes daños físicos, químicos y biológicos a los cuerpos receptores. En general la urbanización en términos cuantitativos altera la fracción del agua evapotranspirada, infiltrada y escurrida en la cuenca (Mafla Chamorro, 2015).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 29 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

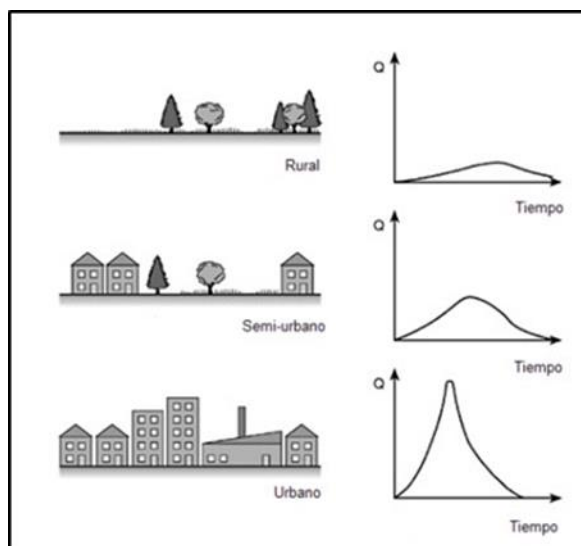


Figura 1 - Hidrograma según densidad de urbanización

Autores como Geiger (1987) a través de algunas situaciones mostraron el gran impacto que puede causar la urbanización en el ciclo del agua; algunos de ellos se resumen mediante las siguientes premisas (Bertoni, 2004):

- 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;

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 30 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- La evapotranspiración se reduce en un 38% y el escurrimiento superficial aumenta en un 88%; los caudales máximos se incrementan de 2 a 5 veces sobre los de la "pre urbanización";
- La frecuencia de eventos de inundaciones puede incrementar desde 1 cada dos años a 3-5 veces a cada año;
- El escurrimiento alcanza el cauce receptor mucho más rápido (hasta un 50 %) y se reduce el caudal base de los cursos debido a una menor infiltración.

Leopold (1968) determinó, en una cuenca de 260 has, que el proceso de urbanización junto a la construcción de redes artificiales de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación natural.

Por su parte 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%.

En general, los análisis de los impactos cuantitativos han mostrado que los fenómenos de urbanización son más significativos cuando ocurren precipitaciones de alta frecuencia, donde el efecto de la infiltración es más importante. Para precipitaciones de baja frecuencia la relación entre el escurrimiento asociado a las condiciones naturales y a la condición con urbanización son relativamente menores, debido a que la infiltración tiende a ser la misma,

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 31 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



independientemente de la precipitación, pues ésta es mayor que la capacidad de infiltración (Bertoni, 2004).

I.1.1.2. Impactos cualitativos

La urbanización incorpora a la cuenca hidrográfica varios elementos antrópicos que generan impacto sobre el ambiente. Tucci (1995) cita algunos de los más relevantes:

- *Aumento de cargas contaminantes por descarga de aguas residuales*

Uno de los principales efectos cualitativos de la urbanización es el deterioro de cuerpos receptores debido a la descarga de aguas residuales domésticas procedentes de viviendas, edificios comerciales e institucionales y aguas residuales industriales las cuales vierten sus desechos al sistema de drenaje de las ciudades afectando la calidad de los cuerpos receptores, que suelen conformar el “macro drenaje” de dichas áreas. Las características típicas de un agua residual doméstica se presentan en la Tabla 1:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 32 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 1 - Parámetros de aguas residuales

Parámetro	Valor (mg/l)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	220
Carbono Orgánico Total (COT)	160
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	500
Sólidos Totales	720
Sólidos Disueltos	500
Sólidos Suspendidos	220
Sólidos Sedimentables	10
Nitrógeno Total	40
Nitrógeno Orgánico	15
Nitrógeno Amoniacal	25
Nitritos	0
Nitratos	0
Fósforo total	8
Fósforo Orgánico	3
Fósforo Inorgánico	5
Grasas	100

- *Decaimiento de la calidad del escurrimiento pluvial*

La calidad del agua de origen pluvial no es mejor que la de un efluente de agua residual con tratamiento secundario. La cantidad de material suspendido en el drenaje pluvial es superior a la encontrada en el efluente residual. Ese volumen es más significativo en el inicio de las crecidas. (Tucci, 2007).

La calidad del agua de la red pluvial depende de varios factores, entre los que se resaltan: limpieza urbana (frecuencia, tipo, etc.); intensidad de la precipitación; distribución temporal y espacial de la precipitación; período del año y tipo de uso del área urbana.

Los principales indicadores de la calidad del agua son los parámetros que caracterizan la contaminación orgánica y la cantidad de metales.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 33 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 2 - Calidad del agua de lluvia durante tormenta - Fuente: (Tucci, 2007)

- *Aumento de sedimentos*

Durante el desarrollo urbano se verifica un significativo aumento de los sedimentos producidos por la cuenca hidrográfica. Ello es debido, entre otras causas, a la limpieza de terrenos para nuevas edificaciones, la construcción de calles, avenidas y a las construcciones de edificios y viviendas. Las principales consecuencias ambientales de la producción de sedimentos son: colmatación de los sistemas de drenaje, incluidos sus cuerpos receptores; y el transporte de contaminantes agregados a los sedimentos, que contaminan las aguas (Tucci, Laina Porto, & De Barros, 1995).

- *Aumento de residuos sólidos*

La producción de residuos sólidos genera uno de los mayores inconvenientes en el drenaje pluvial urbano. La basura obstruye el drenaje y crea peores condiciones ambientales.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 34 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En San José, California (EEUU), los residuos sólidos que llegan a los conductos de drenaje fueron estimados en 1,8 kg/hab./año. En los países de América Latina esta carga debe ser mayor, dado que muchas veces los sistemas de drenaje son utilizados como depósitos de residuos. En los últimos años se ha verificado un sensible incremento de la producción de residuos sólidos a partir de la existencia de nuevos embalajes, tanto de cartón como de plástico (Bertoni, 2004).

- *Contaminación de acuíferos*

Las principales condiciones de contaminación de los acuíferos urbanos se asocian a: vertederos sanitarios que contaminan las aguas subterráneas debido al proceso natural de precipitación e infiltración; fosas sépticas (o “pozos negros”) empleadas en ciudades de América Latina como destino final del efluente residual domiciliario. El conjunto de fosas sépticas tiende a contaminar la parte superior del acuífero. Esa contaminación puede comprometer el abastecimiento de agua cuando existe comunicación entre diferentes capas de los acuíferos a través de la percolación y la perforación inadecuada de los pozos artesianos; la red de conductos pluviales, a través de pérdidas de volumen en su transporte y/o obstrucciones que presionan el agua contaminada hacia fuera del sistema de conductos (Bertoni, 2004).

I.1.1.3. Otro enfoque sobre el impacto a la calidad del agua

Según Vélez (2007), el hombre puede influir en la calidad del agua y afectar tres aspectos fundamentales: físicos, químicos y biológicos. Que, conjuntamente con las consecuencias anteriormente presentadas, puede alterar el comportamiento de las fases del

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 35 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ciclo hidrológico en un área determinada. Una breve enumeración de los cambios producidos por cualquiera de estos aspectos es la siguiente:

- **Físicos:** Cuando se dan cambios en la cantidad de agua disponible para la transpiración, se tendrán también cambios en la temperatura del suelo. Una de las causas de estos cambios es la tala de árboles y la deforestación que sufren algunas zonas del planeta. Tanto la tala de árboles como la quema de bosques han causado un incremento de 0,7 grados centígrados en la temperatura mundial, lo que genera grandes cambios en las características del ambiente y sus parámetros (UNESCO, 1995).
- **Químicos:** Hace referencia a los cambios en la composición del agua, debido a las actividades humanas. Su influencia se disparó en conjunto con el desarrollo industrial, y una de las principales consecuencias se conoce como la lluvia ácida: Concepto originado por Angus Smith en el año 1850, y que según Sanchez, Ríos, Garcia (2010), se define como la precipitación en forma de lluvia, nieve, aguanieve, granizo o niebla con altas concentraciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) y ácido carbónico (H_2CO_3).
- **Biológicos:** Ocurre cuando los humanos introducen organismos patógenos/orgánicos en fuentes de agua afectando, entre otras cosas, su calidad y seguridad para consumo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más del 80% de las aguas residuales a nivel mundial se vierten al medio ambiente sin tratamiento (OMS, 2022).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 36 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.2. Ordenanza N° 8060 Ciudad de Córdoba

Los reglamentos urbanos de la ciudad de Córdoba se dividen en dos grandes grupos: Reglamentos Básicos y Reglamentos Específicos.

Dentro de los básicos se encuentra el reglamento de zonificación, el de urbanización y el de edificación. Dentro de los específicos se encuentra el reglamento de actividades específicas y el de áreas específicas.

Los reglamentos básicos son los que serán analizados en el presente trabajo debido a la relación de los mismos con los impactos en la hidrología. Particularmente el de urbanización, regido por la Ordenanza 8060.

El principal objetivo de este reglamento es regular el parcelamiento en la ciudad de Córdoba, es decir, el paso entre lo no urbanizado a lo urbanizado. La principal Ordenanza es la 8060. En esta, se plantean las siguientes normativas:

I.2.1. Zonificación

El fraccionamiento de parcelas en cada una de las zonas establecidas en la Ordenanza deberá respetar las medidas mínimas que se detallan en el Tabla 2:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 37 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 2 - Dimensiones de parcela según zona

Zona	Parcela Mínima-Frente (m)	Superficie (m2)
1	12	250
2	10	250
3	12	360 p/ urbanizaciones
	10	250 p/ planes de vivienda
4	15	375
5	15	600 p/ urbanizaciones
	12	300 p/ planes de vivienda
6	22	800
7	25	1.250 p/ urbaniz. indust.
	10	250 p/ planes de vivienda
	12	360 p/urbaniz. Loteo sin Plan de Vivienda(Ord. 10996)
8	25	2.500 p/ urbaniz. indust.
	50	5.000 p/ fracción rurales
9	50	5.000
10	50	10.000
11	50	30.000

(Ord. 9089-Art. 3º) [ver 9712]

Las urbanizaciones de carácter residencial serán posibles siempre que se den las siguientes condiciones:

- Que se haya producido una ocupación real (parcelas edificadas) de un 30% (treinta por ciento) como mínimo de las parcelas pertenecientes a las Áreas Urbanizables más próximas al sitio que se quiere fraccionar.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 38 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



A dichos fines se considerará como área para establecer el porcentaje de ocupación la definida por la urbanización más próxima debidamente aprobada.

- b. Que se cumplimente con todos los requisitos para aprobación de fraccionamientos establecidos en el Reglamento y demás normas vigentes al respecto en el orden provincial.

I.2.2. Red vial

I.2.2.1. Jerarquías viales (Art. 13°)

Las vías se clasifican desde autopistas (accesos controlados, separador central) hasta callejones peatonales:

- Arteriales principales y secundarias.
- Intersectoriales (principales y secundarias).
- Colectoras, locales, sin salida, peatonales con acceso restringido y exclusivas .

I.2.2.2. Perfiles tipo (Art. 14°)

Cada jerarquía tiene un perfil transversal con anchos específicos de calzada, veredas, estacionamiento y fajas verdes, garantizando funcionalidad, drenaje y espacio público.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 39 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.2.3. Retiros mínimos

Se establecen retiros mínimos desde la línea municipal según el ancho de parcela:

- 3 m para frentes de 10–12 m (planes de vivienda).
- 4 m para frentes de 12 m en urbanizaciones sin plan.
- 5 m para frentes de 15 m y parcelas sobre avenidas principales.
- 6 m en vías con perfiles especiales.
- 10 m para uso industrial en circunvalaciones.
- Para calles peatonales regirán los retiros exigidos para cada zona.
- Los loteos existentes mantendrán la línea de edificación anterior.

En esquinas, el retiro puede distribuirse hasta el 25% del lote, con zona verde de al menos 1,50 m de ancho .

I.2.4. Terrenos afectados por escorrentía superficial (Art. 32 - 35)

En terrenos afectados por ríos, arroyos, embalses, barrancas o cañadones, se debe trazar una calle lateral en ambas márgenes, dejar una franja verde de al menos 15 m entre el curso de agua y la calle (con vereda), y establecer un retiro de 6 m desde la línea municipal para jardines privados.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 40 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Toda urbanización en estos terrenos requiere un plano certificado por la Dirección Provincial de Hidráulica que determine la Línea de Ribera.

I.2.5. Canales de riego (Art. 36 - 38)

Para terrenos con canales de riego (maestros o secundarios), se deben dejar calles de al menos 12 m a ambos lados con veredas y zonas verdes. También se exige un retiro de edificación (6 m para canales maestros, 4 m para secundarios) para jardines privados.

I.2.6. Manzanas

Las manzanas serán preferentemente rectangulares, lado menor ≥ 42 m, lado mayor ≤ 250 m (si excede, se debe habilitar pasaje peatonal).

Art. 51°. NIVELES: El relieve topográfico del conjunto y de cada una de las manzanas deberá tener pendientes suficientes que permitan la normal evacuación de las aguas pluviales hacia las calles colindantes.

Las parcelas regulares con mínimos de cuatro lados y restricciones a formas “martillo” salvo justificación. Las esquinas aumentan su frente en +20% y las ochavas son dominio público.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 41 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.2.7. Mensura y amojonamiento

Se exige para todo tipo de urbanización la presentación del plano de nivelación de la urbanización con indicación de los escurrimientos de aguas naturales al curso del Río del Suquía, arroyo la Cañada y/o cuencas naturales.

Deberá constar también en dicho plano el escurrimiento de las zonas colindantes compatibilizando el aporte de caudal a la urbanización y de ésta -si lo hubiere- a los linderos.

I.2.8. Afectaciones al uso común

En toda urbanización, será obligación de los propietarios transferir al Dominio Público Municipal una superficie de terreno no menor al 10% (diez por ciento) de superficie total de las parcelas el que se destinará a Espacios Verdes, más un 5% (cinco por ciento) que se afectará a actividades relacionadas con Equipamiento Comunitario y usos institucionales

Estas áreas pueden incluir fajas verdes marginales de avenidas, calles de resguardo y riberas, computando porcentajes de deducción según el tipo de vía . Para desarrollos menores 15.000 m², estos espacios pueden mantenerse bajo responsabilidad de frentistas, distribuidos por grupos de lotes .

I.2.9. Infraestructura

Toda urbanización debe contar con:

- Agua potable, energía eléctrica domiciliaria, alumbrado público, gas y teléfono público (1 cada 8 manzanas).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 42 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Pavimento (rígido o flexible), cordón cuneta y desagües pluviales y cloacales.
- Arbolado de calles y parquización de espacios verdes.
- Para zonas industriales, se añade red trifásica, desagües industriales y planta de tratamiento.

El loteador asume todos los costos y plazos de ejecución.

En el artículo Art. 97° se demarca que la evacuación de las aguas pluviales deberá producirse por las calles y/o por desagües pluviales entubados sin afectar predios vecinos. Será obligación del loteador realizar el estudio, proyecto y construcción del sistema que permita la correcta evacuación superficial y/o subterránea de las aguas pluviales.

A los fines del Artículo anterior se debe establecer el área de escurrimiento superficial que aporte a la urbanización, indicando el sentido de las pendientes de las calles, altimetría, indicación de badenes, tipo de uso y grado de ocupación del suelo y todo otro elemento de interés. De igual modo se debe delimitar y estudiar el área de la cuenca específica de la urbanización y estudio de las zonas que agua abajo sean afectadas por la misma.

Las tareas correspondientes se ejecutarán de acuerdo a las normas vigentes en la Dirección de Obras Viales, -Sub-dirección de Desagües- de la Municipalidad.

Por otra parte, en el artículo 99 se detalla que es obligación del propietario del terreno que contenga cañadones, arroyos, cañadas, hondonadas, canales naturales, etc., adoptar los recaudos necesarios a fin de mantenerlos y conservarlos en buenas condiciones, no pudiendo efectuarse ninguna construcción, que obstruya total o parcialmente el libre escurrimiento de las aguas, sin que previamente disponga de un sistema adecuado de desagües que complete

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 43 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



los posibles aumentos de caudal, y con la debida autorización de la Dirección de Obras Viales, Subdirección de Desagües.

I.2.10. Disposiciones orgánicas y procedimentales

El cumplimiento de esta ordenanza está a cargo principalmente de:

- Dirección de Planeamiento Urbano y Dirección de Catastro de la Municipalidad de Córdoba.
- Dirección de Control de Obras Privadas y Uso del Suelo, que centraliza todos los trámites de fraccionamiento de suelo y deriva actuaciones a las reparticiones correspondientes, además de mantener actualizada la información de cada expediente.
- Además, organismos vinculados a infraestructura y equipamiento deben controlar y aprobar los proyectos específicos de obras.

La Dirección de Planeamiento Urbano evalúa permanentemente la aplicación de la norma y sugiere modificaciones.

I.2.10.1. Procedimiento de aprobación

- Sección I - Trámite de aprobación de urbanizaciones

El interesado debe solicitar un Certificado de factibilidad ante la Dirección de Planeamiento Urbano. Allí comienza el expediente y se acredita la titularidad o autorización

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 44 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



del propietario. Se deben presentar datos completos del inmueble: dimensiones, ubicación, estado de deudas, etc.

- Sección II - Aprobación del Proyecto Definitivo

Una vez aprobada la prefactibilidad:

1. Se presenta el Proyecto de Urbanización definitivo.
2. Se deben prever todas las obras de infraestructura (agua, energía, cloacas, pavimento, arbolado, etc.).
3. La aprobación definitiva implica el pago de tasas municipales y la transferencia de superficies públicas.
4. El fraccionador debe garantizar la ejecución de las obras mediante seguros, hipotecas o depósitos financieros equivalentes al costo de obras, más un 20% para imprevistos.

- Sección III - Final de aprobación del fraccionamiento

Se exige la finalización de infraestructura básica (agua, electricidad, apertura de calles) para aprobar el fraccionamiento. Por último, el fraccionador debe solicitar el Decreto de Aprobación que permite la visación definitiva de planos ante Catastro Provincial e inscripción dominial.

I.2.11. Infracciones y sus penalidades

1. Venta de parcelas sin aprobación

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 45 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Quienes vendan lotes de fraccionamientos no aprobados serán multados. Las multas pueden llegar al máximo previsto por la Ley Orgánica Municipal por cada parcela irregularmente vendida.

2. Incumplimiento en obras de infraestructura

Los responsables que no ejecuten las obras conforme al proyecto aprobado serán sancionados:

- Multas económicas determinadas anualmente.
- Paralización de obras en caso de gravedad.

3. Publicidad engañosa

Publicitar un fraccionamiento en forma oscura, insuficiente o inexacta genera:

- Multas establecidas por el Departamento Ejecutivo.
- Obligación de rectificar inmediatamente la información.

4. Responsables de infracciones

Se consideran responsables:

- Propietarios.
- Representantes legales.
- Urbanizadores.
- Empresas promotoras.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 46 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Profesionales intervinientes (agrimensores, ingenieros, arquitectos).
- Agentes publicitarios.

Cada uno responde en el ámbito de su intervención.

5. Profesionales sancionados

Los profesionales (arquitectos, ingenieros, agrimensores) que incumplan serán reportados a su Consejo o entidad profesional. La Municipalidad puede excluirlos de futuras intervenciones en trámites de fraccionamiento.

6. Reincidencias

Ante reincidencia en infracciones, se aplicarán directamente las sanciones previstas en el Código de Faltas Municipal.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 47 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3. Marco Teórico: Hidrología

I.3.1. Definición de hidrología

La palabra hidrología proviene de las raíces griegas “hidros” agua y “logos” tratado o sea que la hidrología es la ciencia del agua. Según Ven Te Chow (1994), la hidrología estudia el agua existente en la tierra, su distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente.

La hidrología es fundamental en el diseño y operación de casi todos los proyectos civiles: construcción de carreteras, suministro de agua potable, diseño de embalses y proyectos hidroeléctricos, adecuación y drenaje de tierras, prevención y control de inundaciones, diseño de canales, puentes y alcantarillados de aguas lluvias (Vélez, 2000).

I.3.2. El ciclo hidrológico

Es el ciclo fundamental para entender los procesos que se suceden en la tierra. Requiere conocimientos multidisciplinarios. No existe un punto de partida en el ciclo del agua en la tierra pero lo que sí está claro es que se basa en todos los estados del agua, gas, líquido y sólido. Todos los estados se presentan en la naturaleza y todas ellas son importantes de cara a los recursos humanos. De aquí, lo más importante es tener en cuenta la interrelación del hombre con la naturaleza y su influencia en el ciclo del agua.

Este ciclo es un proceso continuo en el que el agua de los océanos es transportada a la atmósfera, después a la tierra, para regresar luego al océano. Hay muchos subciclos. La evaporación del agua tierra adentro, su subsecuente precipitación sobre la tierra y el retorno

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 48 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



de esta agua al océano son un ejemplo. La energía necesaria para este proceso es suministrada por el sol. El ciclo hidrológico puede representarse esquemáticamente según la Figura 3.

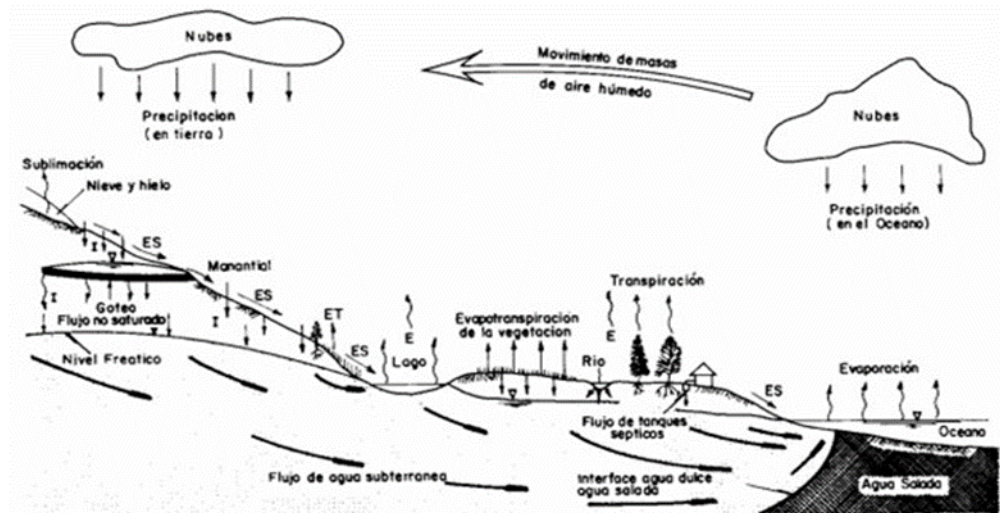


Figura 3 - Ciclo natural del agua - Fuente: Hidráulica de aguas subterráneas (Vélez, 2000)

Entrando más en detalle, el agua que se encuentra en la atmósfera en la forma de vapor se condensa en nubes, las cuales originan las precipitaciones en forma de nieve, lluvia o granizo. Una parte de dichas precipitaciones se evapora antes de llegar a la superficie y la otra cae al suelo por la acción de la gravedad. De esta última, una parte es interceptada por la vegetación o por otras superficies y luego se evapora igualmente, la otra entra en contacto directo con el suelo o con las extensiones de agua libre (lagos y mares principalmente). Aquella que cae al suelo puede alimentar la red hidrográfica directamente (escorrentía superficial), almacenarse en algunas partes de la superficie (almacenamiento superficial) o

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 49 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



penetrar en el suelo y subsuelo (infiltración) para de esta manera alimentar las reservas de las capas acuíferas.

La energía calorífica proveniente del sol evapora parte del agua que está en las superficies libres (lagos, mares, etc.), en la red hidrográfica y en la superficie del suelo. De igual manera una parte del agua que está en la zona no-saturada del suelo se evapora directamente o se absorbe por las plantas, las cuales a su vez la devuelven a la atmósfera en forma de vapor, mediante el mecanismo de transpiración. Estos fenómenos son generalmente designados con el término de evapotranspiración. En cuanto al agua que se ha infiltrado en las zonas más profundas de la corteza terrestre y que alimenta las capas acuíferas, puede pasar a alimentar el flujo de los ríos, o retornar directamente a los mares a causa de la percolación, para reiniciar de nuevo el ciclo.

Como se mencionó anteriormente, el ciclo del agua se comporta como un sistema, compuesto por una serie de subciclos. Según Dodge (1973), un sistema es cualquier estructura, esquema, mecanismo o procedimiento real o abstracto que interrelaciona, en un tiempo de referencia dado, una entrada, causa o estímulo de materia, energía o información, y una salida, efecto o respuesta de información, energía o materia.

Entonces, si analizamos un ciclo más reducido de la totalidad del sistema (como por ejemplo una cuenca) también resulta correcto aplicar la definición de sistema, de manera que consideramos a la cuenca como un subsistema que forma parte de un sistema aún más grande y complejo. Entonces, dada una entrada (precipitaciones), el sistema produce una salida (caudal en un punto dado). (Vélez,2000).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 50 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3. Cuencas

Según Puyol, Villa (2006) La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología.

En función de la salida que tenga la misma, existen dos tipos de cuencas:

- Exorreicas: La cuenca descarga directamente sobre una corriente de mar, de manera que no queda encerrada dentro de la topografía circundante.
- Endorreica: La cuenca no descarga sobre el mar, sino sobre otra masa de agua. Esto genera un subsistema de agua estancada como lagos o lagunas

Por otro lado, una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

I.3.3.1. Geomorfología de la cuenca

La caracterización de la geomorfología de la cuenca se hace en función de su estructura geológica, del relieve de la superficie terrestre, vegetación, tipo de suelo, clima, repercusiones humanas en la cuenca. A continuación, se describen las siguientes características.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 51 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.1. Área de la cuenca

El área drenada de una cuenca es la superficie medida (generalmente en km²), delimitada por la proyección horizontal de la divisoria de aguas, y que tiene como punto de salida una estación de aforo o sitio de interés. (Ganancias, 2010).

En general, en Argentina, para la determinación del área de aporte de una cuenca cualquiera, se emplean datos de terreno provenientes, por ejemplo, de los servicios del Instituto Geográfico Militar (IGM) o de relevamientos particulares en el caso de cuencas pequeñas o de estudios que impliquen mayores detalles. En la actualidad una alternativa rápida y eficiente a la indicada en el párrafo precedente, consiste en utilizar la información topográfica proveniente de datos radar del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration, Estados Unidos), los cuales ofrecen una malla aproximada de 90 m por 90 m, considerada adecuada, en muchos casos, para las escalas de trabajo.

A partir de los datos del SRTM, es posible obtener curvas de nivel para diferentes equidistancias, para lo cual pueden emplearse diversos programas de manejo de imágenes y generación de modelos numéricos de terreno. Entre ellos se destaca el programa de procesamiento de imágenes QGIS. Desde este programa pueden exportarse las curvas de nivel generadas a programas como el AutoCAD, dónde pueden procesarse para la obtención de las diferentes características necesarias para el estudio de regionalización, entre ellas el área de aporte.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 52 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.2. Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal L_{CP} es, probablemente, una de las características descriptivas principales dependiendo del tipo de cuenca que se está estudiando. Para su determinación, al igual que en el caso anterior, es posible utilizar el programa AutoCAD con el cual es posible definir cada uno de los cauces principales de las cuencas y medir sus longitudes incluyendo todas las curvas (meandros) que permite la escala de trabajo. (Ganancias, 2010).

I.3.3.1.3. Pendiente media del cauce

La pendiente media del cauce principal se calcula a partir de dividir el desnivel [km] de la cuenca entre la longitud del cauce principal L_{CP} [km]. El desnivel de la cuenca se obtiene a partir de restar a la cota más elevada de la cuenca la cota correspondiente al punto de salida de la misma, es decir donde se encuentra la estación o el sitio de interés. La ecuación expresa la manera en que se calcula este parámetro (Ganancias, 2010). De aquí:

$$Pendiente_{CP} = \frac{H_s - H_i}{L_{CP}}$$

Donde:

$Pendiente_{CP}$ = Pendiente del cauce principal [km/km]

H_s = Cota del punto superior de la cuenca, donde inicia el cauce principal [km].

H_i = Cota del punto inferior de la cuenca, donde se tiene la salida [km].

L_{CP} = Longitud del cauce principal [km].

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 53 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.4. Pendiente media de la cuenca

Para la determinación de la pendiente media de la cuenca, el método de Alvord es uno de los procedimientos más empleados para la determinación de la pendiente media de una superficie. En el mismo, el criterio es analizar la pendiente que existe entre las curvas de nivel, para lo cual se emplean una serie de ecuaciones (Tucci,1995).

I.3.3.1.5. Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca L_p es la longitud de la línea divisoria de aguas que define a la cuenca. El mismo se obtiene a partir de un proceso gráfico para el cual ha sido empleado el programa AutoCAD (Ganancias,2010).

I.3.3.1.6. Coeficiente de desarrollo de la línea divisoria de aguas

Este coeficiente relaciona los valores de área de la cuenca y de la longitud de la línea divisoria de aguas. El mismo se obtiene a partir de la ecuación siguiente (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, Apud Ganancias, 2010).

$$m_p = 0,282 \frac{L_p}{\sqrt{A}}$$

Donde:

L_p = Longitud de la línea divisoria de aguas o perímetro de cuenca [km]

A = Área drenada de la cuenca [km²]

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 54 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.7. Parámetro de forma

Esta característica es un buen indicador de la respuesta de la cuenca al escurrimiento a partir de la forma de la cuenca. Se obtiene con el empleo de la ecuación siguiente:

$$P_f = \frac{Lp}{A}$$

La forma de la cuenca influencia en gran manera el comportamiento del hidrograma de escurrimiento, tal como se muestra en la Figura 4. Una cuenca de tipo radial o redondeada, concentra el escurrimiento anticipando y aumentando el valor del caudal máximo con relación al correspondiente a una cuenca alargada. Esta última posee escurrimiento predominante en el canal principal y genera un mayor tiempo de tránsito hasta la llegada de la crecida a la sección principal, amortiguando, de esta manera, los caudales (Ganancias, 2010).

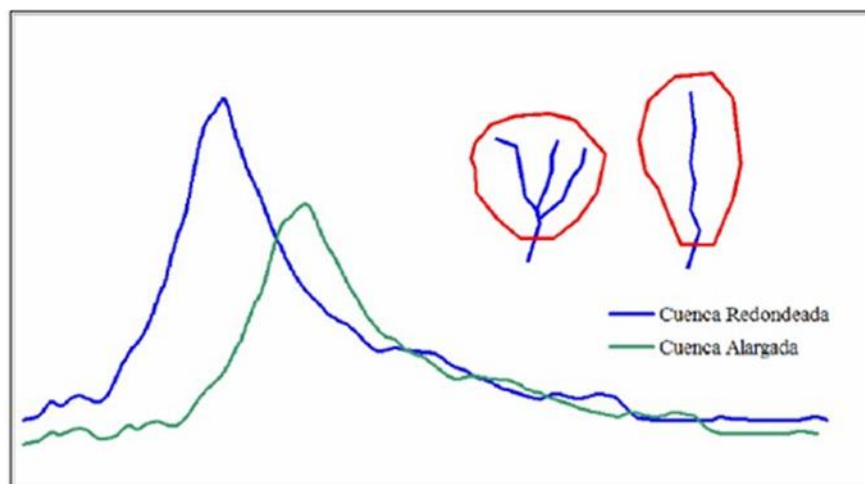


Figura 4 - Variaciones en el hidrograma según forma de la cuenca - Fuente: (Ganancias, 2010).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 55 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.8. Longitud de la cuenca

Si la cuenca es regular se puede considerar encerrada en un rectángulo, siendo la longitud de la cuenca: L_c [km] el lado mayor de éste. Por el contrario, si es irregular se tendrán que trazar círculos dentro de la cuenca, y la L_c [km] se obtiene de la línea que se forma al unir los puntos centrales de cada circunferencia. Puede observarse el procedimiento en la Figura 5.

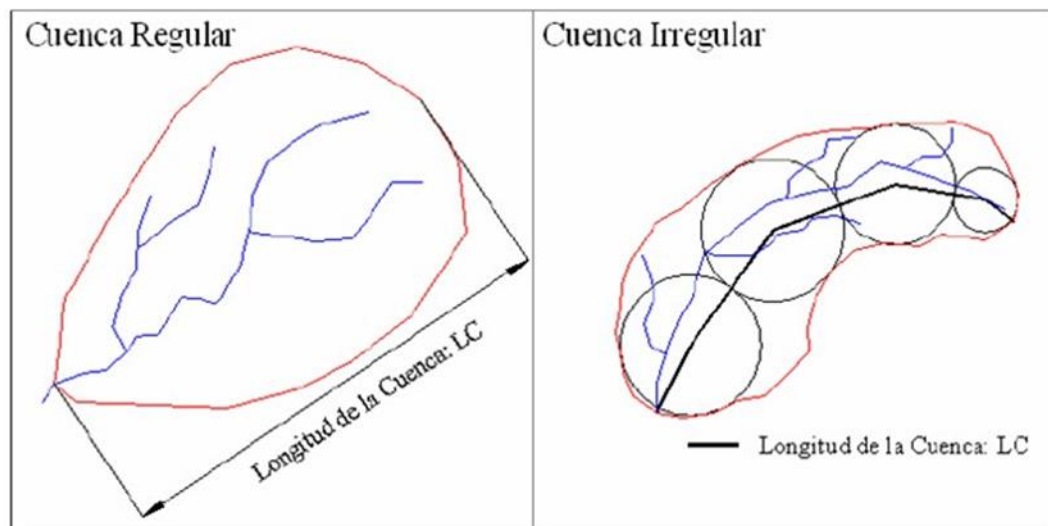


Figura 5 - Longitud de la cuenca - Fuente: (Ganancias, 2010).

I.3.3.1.9. Ancho máximo de cuenca

El ancho máximo: B_{max} , es la longitud medida en km de la perpendicular más grande a la línea de longitud L_c [km].

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 56 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.3.1.10. Ancho medio de cuenca

El ancho medio de la cuenca se define como el cociente del área drenada y la longitud de la cuenca. Se calcula con la ecuación siguiente:

$$B_m = \frac{A}{L_c}$$

I.3.3.1.11. Coeficiente de sinuosidad

Este coeficiente mide el grado de curvatura de la corriente principal, y se estima al dividir la longitud del cauce principal (L_{cp} , en km) entre la longitud de la línea recta L_{is} , también en km, que une al punto de inicio con la salida de la cuenca. Así, si la corriente es prácticamente una recta $K_S = 1$.

$$K_S = \frac{L_{CP}}{L_{is}}$$

I.3.3.1.12. Coeficiente de asimetría de la cuenca

Este coeficiente adimensional define qué tan simétricas son las áreas de aporte de la cuenca, a la izquierda ($A[izq]$) o derecha ($A[der]$) de la corriente principal. La expresión que permite obtener este coeficiente está dada por la ecuación.

$$C_{AC} = \frac{A[izq] - A[der]}{\frac{A[izq] + A[der]}{2}}$$

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 57 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

El valor del coeficiente de asimetría de la cuenca varían entre -2 y 2: $-2 < C_{AC} < 2$

I.3.4. Precipitaciones

I.3.4.1. Concepto

Según Sánchez, J. (2017), la precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo.

Por otra parte, Aparicio, M (1997), define que la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Ahora bien, la formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son:

- Elevación orográfica: Mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa (a).
- Elevación convectiva: Donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica (b).
- Elevación frontal: Donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal (c).

Todos estos tipos de elevaciones pueden observarse en la Figura 6:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 58 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

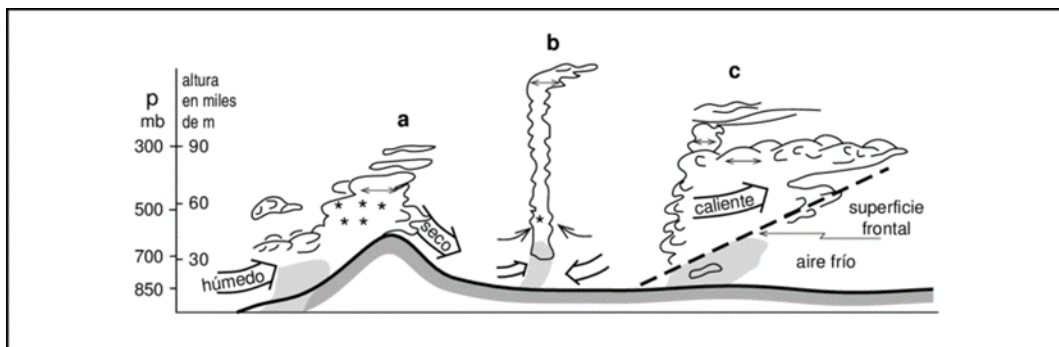


Figura 6 - Tipos de Lluvias - Fuente: Vélez (2000)

I.3.4.2. Determinación de lluvia media

Las lluvias presentan una gran variación en el espacio y en el tiempo, por tanto, resulta importante determinar un valor de precipitación media para el análisis dentro de una cuenca.

Para determinar la precipitación media en una cuenca se elige un periodo de retorno, se determina la lluvia en cada estación para el periodo de retorno elegido y luego se calcula la lluvia media. Esto se puede realizar aplicando distintos procedimientos, los cuales son:

I.3.4.2.1. Media aritmética

Es el más simple para determinar la lluvia promedio sobre un área. Se promedian las profundidades de flujo que se registran en un número dado de pluviómetros. Resulta importante notar que el método es satisfactorio si los pluviómetros se distribuyen uniformemente sobre el área y sus mediciones individuales no varían de manera considerable de la media. La fórmula utilizada es la siguiente:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 59 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$hp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n hpi$$

Dónde:

hp : Altura de precipitación media [mm].

hpi : Altura de precipitación registrada en la estación [mm].

n : Número de estaciones en estudio.

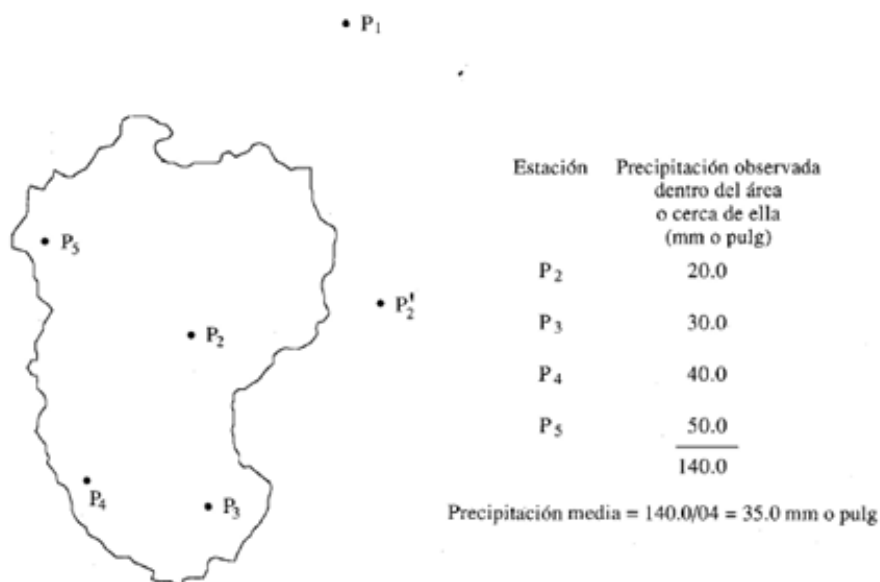


Figura 7 - Media aritmética de precipitaciones - Fuente: (Andres, 2020)

I.3.4.2.2. Método de Thiessen

Este método, establece que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano; luego la profundidad registrada en un pluviómetro

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 60 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



dado se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica en cualquier dirección.

Este se utiliza cuando la topografía no afecte la distribución de las lluvias.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se unen las estaciones mediante líneas rectas, esto permite generar la triangulación entre las mismas
2. Se trazan las rectas bisectrices a los lados de los triángulos. Las líneas que corresponden a cada triángulo convergen a un solo punto.
3. Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso, los cuales forman los polígonos de Thiessen, y puede medirse su área mediante alguna herramienta gráfica como AutoCAD.
4. Se calcula la lluvia media de la siguiente manera:

$$hp = \frac{1}{At} \sum_{i=1}^n Ai * hpi$$

Donde:

hp : Altura de precipitación media [mm].

hpi : Altura de precipitación registrada en la estación i [mm].

Ai : Área de influencia de la estación i [m²].

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 61 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



AT: Área total de la cuenca [m²].

n: Número de estaciones en estudio.

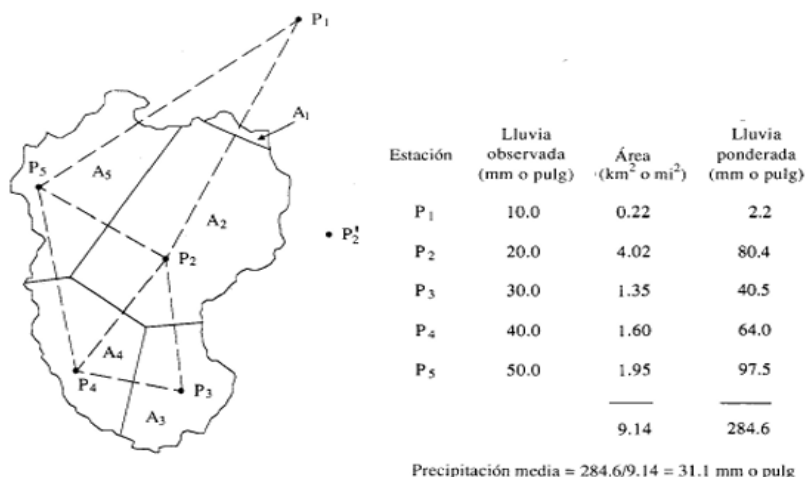


Figura 8 - Método de Thiessen - Fuente:(Andres, 2020)

I.3.4.2.3. Método de las isoyetas

Este método supera alguna de estas dificultades mediante la construcción de isoyetas, utilizando profundidades que se observan en los pluviómetros e interpolando entre pluviómetros adyacentes. Una vez que se construye el mapa de isoyetas, se mide el área entre cada par de isoyetas en la cuenca y se multiplica por el promedio de las profundidades de lluvia de las dos isoyetas adyacentes para calcular la precipitación promedio sobre el área. Se trazan líneas que unen puntos que tienen la misma altura de precipitación.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 62 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Ciertamente, el método de trazado de las isoyetas es muy similar al trazado de las curvas de nivel topográficas:

1. Se traza el plano de la cuenca y las estaciones aledañas a ella
2. Se realiza una triangulación de las estaciones.
3. Se realiza interpolación lineal entre las estaciones para encontrar los puntos de igual precipitación.
4. Se unen los puntos de igual precipitación.
5. La precipitación media se calcula de la siguiente manera:

$$hp = \frac{1}{At} \sum_{i=1}^n Ai * hpi$$

Donde:

hp: Altura de precipitación media [mm].

hpi: Altura de precipitación registrada en la estación *i* [mm].

Ai: Área de influencia de la estación *i* [m²].

AT: Área total de la cuenca [m²].

n: Número de estaciones en estudio.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 63 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

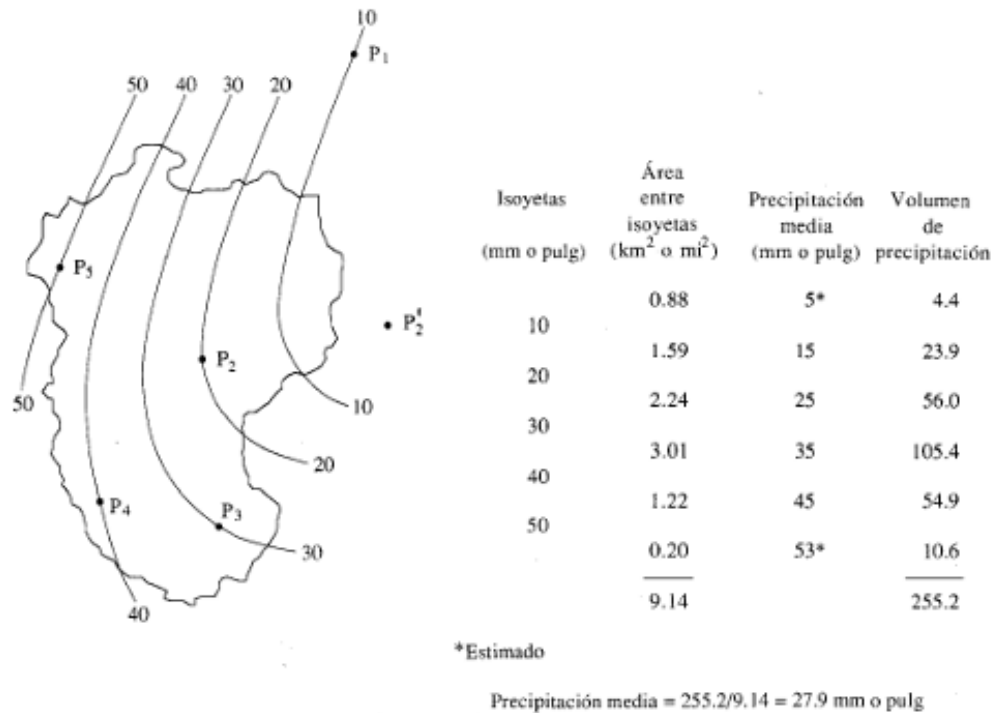


Figura 9 - Método de las isoyetas - Fuente: Andrés, 2020

I.3.4.3. Medición de precipitaciones

La lluvia se mide utilizando dos tipos de medidores: medidores sin registro y medidores con registro. Un medidor con registro es un aparato que registra automáticamente la profundidad de lluvia en intervalos tan pequeños como un minuto de duración. Mientras que los medidores sin registro se miden manualmente en intervalos de tiempo mayores. Los más

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 64 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



usuales son el pluviómetro y el pluviógrafo y ambos permiten conocer los milímetros precipitados, entendiendo que un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de ellos:

I.3.4.3.1. Pluviómetro

El instrumento cuenta con un recipiente cilíndrico o un embudo que recoge el agua precipitada. Luego, el agua recogida se almacena en un tubo graduado o recipiente que permite medir directamente la cantidad de lluvia acumulada y, finalmente, la lectura se realiza manualmente, normalmente cada 24 horas, y se registra la cantidad en milímetros.

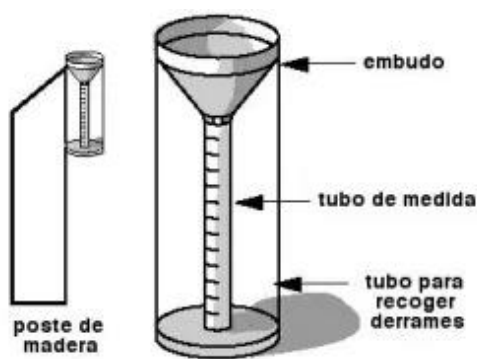


Figura 10 - Pluviómetro

I.3.4.3.2. Pluviógrafo

El pluviógrafo sirve para exactamente el mismo fin que el pluviómetro, pero corresponde a un instrumento más avanzado que no solo mide la cantidad de precipitación, sino que además registra de manera continua la lluvia a lo largo del tiempo, es decir, permite conocer la intensidad y duración de la lluvia. La principal ventaja recae en que el dispositivo permite conocer la intensidad de la lluvia ya que podemos ver como la precipitación varía en

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 65 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



el tiempo, no obstante, tiene más chances de fallar al ser un artefacto compuesto por más partes. Siguiendo con esta última idea, resulta siempre cauteloso el contar con otra medida de comparación que puede ser, por ejemplo, un pluviómetro.

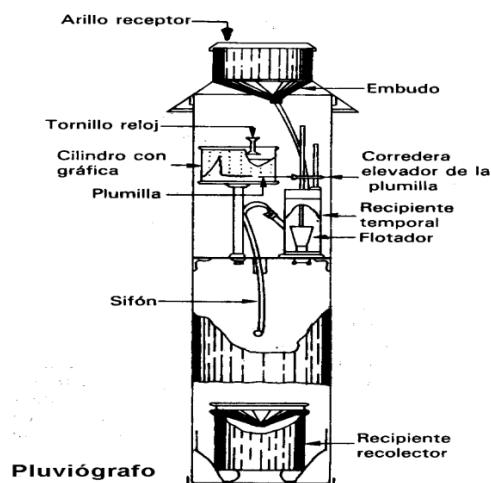


Figura 11 - Pluviógrafo

I.3.5. Hidrograma, hietograma y otros conceptos

I.3.5.1. Hidrograma

El hidrograma es una representación gráfica que describe la variación temporal del caudal de un curso de agua en una sección determinada, generalmente como respuesta a un evento hidrometeorológico específico, como una precipitación. En otras palabras, permite visualizar cómo el caudal (generalmente expresado en metros cúbicos por segundo, m^3/s) evoluciona con el tiempo, siendo una herramienta fundamental en el análisis hidrológico e

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 66 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



hidráulico para el diseño de obras de infraestructura, como drenajes pluviales, embalses, canales y estructuras de control de inundaciones.

El hidrograma se compone, típicamente, de cuatro partes: una recesión de flujo base inicial, una fase ascendente donde el caudal incrementa rápidamente debido al escurrimiento superficial; el caudal pico, que representa el máximo caudal alcanzado durante el evento; y la fase descendente, caracterizada por una disminución gradual del caudal mientras el sistema retorna a condiciones normales. La forma del hidrograma depende de múltiples factores, como la intensidad y duración de la lluvia, las características geomorfológicas de la cuenca, el uso del suelo, la pendiente y la capacidad de infiltración del terreno.

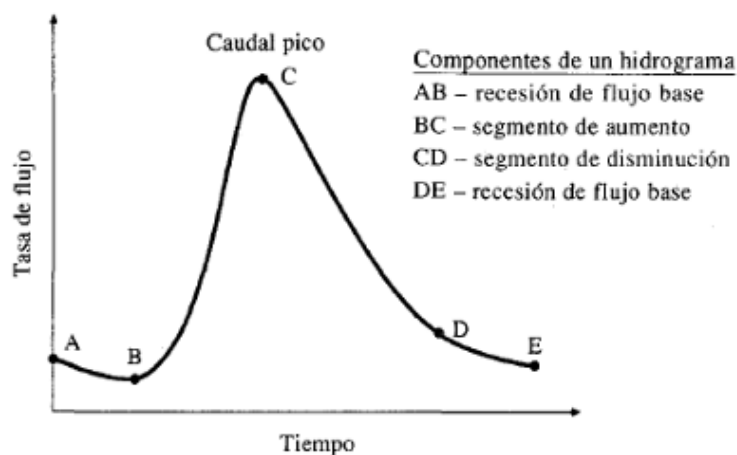


Figura 12 - Hidrograma - Fuente: Andrés (2020)

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 67 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.5.2. Hietograma

El hietograma es una representación gráfica de la distribución temporal de la intensidad de la precipitación durante un evento de lluvia. Esta representación muestra cómo varía la intensidad (generalmente expresada en milímetros por hora, mm/h) a lo largo del tiempo, permitiendo analizar la dinámica del evento pluvial y su potencial impacto en términos de escurrimiento superficial, infiltración y erosión del suelo.

El hietograma es una herramienta esencial para estudios hidrológicos, ya que sirve como entrada para modelos de generación de esorrentía e hidrogramas. El hietograma puede obtenerse a partir de datos de pluviógrafos o estimarse a partir de modelos sintéticos de tormentas, como los propuestos por organismos oficiales o adaptados a regiones específicas.

Algunos métodos de distribución sintética del hietograma utilizados en ingeniería incluyen el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, por sus siglas en inglés) de EE. UU.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 68 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

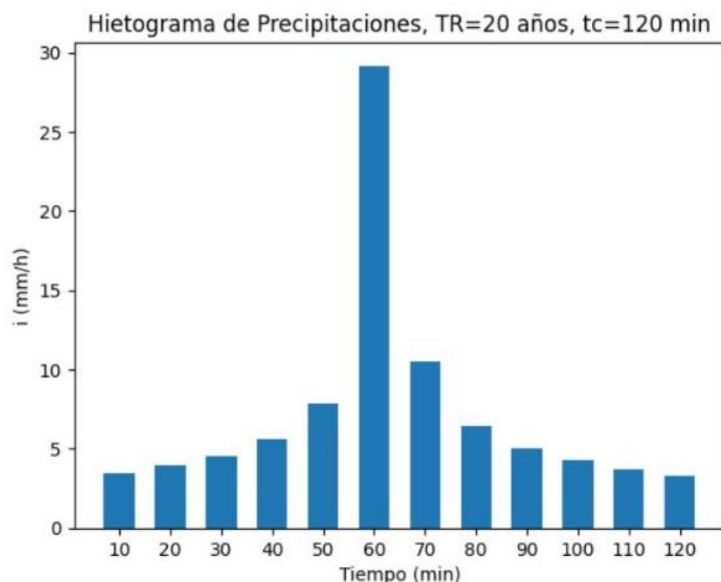


Figura 13 - Hietograma

I.3.5.3. Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario es un modelo empírico conocido y de uso común que analiza la relación entre la escorrentía directa y el exceso de precipitación. Según lo propuesto originalmente por Sherman en 1932, es «el caudal de salida de una cuenca resultante de una unidad de escorrentía directa generada uniformemente sobre el área de drenaje con una tasa de precipitación uniforme durante un período específico de duración de la precipitación». El concepto subyacente del hidrograma unitario es que el proceso de escorrentía es lineal, por lo que la escorrentía de más o menos de una unidad es simplemente un múltiplo del hidrograma de escorrentía unitaria.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 69 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La alternativa a especificar el conjunto completo de ordenadas del hidrograma unitario es utilizar un hidrograma unitario paramétrico. Un hidrograma unitario paramétrico define todas las propiedades pertinentes del hidrograma unitario mediante una o más ecuaciones, cada una con uno o más parámetros. Al especificar los parámetros, las ecuaciones se pueden resolver, obteniendo las ordenadas del hidrograma unitario. Por ejemplo, para aproximar el hidrograma unitario con forma de triángulo, todas las ordenadas se pueden describir especificando (Como se verá en los próximos títulos):

- Magnitud del pico del hidrograma unitario.
- Hora del pico del hidrograma unitario.

El volumen del hidrograma unitario es conocido; es una unidad de profundidad multiplicada por el área de drenaje de la cuenca hidrográfica. Este conocimiento nos permite, a su vez, determinar la base de tiempo del hidrograma unitario. Con el pico, el tiempo del pico y la base de tiempo, todas las ordenadas en la rama ascendente y la rama descendente del hidrograma unitario se pueden calcular a través de una interpolación lineal simple. Otros hidrogramas unitarios paramétricos son más complejos, pero el concepto es el mismo.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 70 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

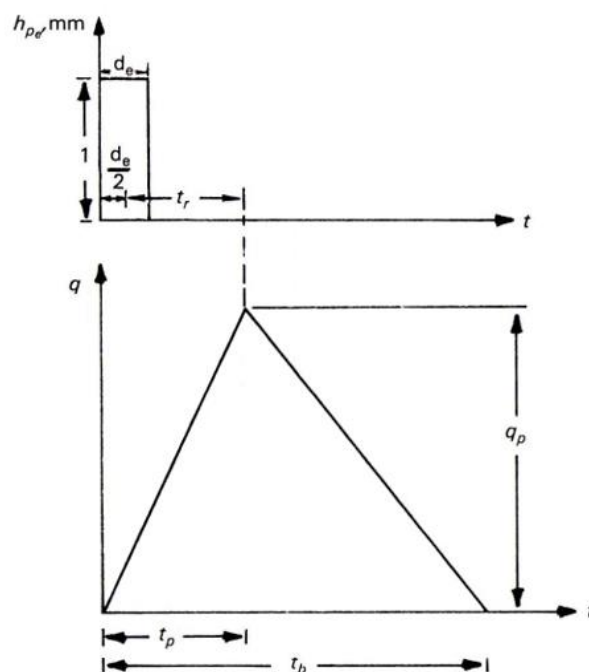


Figura 14 - Hidrograma unitario - Fuente: (Aparicio, 1997)

I.3.5.4. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (T_c) se define como el intervalo de tiempo necesario para que una gota de agua precipitada en el punto más alejado hidráulicamente de una cuenca hidrográfica alcance la salida de la misma, ya sea un canal, cauce o punto de control.

Para determinar esta variable, existen distintos métodos:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 71 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.5.4.1. Tiempo de concentración Kirpich

Existe un gran número de fórmulas empíricas para obtener el tiempo de concentración. Las mismas por lo general provienen de los países desarrollados y han sido deducidas para condiciones de caudales máximos. La principal ventaja reside en que la aplicación de este tipo de fórmulas es simple, por lo que se han extendido en el mundo.

El tiempo de concentración Kirpich corresponde a una metodología empírica particular. Kirpich encontró que el tiempo de concentración puede determinarse con la expresión siguiente:

$$tc = 0,000325 \frac{L_{CP}^{0,77}}{S_{CP}^{0,385}}$$

Donde:

tc : Tiempo de concentración [h]

L_{CP} : Longitud del cauce principal [m]

S_{CP} : Pendiente del cauce principal, adimensional.

I.3.5.4.2. Tiempo de concentración Témez

El método racional de J.R. Témez es apto para cuencas inferiores a 200 km². Para cuencas rurales, con un grado de urbanización no superior al 4 % del área de cuenca, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$tc = 0,3 \left(\frac{LCP}{S_o^{0,25}} \right)^{0,75}$$

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 72 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



t_c : Tiempo de concentración [h]

L_{CP} : Longitud del cauce principal [m]

S_o : Diferencia de altura [%]

I.3.5.4.3. Tiempo de concentración California

Esencialmente es el método de Kirpich desarrollado para pequeñas cuencas y zonas agrícolas en California.

$$t_c = \left(\frac{0,871 * L_{cp}^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración [h].

L_{CP} : Longitud del cauce principal [m].

H : Diferencia de altura [m].

I.3.5.4.4. Tiempo de concentración SCS

Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 73 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



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

$$tc = \frac{0,0136 * Lc^{0.8} * S^{0.7}}{\Delta H^{0.5}}$$

Donde:

S: Potencial máximo de retención de agua.

CN: Curva número.

tc: Tiempo de concentración [min].

Lc: Longitud cauce principal [m].

ΔH : Diferencia de altura [m].

I.3.5.5. Caudal pico

El caudal pico es el valor máximo del caudal instantáneo registrado durante un evento hidrológico, como una tormenta o una avenida. Representa el punto más alto del hidrograma, siendo un parámetro clave para el dimensionamiento de obras hidráulicas.

I.3.5.6. Tiempo al pico

El tiempo al pico (T_p) es un parámetro hidrológico que representa el intervalo de tiempo transcurrido desde el inicio efectivo de un evento de precipitación hasta el momento en que

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 74 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



se alcanza el caudal pico en el hidrograma de una cuenca hidrográfica. En términos gráficos, corresponde al tiempo entre el inicio del ascenso del hidrograma y su punto máximo.

I.3.5.7. Periodo de recurrencia

El período de recurrencia (T), también denominado tiempo de retorno, es un concepto estadístico que expresa el intervalo de tiempo medio que transcurre entre eventos hidrológicos de igual o mayor magnitud, como precipitaciones extremas, o caudales máximos. En términos probabilísticos, representa la inversa de la probabilidad de ocurrencia anual de un evento (McCuen, 1998; Viessman & Lewis, 2003).

Este parámetro se utiliza ampliamente en el diseño y planificación de infraestructuras hidráulicas, ya que permite establecer un criterio de seguridad frente a fenómenos extremos, garantizando que las obras sean capaces de operar adecuadamente dentro de un rango de riesgos aceptables. Para su determinación, se aplican métodos de análisis estadístico de series históricas, empleando distribuciones de probabilidad como Gumbel, Log-Normal o Pearson tipo III, adaptadas a las características hidrológicas del sitio en estudio (Chow, Maidment, & Mays, 1988; Maidment, 1993).

I.3.6. Método del SCS para estimación de escorrentía

El método del SCS, desarrollado por el Soil Conservation Service (actualmente conocido como Natural Resources Conservation Service, NRCS) de los Estados Unidos, es una técnica empírica ampliamente utilizada en hidrología aplicada para estimar el volumen de escorrentía directa generado por eventos de precipitación en cuencas hidrográficas, especialmente aquellas de pequeño y mediano tamaño. Este método es reconocido por su simplicidad,

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 75 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



aplicabilidad y uso estandarizado en normativas y guías técnicas (Chow, Maidment, & Mays, 1988; McCuen, 1998).

Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa Pe es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación Ia (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - Ia$.

El método del SCS supone que las relaciones de las dos cantidades reales y potenciales son iguales. Entonces:

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

Aplicando el principio de continuidad:

$$P = Pe + Ia + Fa$$

De manera que, combinando las dos ecuaciones anteriores obtenemos:

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

Esta última es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 76 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Ahora bien, luego de recopilar un gran número de resultados para cuencas experimentales, se concluye que la abstracción inicial resulta ser una fracción del almacenamiento potencial:

$$Ia = 0.2S$$

En base a esto último:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

I.3.6.1. Relación entre el parámetro S y el Número de Curva (CN)

El parámetro S está relacionado con el Número de Curva (CN), que representa las condiciones de uso del suelo, tipo de suelo y cobertura vegetal, mediante la ecuación:

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

Donde CN: número de curva, adimensional, con valores entre 30 (suelo muy permeable y cubierto) y 100 (superficie impermeable)

El valor de CN se determina partir de tablas publicadas por el SCS (1986), considerando aspectos como los siguientes:

- Tipo de suelo (A, B, C, D).
- Uso y tratamiento de suelo.
- Estado de cobertura vegetal.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 77 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.3.6.1.1. Tipo de Suelo

Como se mencionó anteriormente existen cuatro tipos de suelo, que se describen a continuación:

- Grupo A: Suelos arenosos, con bajo tenor de arcilla total (inferior a 8%), sin rocas, sin capa arcillosa y no densificada hasta una profundidad de 1,5m. O tenor de humus es muy bajo, no llega al 1%. (Mucha infiltración poco escurrimiento)
- Grupo B: Suelos arenosos pocos profundos que los del Grupo A y con menor tenor de arcilla total, inferior al 15%. En el caso de tierras rojas este límite puede subir al 20% gracias a una mayor porosidad. Los tenores de humus pueden subir respectivamente, a 1,2% y 1,5%. Permeabilidad superior a la media.
- Grupo C: Suelos barrosos, con tenor de arcilla del 20 al 30%, pero sin capas arcillosas impermeables o contenido piedras hasta la profundidad de 1,2m. En el caso de tierras rojas, estos límites máximos pueden ser de 40% y 1,5 m. Capacidad de infiltración abajo de la media.
- Grupo D: Suelos arcillosos (30 a 40% de arcilla total) y con capa densificada a unos 50cm de profundidad o suelos arenosos como B, pero con capa arcillosa casi impermeable. Mucho escurrimiento.

I.3.6.1.2. Uso de Suelo

En la Tabla 3, se pueden ver algunos valores de CN, según el tipo de suelo y el uso del mismo. Para una cuenca compuesta por varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra se puede calcular un CN compuesto.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 78 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 3 – Parámetro CN según tipo y uso de suelo - Fuente: Soil Conservation Service

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Districtos 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
Parqueadores 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

I.3.6.2. Estimación del tiempo y caudal al pico

Una vez determinado el volumen de escorrentía, se puede generar un hidrograma sintético utilizando la metodología del hidrograma unitario del SCS. El tiempo al pico (T_p) se calcula de la siguiente manera:

$$T_p = 0.6T_c$$

Donde T_c representa el tiempo de concentración de la cuenca, descrito anteriormente.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 79 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Y el caudal pico se calcula de la siguiente manera:

$$Qp = \frac{2.08 * A * Q}{Tp}$$

Donde:

Qp: caudal pico [m³/s].

A: área de la cuenca [km²].

Q: escorrentía directa [mm].

Tp: tiempo al pico [h].

2.08: constante de conversión (basada en unidades métricas).

I.3.6.3. Método del hidrograma unitario del SCS

Este método forma parte integral del enfoque hidrológico del SCS para estimar el volumen de escorrentía y su distribución temporal, permitiendo diseñar obras hidráulicas como alcantarillas, canales, tanques de retención y sistemas de control de inundaciones, especialmente en cuencas pequeñas y medianas (Chow, Maidment, & Mays, 1988; McCuen, 1998).

El hidrograma unitario del SCS se basa en los siguientes supuestos

- El hidrograma tiene una forma triangular o suavemente curvilínea.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 80 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Representa la esorrentía generada por una lluvia efectiva uniforme de 1 pulgada (25.4 mm) de profundidad en un tiempo de duración definido.
- La distribución temporal de la lluvia no se especifica, pero se considera intensidad constante durante el tiempo de exceso.
- La cuenca responde de forma lineal y proporcional: si la lluvia se duplica, el caudal también lo hace.

Para construir el hidrograma, se deben calcular los siguientes parámetros:

$$Tp = D/2 + 0.6Tc$$

Dónde:

Tp: tiempo al pico [h].

Tc: tiempo de concentración [h].

D: duración de la precipitación [h].

Luego se calcula el caudal pico, con la ecuación mostrada anteriormente.

De manera que la forma del hidrograma cuenta con las siguientes partes/regiones:

- Ascenso hasta el caudal pico en el tiempo Tp.
- Descenso o recesión que dura aproximadamente 1.67Tp.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 81 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.4. Marco Teórico: Drenaje Urbano

El drenaje urbano se concibe como un sistema necesario para el desarrollo de áreas urbanas encargado de unificar la actividad humana con el ciclo natural del agua. Esta interacción tiene dos principales formas: la abstracción del agua de su ciclo natural con el fin de proveerla para el desarrollo de la vida humana y la desviación del agua precipitada por las superficies impermeables de su sistema natural de drenaje (Mafla Chamorro, 2015).

La primera forma de interacción genera lo que comúnmente se conoce como agua residual, la cual es el producto de la utilización del agua de abastecimiento para las diferentes actividades y necesidades del ser humano. Si esta agua no es drenada adecuadamente puede causar polución y riesgos en la salud de la población.

La segunda forma genera lo que comúnmente se denomina “agua de lluvia” y en nuestro contexto es el agua que cae sobre las áreas edificadas. Si el agua de lluvia no drena apropiadamente puede causar inconvenientes, daños, inundaciones y además riesgo en la salud.

I.4.1. Macro y micro drenaje

El agua residual producto de la utilización del recurso y el agua lluvia que cae sobre superficies impermeables generalmente son llevadas por medio de drenajes artificiales hasta llegar a un cuerpo hídrico superficial. Por lo general, este proceso se realiza a través de obras de ingeniería cuyo propósito es el escurrimiento rápido de las aguas. Esta es la forma más típica de solucionar los problemas de drenaje en las ciudades. Esto no significa que es el único camino o que es el menos perjudicial, diferentes experiencias en países desarrollados

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 82 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



principalmente muestran que existen otras alternativas capaces de cumplir la misma función pero reduciendo sustancialmente el impacto sobre el ambiente. Es claro que para abordar tanto las alternativas clásicas como las más novedosas es importante identificar qué tipos de drenaje se puede encontrar en áreas urbanas. La forma típica de solucionar problemas de drenaje mencionada en el párrafo anterior induce a pensar en sistemas artificiales de evacuación tales como conductos o canales artificiales, pero es claro que una vez que el agua es evacuada hacia un cuerpo hídrico superficial este sistema natural es el encargado de cumplir las funciones de drenaje de dichas áreas.

Por lo tanto la evacuación de aguas lluvias de exceso y de aguas residuales tienen dos tipos de sistemas de evacuación: el natural y el artificial, o como Tucci (1995) y otros autores definieron como: **el micro y el macro drenaje**, siendo el primero concebido como el conjunto de conductos encargados de evacuar las aguas pluviales de la red primario o sea a nivel de predio, mientras que el segundo lo conforma la red de drenaje natural preexistente en terreno antes de la ocupación o urbanización siendo constituida por quebradas, riachuelos y ríos (Tucci, Laina Porto, & De Barros, 1995).

Por otra parte, en una importante época de la historia los sistemas de micro drenaje se encargaron de transportar aguas residuales por medio de acequias hasta conducirlos a las corrientes naturales, las cuales originalmente evacuaban las aguas lluvias del lugar. El transporte tanto de las aguas residuales como el de aguas lluvias ha sido un proceso complejo del cual es posible afirmar que existen muy pocos sistemas en los cuales esto es simple o ideal.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 83 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.4.2. Drenajes combinados y separados

Tanto las aguas residuales como las aguas lluvias necesitan ser drenadas de las zonas urbanizadas debido a los impactos que estas pueden generar. Este drenaje puede hacerse conduciéndolas en forma conjunta, o sea utilizando un solo sistema de conductos, o en forma separada para lo cual será necesario tener dos sistemas: uno que se encargue de las aguas residuales y el otro de las aguas lluvias del lugar.

Los sistemas combinados, entonces, se caracterizan por tener una sola red encargada de drenar las aguas tanto residuales como pluviales. Este tipo de sistemas en épocas secas conducen principalmente el agua residual de las ciudades mientras que en épocas húmedas transportan un flujo compuesto por aguas residuales y de lluvias, creándose la necesidad de construir estructuras capaces de regular el flujo en dicha época a fin de poder establecer un sistema de tratamiento que minimice los impactos asociados al deterioro de la calidad de agua de los cuerpos receptores.

Por su parte, los sistemas separados poseen dos redes de conductos, una para transportar exclusivamente “agua lluvia” la cual se vierte directamente al cuerpo receptor y otra red exclusiva para el transporte de aguas residuales, la cual es conducida hasta un sistema de tratamiento de aguas residuales para posteriormente ser descargada al cuerpo receptor.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 84 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

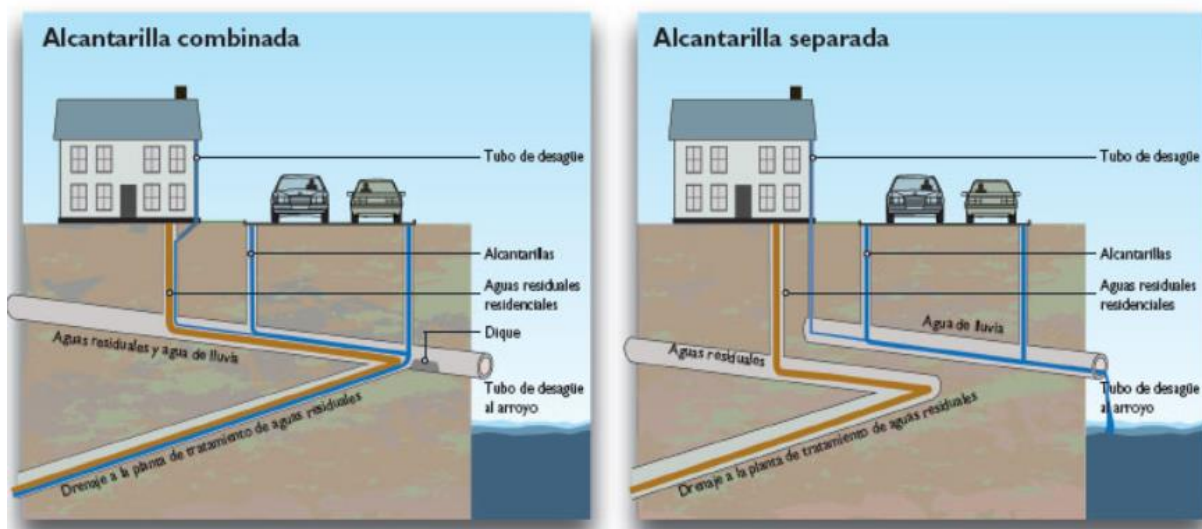


Figura 15 - Drenajes combinados y separados

En algunos lugares se incluyen los sistemas híbridos, los cuales se los podría denominar como “parcialmente separados”, los cuales mezclan las aguas residuales con alguna fracción de aguas lluvias.

La utilización de un sistema u otro puede ser o no la solución a los problemas de drenaje de una ciudad, por lo tanto, saber ¿cuál es el mejor sistema?, es una pregunta que no tiene respuesta, ya que cada caso es particular. Por lo general se tiende a pensar que el sistema separado es el más adecuado por su menor impacto en los cuerpos receptores. Sin embargo, el costo de la restructuración de los sistemas unificados es tan alto que definitivamente no se convierte en una solución viable, más aún para países en vía de desarrollo, donde las tasas de urbanización son extremadamente altas y la capacidad económica de la mayoría de sus habitantes tiene un nivel que no es capaz de solventar un régimen tarifario de prestación de este servicio público que sostenga dichos cambios.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 85 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.4.3. Sistema de drenaje urbano sostenible

El estudio de sistemas de drenaje urbano, ha llevado al desarrollo de un conjunto de técnicas conocidas como Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible o, más comúnmente, conocidas en el ámbito internacional como SUDS, Prácticas de buen manejo, BMPs, sistemas de drenaje urbano de bajo impacto LID o técnicas de diseño y desarrollo de drenajes urbanos de bajo impacto LIUDD (González, 2011).

Según Ballard-Woods, y otros, 2007, el objetivo de los sistemas de drenaje sostenibles es hacer un uso más eficiente de los mecanismos naturales de drenaje, a través del desarrollo de procesos y estructuras diseñados para minimizar la escorrentía urbana, reducir los impactos hidrológicos y de calidad del agua, presentando ventajas como:

- Minimización de volúmenes y caudales de escorrentía, y por ende reducción en el riesgo de inundaciones.
- Minimización de los impactos sobre acuíferos como resultado de una mayor infiltración del agua lluvia.
- Reducción en la concentración pico de contaminantes producto del almacenamiento temporal de agua lluvia.
- Reducción de la contaminación generada por las descargas de descargas combinadas.
- Mejoramiento estético de las zonas con alto impacto de urbanización y creación de hábitats propicios para diferentes especies animales, en zonas urbanas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 86 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La implementación de sistemas de SUDS busca que los sistemas de drenaje urbano se parezcan al drenaje natural de la cuenca en la cual se han instaurado, promoviendo la infiltración y el almacenamiento temporal del agua originada en estas áreas. Lo anterior se logra mediante la implementación de un conjunto de medidas tanto estructurales como no estructurales, las cuales se pueden desarrollar en diferentes niveles (González, 2011):

- **Prevención:** comprende estrategias que buscan minimizar el consumo, promueven su reúso y disminuyen las cargas de vertimiento a cuerpos receptores, incluyen reglamentaciones y políticas asociadas a la temática.
- **Control en la fuente:** son medidas de diseño y control de la escorrentía superficial tan cerca a la fuente como sea posible, con el fin de reducir las estructuras de almacenamiento y tratamiento al final del sistema. Por ejemplo, los techos verdes, los pavimentos porosos, entre otras medidas.
- **Control local:** manejo del agua residual combinada a nivel local, como barrios o parqueaderos. Incluye zanjas de infiltración, lagunas de estabilización, entre otras estructuras.
- **Control regional:** control de la escorrentía a una mayor escala, comúnmente usando humedales o lagunas de detención.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 87 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.5. Marco Teórico: Cambio Climático

Según la Organización de las Naciones Unidas, el cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido, principalmente, a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

Por su parte, el cambio climático según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), refiere a un cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo, utilizando pruebas estadísticas) por los cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y además este cambio persista durante un período prolongado, típicamente décadas o intervalos mayores. Es decir, se refiere a cualquier cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana.

La quema de combustibles fósiles genera emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas.

Las emisiones principales de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. Estos proceden del uso de la gasolina para conducir un vehículo motorizado a combustión, por ejemplo. El desmonte de tierras y bosques también puede liberar dióxido de carbono. Por otro lado, la agricultura y las actividades relacionadas con el petróleo y el gas son fuentes importantes de emisiones de metano. En

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 88 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

general, la energía, la industria, el transporte, la construcción, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores.

I.5.1. Impacto del cambio climático

El cambio climático constituye una de las problemáticas ambientales más relevantes del siglo XXI, con evidentes efectos tanto a nivel ecológico como socioeconómico. Diversos estudios científicos han señalado la estrecha relación entre el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) (en particular, el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄)) y el incremento de la temperatura media global (IPCC, 2021).

Ya a fines del siglo XIX, el premio Nobel de química, Svante Arrhenius, advirtió sobre los efectos potenciales del CO₂ en el calentamiento de la atmósfera terrestre. Desde entonces, múltiples investigaciones han validado esta hipótesis, demostrando que los períodos geológicos con altas concentraciones de GEI coinciden con épocas de temperaturas elevadas y variaciones significativas del clima.

En este contexto, el IPCC ha desempeñado un rol fundamental en la sistematización y divulgación del conocimiento científico disponible, advirtiendo sobre las consecuencias de un calentamiento global sostenido y la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de las distintas regiones y sectores. Desde su informe de 1997, el IPCC propone un enfoque integral que considera diez áreas clave de impacto: los ecosistemas, los recursos hídricos, la producción alimentaria, los sistemas costeros, los asentamientos humanos, la infraestructura, la industria, el transporte, el turismo y la salud humana. Este enfoque permite analizar la manera en que los efectos climáticos se distribuyen de forma desigual y cómo la capacidad adaptativa varía significativamente entre países y regiones.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 89 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.5.2. Presiones ambientales asociadas y necesidad de adaptación

El cambio climático no actúa de forma aislada, sino que interactúa con otros factores de presión ambiental como la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, el estrés hídrico y las transformaciones socioeconómicas ligadas al crecimiento demográfico, la urbanización y la expansión tecnológica. Este contexto exige adoptar enfoques multidisciplinares para comprender y definir procesos de adaptación y formular políticas públicas efectivas que reduzcan la exposición y aumenten la resiliencia de las poblaciones más vulnerables.

La gestión del riesgo climático, en este sentido, requiere información detallada y actualizada sobre los impactos proyectados en cada territorio. La capacidad de los gobiernos y los sectores productivos para responder a estos desafíos depende, en gran medida, de la planificación estratégica y del fortalecimiento institucional para integrar el cambio climático en sus agendas de desarrollo (EEA, 2017).

I.5.3. Impactos sobre el ciclo hidrológico

Uno de los efectos más significativos del cambio climático, y el motivo del presente trabajo, es la alteración en la disponibilidad de los recursos hídricos y la alteración en las variables hidrológicas naturales. Las proyecciones climáticas indican un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías e inundaciones, así como modificaciones en los patrones de precipitación y en la humedad del suelo (IPCC, 2021).

En base al Sexto Informe de Evaluación del IPCC del 2021, se concluye lo siguiente en relación a los cambios en el ciclo del agua debido al cambio climático global:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 90 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- El calentamiento global altera el balance energético de la Tierra, intensificando el ciclo del agua.
- A alta confianza, se prevé que la precipitación y la evaporación aumenten aproximadamente entre 1 % y 3 % por cada °C de calentamiento, con valor central cercano al 2–3 % /°C.
- Con alta confianza, se afirma que existen eventos extremos más intensos: debido a que la capacidad de retención de agua atmosférica aumenta ~7% por °C ya que aumenta la calidez, intensificando lluvias extremas y sequías.
- Efecto de aerosoles: Reducen la precipitación global y alteran patrones de circulación (alta confianza). No obstante, su efecto disminuirá a medida que se reduzcan las emisiones.
- Cambios en uso de suelo: la deforestación y urbanización afectan la evapotranspiración y escorrentía (alta confianza).

La Figura 16, presentada en el informe, muestra cómo aumentan, tanto la media como la variabilidad de la precipitación, escorrentía y contenido de vapor de agua, a medida que se incrementa el calentamiento global. Los resultados indican que:

- El contenido de vapor de agua (gris) crece más rápido (~7%/°C), consistente con la ley de Clausius-Clapeyron.
- La precipitación y la escorrentía aumentan de forma más moderada (~2–3 %/°C en promedio).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 91 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- La variabilidad interanual de precipitación y escorrentía aumenta más rápido que las medias, lo que indica mayor frecuencia de eventos extremos conforme sube la temperatura. Especialmente en los trópicos, indicando que habrá años mucho más húmedos y otros más secos.
- Estos cambios son consistentes en regiones tropicales y extratropicales, aunque con matices estacionales.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 92 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

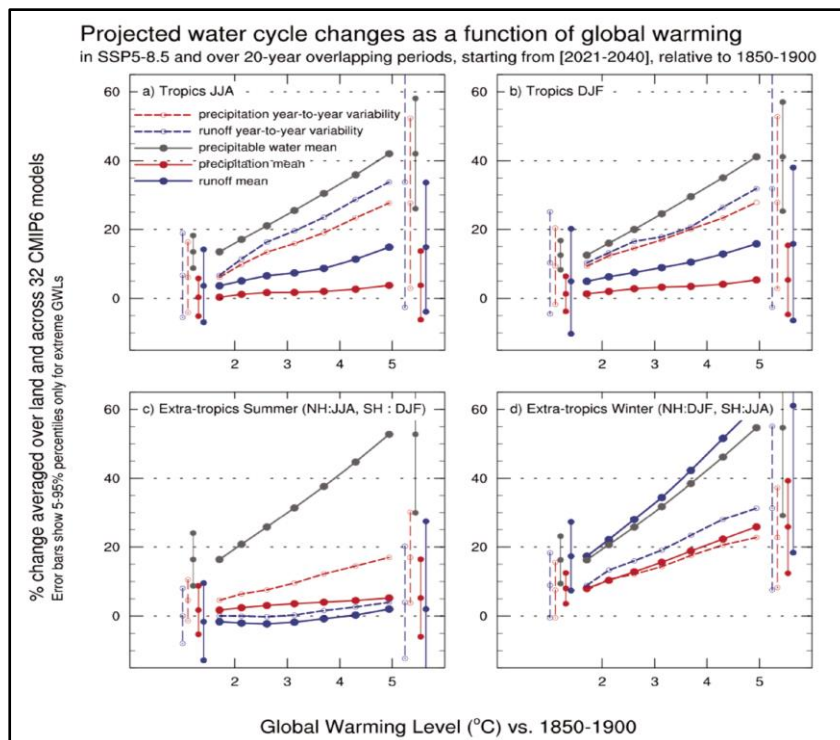


Figura 16 - Variación relativa de parámetros hídricos según calentamiento global - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.16)

En resumen, el ciclo hidrológico no sólo se intensifica en promedio, sino que también se vuelve más variable y extremo conforme avanza el calentamiento global.

Por otro lado, la siguiente Figura 17 compara el aumento de la precipitación media global con los eventos extremos de precipitación en función del aumento de la temperatura global en base a valores observados, modelos climáticos globales, modelos ajustados o corregidos

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 93 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



con observaciones y modelos regionales y modelos de alta resolución (que simulan nubes explícitamente).

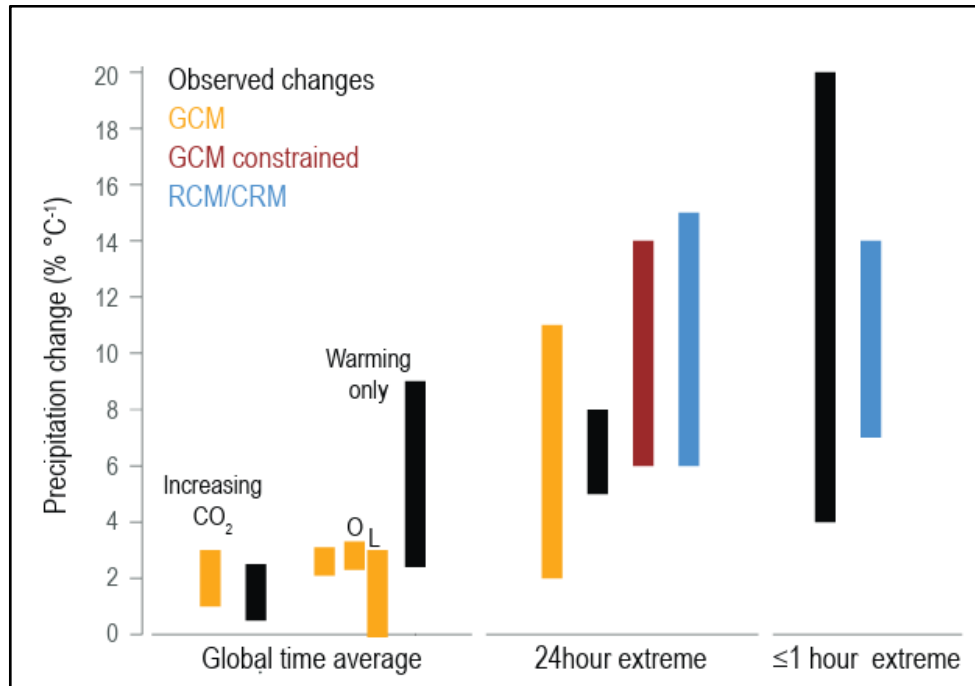


Figura 17 - Variación de precipitación por cada grado de temperatura según diferentes líneas de evidencia - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.4)

En síntesis, los valores aproximados que se concluyen en la imagen:

- Global time average (promedio de precipitación global):
 - La mayoría de las barras están alrededor de +2% a +3% por °C.
 - Coincide con la sensibilidad hidrológica media que te expliqué antes.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 94 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- 24-hour extreme:
 - Las barras suben a alrededor de +6% a +10% por °C, dependiendo de la fuente de datos.
 - Los modelos de alta resolución (celeste) tienden a mostrar un aumento algo mayor.
- ≤1 hour extreme:
 - Los eventos muy cortos y extremos pueden subir hasta +12% o incluso más por °C.
 - Aunque con mucha dispersión según la escala espacial y el tipo de modelo.

Mientras que la precipitación media global aumenta aproximadamente un 2–3 % por cada grado de calentamiento, los extremos de precipitación aumentan mucho más rápido, entre un 6 % y hasta un 10 % por grado, según el tipo de evento, región y modelo. Las estimaciones combinan tanto simulaciones climáticas como datos observacionales recientes, y abarcan desde eventos diarios hasta eventos horarios muy intensos. Este resultado confirma que los eventos extremos de lluvias, que son los más preocupantes desde el punto de vista de inundaciones y riesgos hídricos, se intensifican de forma desproporcionada respecto al aumento de las lluvias medias a medida que avanza el calentamiento global.

Por último, mientras las figuras anteriores determinan cuánto se espera que cambien las precipitaciones y los extremos con el calentamiento, la siguiente muestra que esos cambios ya están ocurriendo en el sistema observado (Figura 18). Se ha detectado un aumento significativo del contenido total de vapor de agua atmosférico, consistente con el

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 95 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



calentamiento global y en línea con la relación de Clausius-Clapeyron ($\sim 7\%$ por cada $^{\circ}\text{C}$). Aunque el incremento en la precipitación media global es más modesto ($\sim 1\text{--}3\%$ / $^{\circ}\text{C}$), existen señales claras de intensificación en varias regiones, tanto en la precipitación como en la escorrentía, y en la frecuencia de eventos de precipitación extrema.

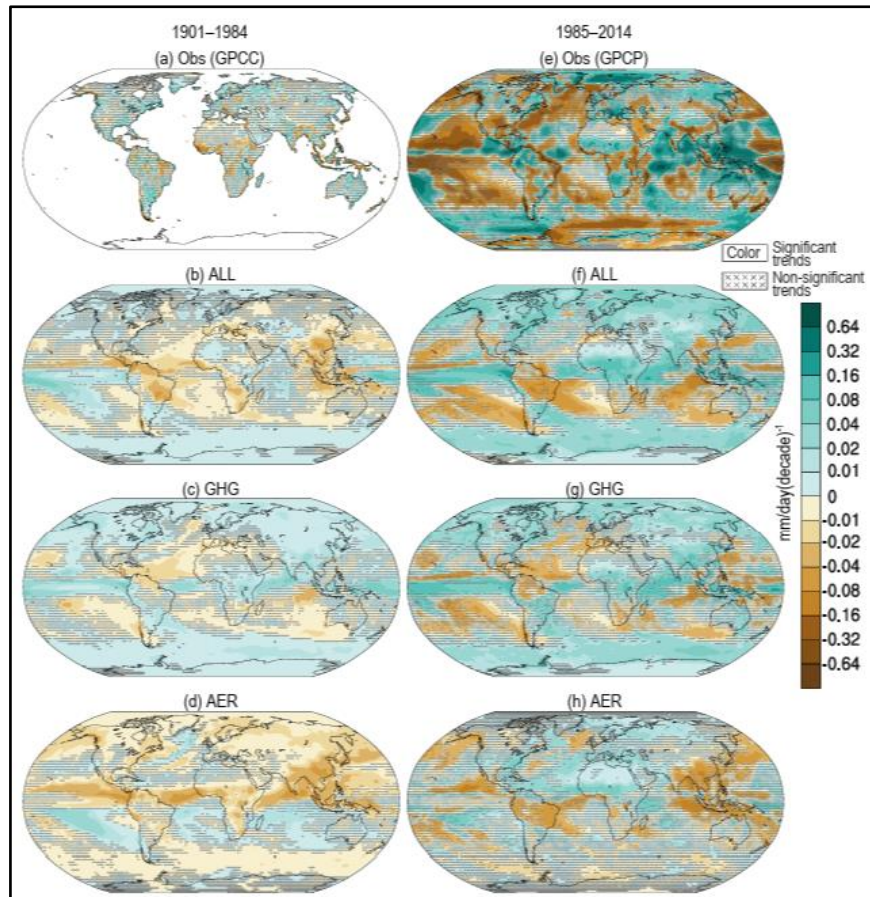


Figura 18 - Variación de precipitación según diferentes escenarios - Fuente: Capítulo 8, AR6, IPCC, 2021 (Figura 8.7)

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 96 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Este conjunto de observaciones constituye evidencia sólida de que la intensificación proyectada del ciclo hidrológico no es solamente un fenómeno futuro, sino que ya se manifiesta actualmente en el sistema climático global.

Particularmente, se pueden observar los siguientes resultados:

- *Paneles (a)/(e): Observaciones reales son los datos obtenidos directamente de estaciones, satélites y reconstrucciones.*
 - Se observa que entre 1985–2014 (panel e) ya hay patrones más claros de:
 - Aumento de lluvias en zonas tropicales (por ejemplo, Sudamérica ecuatorial y cuenca del Plata).
 - Reducción de lluvias en zonas subtropicales y algunas regiones oceánicas.
- *Paneles (b)/(f): Simulaciones con todos los forzamientos (ALL), incluyen gases de efecto invernadero, aerosoles, variabilidad natural, etc.*
 - El patrón es similar al observado:
 - Húmedos más húmedos (trópicos, subtrópicos húmedos).
 - Secos más secos (subtrópicos áridos, zonas continentales).
- *Paneles (c)/(g): Solo gases de efecto invernadero (GHG):*
 - Más amplificación del patrón húmedo-seco.
 - Mayor aumento de lluvias tropicales y subtropicales húmedas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 97 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Mayor disminución en bandas subtropicales secas.
- *Paneles (d)/(h): Solo aerosoles (AER)*
 - Los aerosoles reflejan radiación solar y tienen un efecto enfriador regional:
 - Tienen un patrón opuesto parcial:
 - Más marrón en zonas tropicales (menos lluvia).
 - Menos humedad en el hemisferio norte industrializado.

I.5.4. Efectos ecológicos, productivos y en la salud

También existen impactos que recaen sobre los ecosistemas naturales y en la salud humana. Se prevén alteraciones en la distribución geográfica de especies, cambios en la productividad primaria de los suelos y modificaciones en los hábitats de fauna y flora (Parmesan, 2006). Algunas regiones podrían experimentar un aumento de la biomasa forestal, mientras que otras, como los humedales y la tundra, sufrirían una reducción considerable de su superficie y diversidad (IPCC, 2014).

En términos productivos, si bien el aumento del CO₂ puede favorecer el crecimiento de ciertos cultivos, estos beneficios se ven compensados por el acortamiento del ciclo agrícola, el estrés térmico, la escasez de agua y la mayor incidencia de plagas.

En cuanto a la salud pública, se prevé un aumento de enfermedades transmitidas por vectores, como garrapatas y mosquitos, debido al incremento de las temperaturas y a la mayor frecuencia de olas de calor (Patz et al., 2005). También podrían intensificarse las

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 98 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas a condiciones climáticas extremas (WHO, 2018).

I.5.5. Vulnerabilidad territorial y sectorial diferenciada

Los impactos antes mencionados se manifiestan de forma diferente según el territorio y el sector de análisis. Por ejemplo, el turismo y el transporte enfrentarán cambios en los patrones de demanda, mientras que la infraestructura urbana, especialmente en zonas costeras y montañosas, estará expuesta a riesgos crecientes de erosión, inundaciones y deslizamientos (IPCC, 2014).

Las áreas costeras presentan una vulnerabilidad particular debido a la elevación del nivel del mar y a la intensificación de las tormentas. Esto implica la pérdida potencial de infraestructura crítica, ecosistemas costeros y tierras agrícolas (Nicholls & Cazenave, 2010).

I.5.6. El cambio climático en Argentina

Argentina enfrenta múltiples desafíos derivados del cambio climático, que se manifiestan en fenómenos como sequías prolongadas, inundaciones intensas, olas de calor y variaciones en los patrones de precipitación. Estos eventos afectan diversos sectores, incluyendo la agricultura, los recursos hídricos, la salud pública y la infraestructura urbana. Según la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, se han identificado impactos significativos en diferentes regiones del país, con variaciones en la magnitud y frecuencia de los eventos climáticos extremos.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 99 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.5.6.1. Impactos en los recursos hídricos y la agricultura

El cambio climático ha provocado alteraciones en la disponibilidad y distribución de los recursos hídricos en Argentina. Se observa un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías e inundaciones, afectando la cantidad y calidad del agua disponible para consumo humano, riego agrícola y generación de energía.

Según proyecciones del IPCC, se espera un aumento en la precipitación del orden de 2% a 8% en el centro y en el este de Argentina, y una disminución del orden de 2% a 12% en la región del Noroeste Argentino, en todo el borde occidental del territorio nacional y en la Patagonia, excepto en el sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego donde no se esperan mayores cambios.

En el sector agrícola, las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas han impactado negativamente en la productividad de cultivos clave como el trigo, la soja y el maíz. Se proyecta que, para el año 2050, el cambio climático repercutirá en la productividad de los cultivos y añadirá más presión sobre los recursos hídricos, con sequías que causarán un aumento de la demanda de agua de hasta un 11.1 %, incluso en un escenario de bajas emisiones de carbono.

I.5.6.2. Vulnerabilidad y adaptación en la provincia de Córdoba

La provincia de Córdoba presenta una alta vulnerabilidad frente al cambio climático debido a su ubicación geográfica y características socioeconómicas. Los principales riesgos identificados incluyen eventos climáticos extremos como lluvias intensas, vientos fuertes e incendios forestales. Además, se ha observado un aumento en la frecuencia de sequías, lo que afecta la disponibilidad de agua para consumo humano y actividades productivas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 100 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



El cambio climático en la región de Córdoba se manifiesta en un aumento en la frecuencia y severidad de los eventos, tanto de exceso como de déficit. Esto impacta en las condiciones locales y deja una huella profunda en la memoria colectiva. Los factores antrópicos, como la falta de planificación del desarrollo territorial y el aumento de la demanda en regiones de escasa disponibilidad, también juegan un papel clave (Catalini, 2023).

En respuesta a estos desafíos, el gobierno provincial ha desarrollado planes y estrategias para mitigar y adaptarse al cambio climático. Entre las acciones que busca implementar el Plan se encuentran:

- En materia de arbolado urbano, se planifica incrementar la cantidad de especies en la ciudad, el adecuado mantenimiento y la participación de la ciudadanía, en especial en el cumplimiento de la colocación de flora en vereda.
- Las mediciones de partículas contaminantes han demostrado que los vehículos privados son la principal fuente de contaminación diaria en la zona urbana de Córdoba Capital. Las políticas de transporte buscarán adaptar la infraestructura, planificar la movilidad urbana y contribuir al reemplazo de combustibles fósiles.

En este sentido, se presentó el Plan de Movilidad Urbana Sostenible, un proyecto financiado por la Unión Europea a través del programa EuroClima+ para formular estrategias de movilidad en el Área Metropolitana.

Así, se buscará incentivar el uso de transporte sustentables en sustitución del vehículo particular, a la vez que integrará el servicio de transporte urbano con el interurbano.

Se mejorará e incrementará la seguridad de las bicisendas para promover el transporte no motorizado y se proponen nuevas áreas peatonales.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 101 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



También se prevé incrementar el uso de biocombustibles en flotas municipales e incrementar los puntos de venta y surtidores de biodiesel y bioetanol.

- En términos energéticos, la propuesta profundiza en efficientizar el sector residencial (el 43% de la utilización de energía de la ciudad). Se promoverá el uso de electrodomésticos con etiquetado de mejor categoría, aislamiento térmico de viviendas y uso de energías renovables como calefones solares y generación eléctrica distribuida, la cual es más económica y renovable.

Continuará la instalación de luminarias LED. Las políticas se enfocarán hacia una iluminación inteligente que establezca un flujo lumínico adecuado para cada sector. Instalarán estaciones solares en plazas, parques y paseos.

- En materia de residuos, se regulará la distribución de bolsas y plásticos de un solo uso, y promoverán las reutilizables; potenciará el servicio de recolección diferenciada; promoverá el compostaje domiciliario; fortificará la labor de la compostera del Parque de la Biodiversidad y de los Centros de Transferencia de Residuos.

También se profundizará en la recolección y reutilización de pilas, baterías, aparatos eléctricos y electrónicos y aceite domiciliario; la erradicación de basurales clandestinos; y la cadena de valor de la Economía Circular que ya se encontraba en proceso.

- Se establecerá el Programa Agroecología Urbana y Periurbana, para que vecinos y vecinas aprendan sobre el manejo del suelo y puedan producir sus hortalizas para fomentar la soberanía alimentaria y expandir las ferias agroecológicas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 102 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La Municipalidad expandirá la red del sistema cloacal, lo que mejorará la salud, higiene y ambiente de la población. También se ampliarán las conexiones domiciliarias de agua potable.

Todas estas acciones serán monitoreadas y evaluadas para un mejor rendimiento.

La enseñanza de la importancia de la naturaleza desde la infancia será un pilar fundamental en este plan, así como también concientizar a la población en general sobre el uso y cuidado de la energía y el agua.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 103 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.6. Marco Teórico: Fotogrametría con Drone

La fotogrametría se basa en el principio de visión estereoscópica: a partir de múltiples imágenes superpuestas de un objeto tomadas desde diferentes posiciones, es posible reconstruir su geometría tridimensional mediante técnicas de correlación y triangulación. En el caso de drones, esto se logra mediante la planificación de vuelos automatizados con solapamiento adecuado de imágenes, sensores ópticos de alta resolución y la georreferenciación precisa de las fotografías mediante sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System).

Una vez capturadas, las imágenes se procesan mediante software fotogramétrico como Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy, entre otros, que generan nubes de puntos densa, ortomosaicos georreferenciados y modelos tridimensionales.

Los parámetros de la fotogrametría con dron son los siguientes:

I.6.1. Resolución espacial (Ground Sample Distance, GSD):

Corresponde al tamaño del píxel en el terreno. Se calcula en función de la altura de vuelo, la resolución del sensor y el tamaño del píxel de la cámara. Un menor GSD implica mayor resolución y precisión. Para estudios de cuencas pequeñas y medianas, se recomienda un GSD entre 2 y 10 cm/píxel (Nex & Remondino, 2014).

I.6.2. Solapamiento de imágenes

Existen dos solapamientos:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 104 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Solapamiento longitudinal: mínimo del 75% entre imágenes consecutivas en la dirección del vuelo.
- Solapamiento lateral: mínimo del 60% entre franjas adyacentes.

Estos solapamientos garantizan una cobertura continua y una adecuada reconstrucción estereoscópica (Turner, Lucieer, Watson, 2012).

I.6.3. Altura de vuelo

La altura determina la cobertura por imagen y el GSD. Las alturas típicas para mapeo de alta resolución van de 50 a 100 metros, dependiendo de la topografía y la resolución deseada.

I.6.4. Cámara y sensor

Las cámaras RGB con sensores de al menos 12 MP son comunes para fotogrametría estándar. En estudios especializados pueden emplearse cámaras multi-espectrales o LIDAR para obtener información adicional del terreno o de la vegetación.

I.6.5. Puntos de control terrestre (GCP)

Son puntos en el terreno con coordenadas conocidas que se marcan en las imágenes para mejorar la precisión del modelo. Su distribución adecuada mejora la exactitud absoluta del MDT. Además, ayudan en el post-proceso para la georreferenciación de la nube de puntos.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 105 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.7. Marco Teórico: Redes neuronales

La complejidad inherente de estos sistemas hidrológicos, agravada por un clima mediterráneo caracterizado por precipitaciones concentradas en primavera y verano y un marcado déficit estacional, exige herramientas de modelización robustas para estimar y pronosticar los volúmenes de agua disponibles. Una forma de lograr estos modelos robustos es mediante la utilización de Redes Neuronales.

Las redes neuronales artificiales (RNA) constituyen una clase de modelos de aprendizaje automático capaces de aproximar funciones altamente no lineales mediante la combinación de unidades elementales llamadas “neuronas”. Cada neurona opera aplicando una transformación matemática a sus entradas, ponderadas por coeficientes ajustables, conocidos como pesos sinápticos. La red aprende estos pesos mediante un proceso iterativo de optimización que minimiza un error definido por una función de pérdida. Este proceso suele implementarse mediante retro-propagación y variantes modernas del descenso de gradiente (Goodfellow et al., 2016).

La principal ventaja de estos modelos radica en su capacidad para representar comportamientos no lineales complejos. No obstante, presentan desafíos como el sobreajuste (overfitting), fenómeno en el cual la red aprende patrones demasiado específicos del conjunto de entrenamiento, perdiendo capacidad para generalizar ante datos nuevos (Goodfellow et al., 2016).

Tradicionalmente, el procedimiento para la estimación de lluvias de diseño se basa en el ajuste de distribuciones estadísticas a datos históricos, bajo el supuesto de estacionariedad, es decir, se establece que las características de la lluvia no cambian con el tiempo y que el

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 106 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



futuro se va a comportar similares al pasado. Sin embargo, la variabilidad climática actual y los cambios en las condiciones atmosféricas cuestionan la validez de dicho enfoque.

Las Redes Neuronales ofrecen un conjunto de herramientas para abordar estas limitaciones. El principio fundamental radica en su capacidad para aprender relaciones complejas entre datos de entrada y salida, sin requerir una formulación explícita de las leyes físicas que gobiernan el fenómeno. En particular, los modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning), permiten procesar series temporales extensas y capturar dependencias temporales y espaciales que los métodos estadísticos convencionales no logran representar adecuadamente.

En la provincia de Córdoba, donde los regímenes de lluvia presentan una fuerte estacionalidad y una distribución espacial heterogénea, el uso de Redes Neuronales ofrece una alternativa innovadora para generar lluvias de diseño artificiales coherentes con las condiciones climáticas locales. Estas redes pueden entrenarse a partir de datos provenientes de fuentes satelitales (como el producto IMERG de la misión GPM), índices de vegetación (EVI o NDVI), y parámetros climáticos globales que influyen sobre la precipitación regional, como el Índice de Oscilación del Sur (SOI) o el Modo Anular Antártico (AAO). La integración de estas variables permite a la red neuronal reconocer patrones asociados a eventos húmedos o secos, y generar precipitaciones sintéticas que reflejan posibles escenarios climáticos futuros.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 107 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



I.8. Revisión del estado del arte

La presente revisión del estado del arte se centra en las metodologías avanzadas de modelado hidráulico, la evaluación del riesgo de inundaciones fluviales y urbanas, y la aplicación de tecnologías emergentes, tales como el “Deep Learning”, en la predicción de comportamiento hidrológico de un determinado sistema. Asimismo, el análisis se realizará de manera individualizada para cada contribución académica.

I.8.1. Hydraulic Modeling for Flood Risk Assessment and Mitigation

El artículo de Sirohi (2025) se establece como una revisión fundamental sobre el papel central del modelado hidráulico en la evaluación del riesgo y la mitigación de inundaciones. Aquí, la autora subraya que las inundaciones son desastres naturales catastróficos que demandan estrategias eficaces de gestión.

De este documento, los conceptos y aplicaciones clave relacionados con el tema en cuestión son:

- **Función del modelado:** El modelado hidráulico es fundamental para simular la dinámica del flujo de agua en ríos, llanuras de inundación y sistemas de drenaje urbano, utilizando ecuaciones matemáticas para analizar el flujo de fluidos. Estas simulaciones son clave para delinear áreas propensas a inundaciones, pronosticar niveles de agua en eventos puntuales y evaluar la eficiencia de las medidas de control que pueden implementarse.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 108 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Tipos de modelos hidráulicos: El documento discute las categorías de modelos hidráulicos. En primer lugar, pueden distinguirse tipos de modelo en función de la representación que realizan del fluido. Aquí tenemos:
 - Modelos de estado estacionario.
 - Modelos hidráulicos de estado no estacionario.

A su vez, los modelos también pueden diferenciarse en función de su dimensionalidad, donde existen los modelos unidimensionales (1D), los bidimensionales (2D) y los modelos acoplados. La evolución en la capacidad computacional y las técnicas de recolección de datos, como la teledetección (Remote Sensing) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS), han permitido el desarrollo de simulaciones 2D y 3D más precisas y eficientes.

Luego, otra diferenciación puede realizarse en función del enfoque matemático que toma el modelo, donde existen modelos empíricos y modelos basados en fenómenos físicos.

Finalmente, los modelos también pueden diferenciarse en función del área de aplicación, donde existen modelos de ríos y zonas de inundación, modelos de drenaje urbano y modelos costeros y estuarinos.

- Desafíos y tendencias emergentes: Se identifican desafíos propios del modelado, tales como la precisión de los datos, las limitaciones computacionales y las incertidumbres asociadas al cambio climático. Como tendencia, se destaca la integración de modelos con la Inteligencia Artificial (AI) y el Aprendizaje Automático (Machine Learning) para optimizar las capacidades predictivas, lo que posiciona al modelado hidráulico como

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 109 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



una herramienta fundamental en la gestión sostenible del agua y la preparación ante desastres naturales.

1.8.2. Impacto de las inundaciones fluviales asociadas a eventos extremos de precipitación en zonas urbanas: caso de estudio arroyo Las Liebres de la ciudad de León, Guanajuato

El estudio de Díaz Buelvas et al. (2025) aborda la problemática de las inundaciones fluviales en el contexto de eventos extremos de precipitación y su impacto en la infraestructura urbana. La investigación se centra particularmente en el caso del arroyo Las Liebres en la ciudad de León, Guanajuato (México).

De este documento, los conceptos y aplicaciones clave relacionado con el tema en cuestión son:

- Enfoque metodológico usado: La metodología implementada acopla un modelo hidrológico (HEC-HMS) y un modelo hidráulico bidimensional (IBER).

Particularmente, se decidió utilizar el modelo hidráulico bidimensional con el software IBER por su precisión y robustez, así como por su capacidad para simular eventos extremos, interacciones entre ríos y llanuras de inundación, flexibilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones geográficas y climáticas, entre otras razones. Por otro lado, se utilizó HEC-HMS en el modelado de la producción de escorrentía superficial de la cuenca en el arroyo Las Liebres, debido a que no se contaba con caudales observados en la desembocadura de la cuenca. Además, en el modelo de HEC-HMS se permite la inclusión de diferentes tormentas de diseño.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 110 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Luego, se integra un análisis de frecuencias con parámetros estacionarios y no estacionarios para la proyección de eventos extremos de precipitación, una práctica crucial ante la variabilidad climática. Para el modelado no estacionario resulta interesante notar que se realizó mediante la aplicación de los modelos estadísticos conocidos como “Generalized Additive Model for Location Scale and Shape (GAMLSS)”.

- Conclusiones sobre el impacto de eventos extremos: El análisis proyecta eventos de precipitación máxima de hasta 110 mm para un periodo de retorno de 100 años, lo que resulta en un caudal de aproximadamente 80 m³/s. Este escenario provoca la inundación del 13,2% del área urbana de la cuenca, evidenciando la vulnerabilidad de la zona.
- Consecuencias y relación con el contexto global: Los autores enmarcan el problema dentro de una tendencia global donde las inundaciones son los peligros naturales más extendidos y mortíferos, con un incremento significativo en su frecuencia, exacerbado por el cambio climático y la densidad poblacional. Las consecuencias se traducen en afectaciones a la movilidad, la infraestructura crítica, los servicios básicos y la capacidad de respuesta ante emergencias.

I.8.3. Streamflow Simulation in the Cau River Basin, Northeast Vietnam, Using SWAT-Based Hydrological Modelling

El trabajo de Nguyen et al. (2025) se centra en la aplicación de la herramienta SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para la simulación del flujo de corriente (streamflow) en la

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 111 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



cuenca del río Cau, ubicada en el noreste de Vietnam. El análisis de esta cuenca no es sencillo, debido a su topografía, uso de suelo y limitada información meteorológica.

De este documento, los conceptos y aplicaciones clave relacionado con el tema en cuestión son:

- Metodología del modelado hidrológico en SWAT: El estudio se propuso modelar la dinámica del flujo de corriente durante un periodo de 31 años (1990-2020) para apoyar estrategias basadas en evidencia para la mitigación de inundaciones y sequías. El modelo SWAT se implementó utilizando datos geoespaciales de múltiples fuentes, incluyendo un modelo de elevación digital de resolución espacial de 30 m y registros climáticos. Del modelo digital de terreno se pudieron extraer redes fluviales, delimitar subcuencas y calcular la pendiente, una variable clave para simular los procesos de escorrentía superficial y erosión.

Respecto a la calibración y validación de datos, la calibración (1997-2008) y validación (2009-2020) del modelo se realizaron con la herramienta SWAT-CUP, empleando el algoritmo SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting Version 2), lo que permitió una optimización iterativa robusta. Los resultados estadísticos demostraron un rendimiento robusto, con coeficientes de Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) de 0,95 y 0,90, y valores de R² de 0,95 y 0,91 para la calibración y validación, respectivamente.

Finalmente, el análisis de sensibilidad identificó cuatro parámetros clave (del total de 10) que influyen en el flujo de corriente: el número de curva, la conductividad hidráulica saturada, el factor de compensación de la evaporación del suelo y la capacidad de agua disponible. Las simulaciones revelaron una considerable variabilidad espacio-temporal en la escorrentía, con valores anuales generalmente más bajos aguas arriba

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 112 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



y más altos aguas abajo. Este tipo de modelado a escala de cuenca es vital para el desarrollo de marcos de asignación sostenible de recursos hídricos.

I.8.4. Accelerating Urban Flood Inundation Simulation Under Spatio-Temporally Varying Rainstorms Using ConvLSTM Deep Learning Model

El trabajo de Liao et al. (2025) aborda la necesidad crítica de acelerar la simulación de inundaciones urbanas en tiempo real, un requisito fundamental para los sistemas de alerta temprana. El enfoque se centra en superar la limitación computacional de los modelos hidrodinámicos tradicionales, que pueden ser muy precisos, pero también son lentos.

De este documento, los conceptos y aplicaciones clave relacionado con el tema en cuestión son:

Respecto a la metodología de modelación, los autores proponen un método de predicción rápida y “end to end” para la inundación urbana mediante un modelo de Aprendizaje Profundo (Deep Learning, DL) denominado Red de Memoria Larga a Corto Plazo Convolutiva (ConvLSTM). Este modelo actúa como un sustituto (surrogate) que mantiene una precisión razonable al tiempo que mejora drásticamente la eficiencia computacional. Estudios previos que utilizan técnicas basadas en aprendizaje profundo han demostrado su superioridad en la simulación de inundaciones bajo tormentas con variaciones temporales. Sin embargo, las tormentas reales presentan una fuerte variabilidad temporal y distribuciones espaciales irregulares, con intensidades y patrones de distribución variables que pueden

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 113 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



aumentar significativamente la complejidad e incertidumbre asociadas con la generación y propagación de inundaciones, incluso en una pequeña cuenca urbana.

El modelo ConvLSTM muestra una precisión favorable en la predicción de inundaciones, y los resultados de la simulación son cercanos a los de un modelo acoplado. Especialmente, el modelo ConvLSTM puede predecir la ubicación de la inundación y la profundidad de la misma bajo diferentes centros de tormenta. Como se estableció anteriormente, el modelo demostró una precisión satisfactoria, con un coeficiente de correlación de Pearson promedio (PCC) de 0.958 y un error absoluto medio (MAE) de 0.021, siendo capaz de capturar la evolución de la inundación. Su principal ventaja radica en la eficiencia computacional: para un área de estudio de 74 km², el modelo realizó la predicción en solo 2 segundos, lo que representa ser 170 veces más rápido que los modelos tradicionales basados en la física.

En términos de interpretación espacio - temporal, una innovación clave es el uso de la técnica Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) para dotar de interpretabilidad al modelo DL. Grad-CAM reveló que el modelo ConvLSTM se enfoca naturalmente en las áreas de concentración de lluvia local o aguas arriba, que son las más responsables de la inundación, un hallazgo que se alinea con el entendimiento hidrológico del proceso. La importancia de este enfoque radica en su capacidad para la predicción rápida en escenarios de lluvias con variación espacio-temporal, a diferencia de muchos estudios anteriores que asumen una precipitación espacialmente uniforme.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 114 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CÓRDOBA
Universidad Jesuita

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 115 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II. CAPÍTULO SEGUNDO: ESTUDIO DEL ÁREA Y MODELACIÓN

II.1. Descripción del área de estudio

En el presente título se realizará una contextualización acerca del área de estudio, caracterizando por un lado la ciudad de Córdoba y, por otro, a la urbanización de estudio particular que constituye la zona de estudio y a sobre la cual se realizará la totalidad del trabajo.

II.1.1. Ubicación

La urbanización de estudio se encuentra en la calle José Benito Cottolengo esquina con Río Negro, al sur de la Ciudad de Córdoba, Argentina. En las siguientes figuras se puede apreciar en forma secuencial desde un nivel nacional a uno municipal donde se ubica la ciudad de Córdoba y el loteo correspondiente al área de estudio.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 116 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 19 - República Argentina



Figura 20 - Provincia de Córdoba

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 117 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

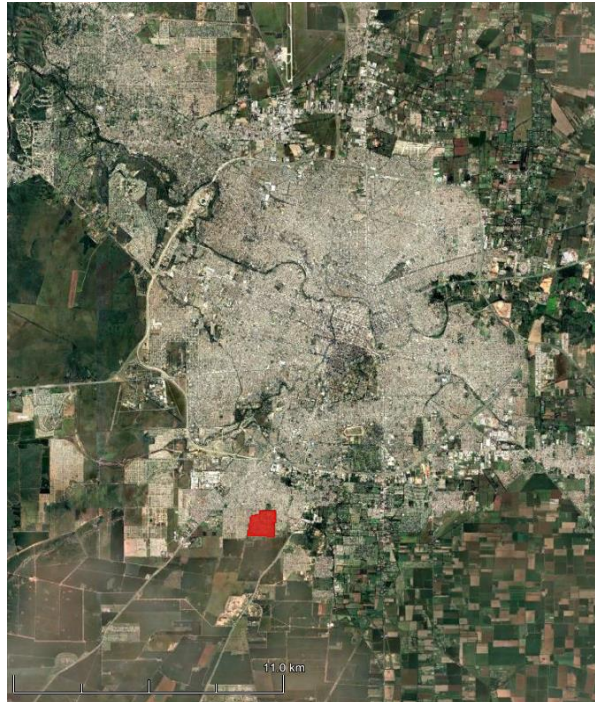


Figura 21 - Urbanización de estudio

Respecto a los puntos próximos de interés más cercanos, se encuentran:

- *Centro de Córdoba:* A unos 20 minutos en auto.
- *Universidad Católica de Córdoba y UTN:* a menos de 15 minutos.
- *Hospital Privado y Hospital Ferreyra:* en la misma zona sur.
- *Centros comerciales:* Carrefour Ruta 5 y otros emprendimientos como el Distrito Sur.

Luego, respecto a la conectividad del barrio:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 118 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Cuenta con líneas de colectivos urbanos e interurbanos que conectan el barrio con el resto de la ciudad.

- *Proximidad a la Av. Circunvalación*, permitiendo conexión rápida hacia otras zonas de Córdoba.

II.1.2. Descripción de la Ciudad de Córdoba

II.1.2.1. Historia

La ciudad de Córdoba, ubicada en el centro geográfico de la República Argentina, fue fundada el 6 de julio de 1573 por Jerónimo Luis de Cabrera, con el objetivo de establecer un nexo entre el Alto Perú y el puerto de Buenos Aires. Desde sus inicios, Córdoba se consolidó como un centro estratégico para el desarrollo político, económico y cultural del interior del país. Durante la época colonial, adquirió relevancia por la instalación de la Compañía de Jesús, que fundó en 1613 la Universidad de Córdoba, la más antigua del país y una de las primeras de América. Este hecho marcó profundamente su perfil educativo e intelectual.

A lo largo del siglo XIX, la ciudad participó activamente en los procesos independentistas y fue escenario de importantes debates políticos en el marco de la organización nacional. En el siglo XX, experimentó un fuerte crecimiento urbano e industrial, convirtiéndose en un polo clave del desarrollo automotriz y tecnológico. Hoy, Córdoba es reconocida por su dinamismo económico, su patrimonio arquitectónico colonial y su intensa vida universitaria, siendo uno de los principales centros urbanos del país.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 119 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.2.2. Población

Según los datos relevados por el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2022, la ciudad de Córdoba —correspondiente al departamento Capital de la provincia homónima— alcanzó una población total de 1.505.250 habitantes. Esta cifra representa un incremento del 13,2 % en relación con el censo anterior realizado en 2010, cuando se registraron 1.329.604 personas. En cuanto a la distribución por sexo, se contabilizaron 789.399 mujeres (52,4 %) y 715.851 varones (47,6 %). La edad mediana de la población se ubicó en los 32 años, siendo de 34 años para las mujeres y de 31 años para los hombres. Asimismo, el 11,9 % de los habitantes tenía 65 años o más, lo que refleja una proporción significativa de personas mayores dentro de la estructura demográfica de la ciudad.

A nivel provincial, Córdoba se posiciona como el núcleo urbano más poblado, dentro de una provincia que totalizó 3.978.984 habitantes en el mismo período censal, siendo la segunda más poblada del país después de Buenos Aires.

II.1.2.3. Actividad Económica

La economía de Córdoba se caracteriza por su diversificación y dinamismo, que la posiciona como una de las provincias más importantes del país. El Producto Bruto Interno (PBI) provincial para 2024 se estima en aproximadamente 65 mil millones de dólares, representando alrededor del 9% del PBI nacional.

Los sectores económicos más relevantes incluyen la agroindustria, la industria manufacturera, el sector automotor y los servicios, que contribuyen significativamente a la generación de valor económico y empleo en la región.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 120 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.2.3.1. Agroindustria

El sector agroindustrial es uno de los pilares fundamentales de la economía cordobesa, con una producción anual que supera los 25 millones de toneladas de granos, principalmente soja, maíz y trigo.

Córdoba se posiciona como uno de los principales centros de producción agrícola de Argentina, con más de 3,5 millones de hectáreas cultivadas y un valor de exportaciones cercano a los 4.500 millones de dólares anuales. La industria de transformación agrícola ha agregado valor mediante la instalación de importantes plantas de procesamiento de aceites, biocombustibles y alimentos derivados de estos cultivos.

II.1.2.3.2. Sector industrial

La industria automotriz mantiene su rol estratégico, con plantas de Renault y Volkswagen que generan aproximadamente 15.000 empleos directos y más de 50.000 empleos indirectos.

En 2024, la producción automotriz de Córdoba representa alrededor del 15% de la producción nacional, con una facturación estimada de 3.200 millones de dólares y exportaciones que alcanzan los 1.800 millones de dólares, destacándose no solo por el ensamblaje sino también por el desarrollo de autopartes y tecnología de precisión.

II.1.2.3.3. Tecnología: Economía del Conocimiento

El sector de servicios tecnológicos y software ha experimentado un crecimiento exponencial, consolidando a Córdoba como el segundo polo tecnológico más importante de Argentina después de Buenos Aires.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 121 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Más de 450 empresas de tecnología operan en la provincia, empleando a cerca de 12.000 profesionales especializados, con una facturación sectorial que supera los 800 millones de dólares anuales.

Las áreas de desarrollo de software, servicios digitales, videojuegos y soluciones tecnológicas para empresas internacionales representan los segmentos de mayor dinamismo y potencial exportador.

II.1.2.3.4. Otros sectores

La industria fabricante diversificada, que incluye a la metalurgia, alimentación, maquinaria agrícola y química, aporta cerca del 22% del valor económico provincial.

Córdoba cuenta con más de 6.000 establecimientos industriales distribuidos en parques y zonas industriales estratégicas, generando aproximadamente 100.000 empleos directos y consolidándose como un centro industrial diversificado y competitivo a nivel nacional.

II.1.2.3.5. Exportaciones

En términos de comercio exterior, la provincia exporta principalmente productos agrícolas, automóviles y manufacturas de origen industrial.

Las exportaciones en 2024 se estiman en alrededor de 8.500 millones de dólares, divididas en cuatro categorías: productos agrícolas (42%), manufacturas industriales (25%), vehículos y autopartes (20%) y productos agroindustriales procesados (13%).

Los principales destinos de exportación incluyen países de América Latina como Brasil, Chile y México, que representan el 45% del volumen exportado, seguidos por Estados Unidos

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 122 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



con un 22% y países europeos como Alemania, España e Italia, que absorben cerca del 18% de las exportaciones cordobesas.

II.1.2.4. Clima

El clima de la ciudad de Córdoba es templado subtropical húmedo con invierno seco, clima también conocido como pampeano. Los veranos son húmedos, con días calurosos y noches templadas. Los vientos del este y oeste son extraños, de corta duración y poca intensidad. En primavera soplan con fuerza creciente principalmente del norte y el noreste. Además, en el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas con viento y granizo.

En cuanto a la temperatura, posee una media anual de 18 °C. En su mes más caluroso, enero, la máxima es de 31 °C y la mínima media de 18 °C. En julio, mes más frío del año, la temperatura media es de 18 °C de máxima y 5 °C de mínima, aunque en invierno pueden ser frecuentes días algo cálidos, debido a la influencia del viento Zonda.

Las nevadas son poco frecuentes, las últimas se registraron en 1984, 2007, 2009 y 2021. Por su parte, los tornados son un evento climático relativamente habitual. Se recuerdan tormentas como la de 2003, que causó severos daños.

Según datos obtenidos durante 1961-1990 por la Fuerza Aérea Argentina, Comando Regiones Aéreas, Servicio Meteorológico Nacional, Estación Meteorológica Córdoba Observatorio:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 123 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. media (°C)	31.1	30.1	27.6	24.9	22.0	18.5	18.6	21.0	23.3	26.1	28.4	30.3	25.2
Temp. mín. media (°C)	18.1	17.4	15.6	12.3	9.3	5.7	5.5	6.7	9.1	12.6	15.2	17.3	12.1
Precipitación total (mm)	121.7	99.8	110.3	52.2	18.9	11.4	12.8	9.7	33.8	66.4	96.6	136.9	770.8

Figura 22 - Clima de la provincia de Córdoba

II.1.2.5. Relieve

La provincia de Córdoba tiene relieves muy variados: en el oeste predominan las sierras, que son relieves similares a las montañas. En el caso de las sierras cordobesas, su altura no supera los 3.000 metros. Estas sierras están agrupadas en cordones, como el cordón Central o la Sierra Grande. También hay valles, que se formaron por el paso de los ríos entre las montañas: algunos de los valles más importantes de la provincia son el de Punilla, el de Calamuchita y el de Traslasierra. Finalmente, hay relieves de llanura, de muy poca elevación, y también depresiones, que dan lugar a la formación de lagunas y bañados, como la laguna de Mar Chiquita (Ansenusa) y los bañados de La Amarga. En zonas en donde el clima es más seco, estas lagunas o bañados se convirtieron en grandes superficies de sal llamadas salinas, como las Salinas Grandes en el noroeste de la provincia.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 124 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

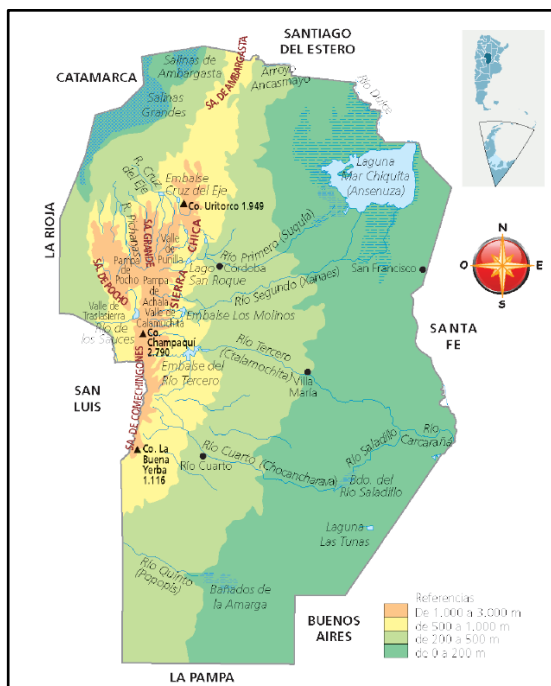


Figura 23 - Relieve de la provincia de Córdoba

II.1.3. Características de la Urbanización

El loteo de análisis lleva el nombre de “Valle Cercano”, se trata de un mega emprendimiento urbanístico cerrado que combina el diseño de ciudad abierta con la seguridad de barrios cerrados (tipo "urban village"). Abarca una superficie de 100 hectáreas, integrando varios barrios internos o sectores.

El proyecto fue desarrollado por la firma Grupo ECIPSA, una de las desarrolladoras inmobiliarias más reconocidas de Córdoba.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 125 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



En la Figura 24 se observa el estado actual del barrio mediante una imagen satelital.



Figura 24 - Valle Cercano, Córdoba, Argentina - Imagen Satelital 2025

Este proyecto, tal como se observa, aún está en proceso de construcción, de manera que algunos de los barrios de este no están habilitados para la edificación. No obstante, la totalidad del desarrollo (como fue planificado) puede observarse en la Figura 25:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 126 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 25 - Planimetría de Valle Cercano, Córdoba, Argentina

Ahora bien, a su vez, dentro de estos barrios existen proyectos de micro-urbanismos, tales como:

- Town Urca I y II.
- Casonas del Sur I y II.
- Prisma I y II.
- Altos de Vélez Sarsfield.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 127 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Entre otros.

II.1.3.1. Características de la zona según ordenanza

Según la ordenanza municipal 8133 del municipio de la ciudad Córdoba, la urbanización se encuentra en zona tipo 'Illa', correspondiente a actividades que, por su generación de molestias significativas en el entorno, son compatibles con los usos residenciales sólo asumiendo procedimientos y restricciones especiales. Podrán localizarse en áreas urbanas de buena accesibilidad urbana y regional

Por otro lado, la urbanización se encuentra dentro de la Zona 2 según la Ordenanza 8060 de la Ciudad de Córdoba. Aquí, corresponde un ancho mínimo de lote de 10 metros y una superficie mínima de 250 metros cuadrados.

Finalmente, según la ordenanza 8256/86 de ocupación de suelo del municipio de la ciudad de Córdoba, el barrio se encuentra en zona tipo H1. Aquí, se exige un FOS del 70% y FOT igual a 1 (uno). Además, el retiro de línea de edificación es de 3 (tres) metros, la altura máxima sobre la línea de edificación de 10,50 metros, altura máxima de perímetro libre de 13,5 metros, y una cantidad máxima de pisos conformado por una planta baja sumado a dos pisos, y sumado a tres pisos para el perímetro libre.

II.1.3.2. Infraestructura

Los servicios con los que cuenta el proyecto actualmente son:

- Calles pavimentadas con cordón cuneta.
- Redes de agua.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 128 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Redes de electricidad.
- Red de cloacas, solo en algunos barrios.
- Servicio de internet.
- Alumbrado público LED.
- Espacios verdes comunes y plazas temáticas.
- Circuitos peatonales y bicisendas.
- Acceso controlado y seguridad 24 hs (en los barrios cerrados).
- Estaciones de recolección de residuos diferenciados.

Las calles presentan la siguiente geometría según lo relevado: el ancho es igual a 7 metros con un bombeo del 2%, el cordón de 0,15 metros de altura, la vereda un ancho de 2,5 metros y 2,5% de pendiente transversal, el detalle de estas puede observarse en el plano correspondiente del Anexo 2.

II.1.3.3. Hidrología

En el análisis hidrológico siguiente se identificarán y analizarán las obras hidráulicas encontradas en la urbanización, información útil para la realización del presente estudio.

En este sentido, a la fecha de publicado el presente, en el barrio se identificaron 11 lagunas de retención. A fines de un análisis claro de las mismas, se las denotará con un número del 1 al 11 (ver Figura 26):

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 129 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

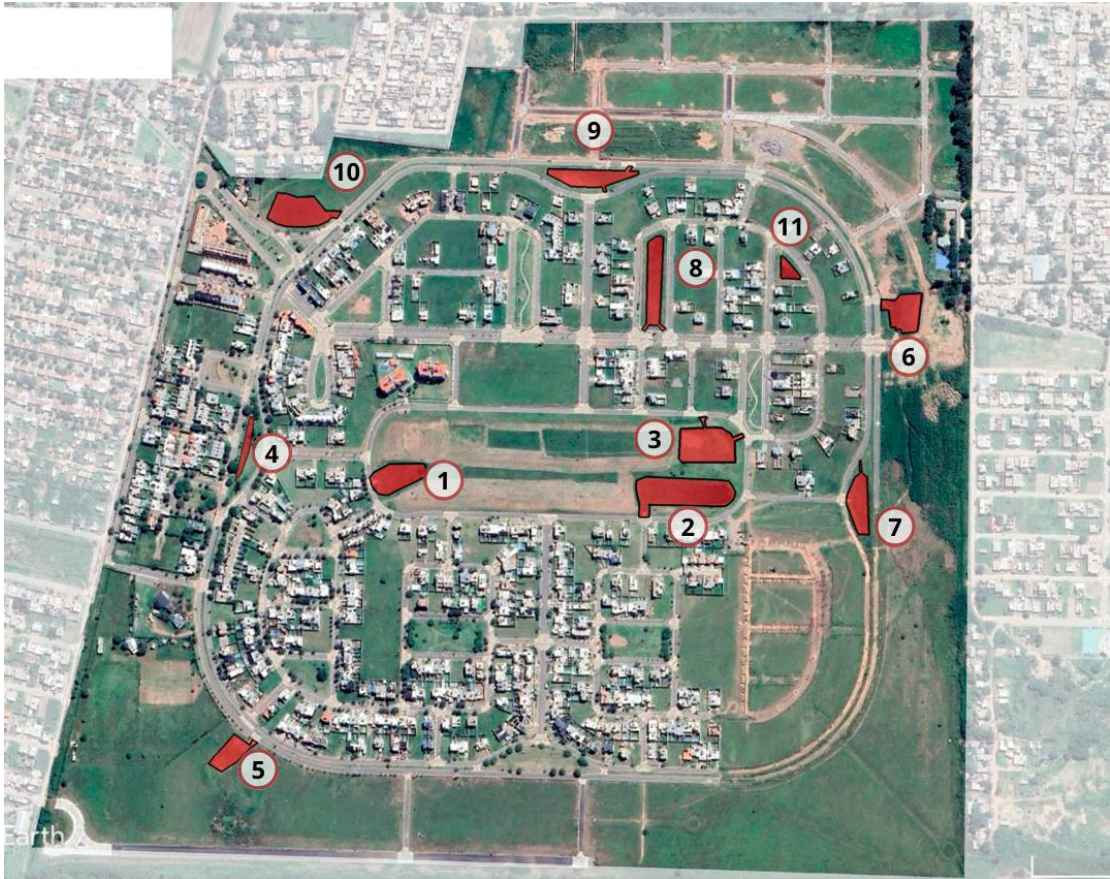


Figura 26 - Lagunas de retención relevadas en el área de estudio

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de estas lagunas de retención y se detallan las dimensiones de las obras de entrada y de salida acompañado de fotografías.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 130 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.1. Laguna de retención 1



Figura 27 - Laguna de retención 1 – Imagen satelital

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 131 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 28 - Laguna de retención 1

Cubre una superficie aproximada de 1.900 metros cuadrados y un volumen total de 3.365 metros cúbicos.

Cuenta con un canal de entrada de forma trapezoidal de 5,5 metros de ancho a 0,85 metros a lo largo de una longitud de 10 metros:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 132 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 29 - Obra de Ingreso de laguna de retención 1

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

No se ha identificado un vertedero de salida, lo que lleva a pensar de que se trata de una laguna cuyo objetivo es filtrar el agua que se acumula. A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de infiltración”

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 133 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.2. Laguna de retención 2



Figura 30 - Laguna de retención 2

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 134 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 31 - Laguna de retención 2

Tiene una superficie de 3.500 metros cuadrados y un volumen aproximado de 3.050 metros cúbicos. En cuanto a su canal de entrada, se trata de un canal rectangular de 3,5 metros de ancho y un largo de 6 metros.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 135 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

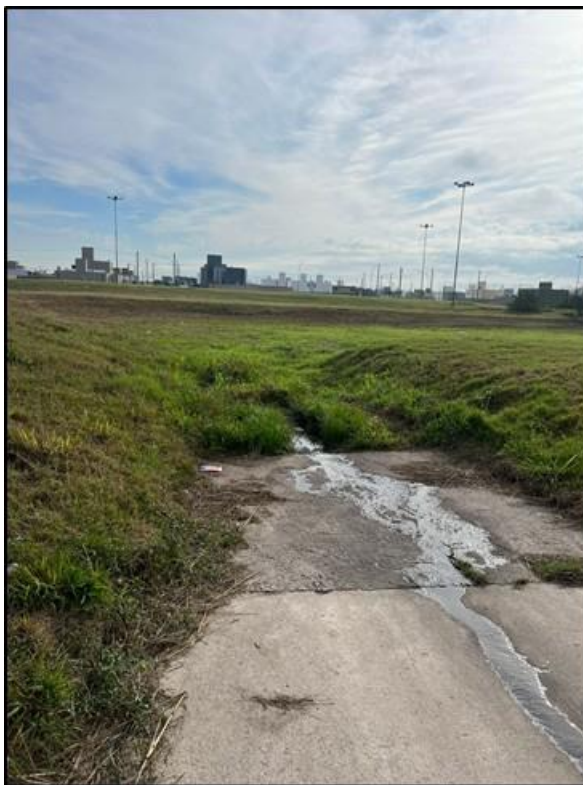


Figura 32 - Obra de ingreso de laguna de retención 2

No se identificó ningún vertedero ni descargador de fondo, por lo que se puede deducir que se trata de una laguna de infiltración.

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 136 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.3. Laguna de retención 3



Figura 33 - Laguna de retención 3

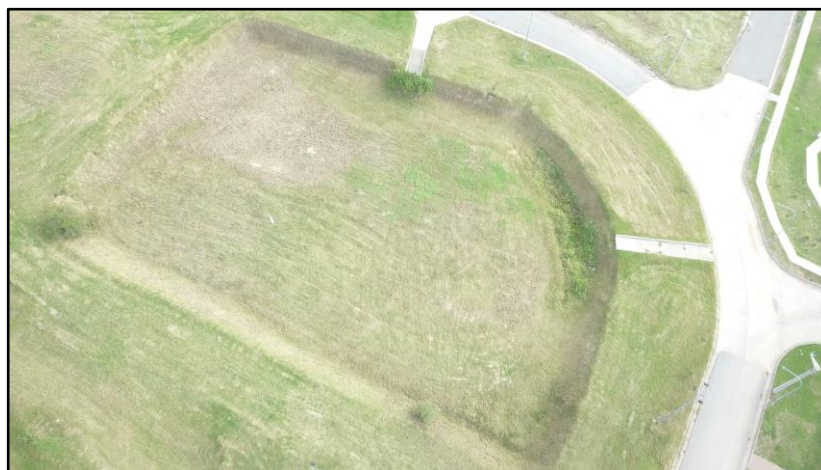


Figura 34 - Laguna de retención 3

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 137 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Cubre una superficie total de 3.000 metros cuadrados y un volumen de 5.400 metros cúbicos aproximadamente. Cuenta con un canal de entrada de forma compuesta: tiene un ancho de entrada de 10 metros, luego de 4 metros de extensión, la sección disminuye a 2,45 metros de ancho y, luego de 9 metros de extensión, llega a los 2 metros de ancho:



Figura 35 - Obra de ingreso de laguna de retención 3

En cuanto a la descarga, se identificó un vertedero de 1,05 metros de ancho, junto a un descargador circular (orificio) de 20 centímetros de diámetro:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 138 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 36 - Obra de egreso (vertedero) de laguna de retención 3

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 139 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 37 - Obra de egreso (orificio) de laguna de retención 3

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 140 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.4. Laguna de retención 4



Figura 38 - Laguna de retención 4

Cubre una superficie aproximada de 650 metros cuadrados y un volumen total de 353 metros cúbicos aproximadamente. Cuenta con dos canales de ingreso: el primero tiene 1,4 metros de ancho de 8 metros de largo; el segundo, es de 1,6 metros de ancho y tiene un largo de 5 metros:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 141 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 39 - Obra de ingreso 1 de laguna de retención 4

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 142 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 40 - Obra de ingreso 2 de laguna de retención 4

Para la descarga, se identificó un vertedero rectangular de 1,3 metros de ancho con una longitud de 4 metros. Cabe destacar que, a la mitad de la extensión, se encuentra un “salto” de 25 centímetros de altura. Por otro lado, se identificó un descargador de 20 centímetros de diámetro:

A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 143 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 41 - Obra de egreso de laguna de retención 4

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 144 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.5. Laguna de retención 5



Figura 42 - Laguna de retención 5

La superficie de esta laguna es de aproximadamente 5.000 metros cuadrados y un volumen total de 2.623 metros cúbicos aproximadamente. Cuenta con un canal de entrada en forma trapezoidal de 7 metros a 1,4 metros de ancho a lo largo de 9 metros de longitud.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 145 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 43 - Obra de ingreso de laguna de retención 5

La obra de salida, se trata de un pequeño vertedero de 80 centímetros de ancho junto a un conducto de 20 centímetros de diámetro: A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 146 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 44 - Obra de egreso de laguna de retención 5

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 147 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.6. Laguna de retención 6

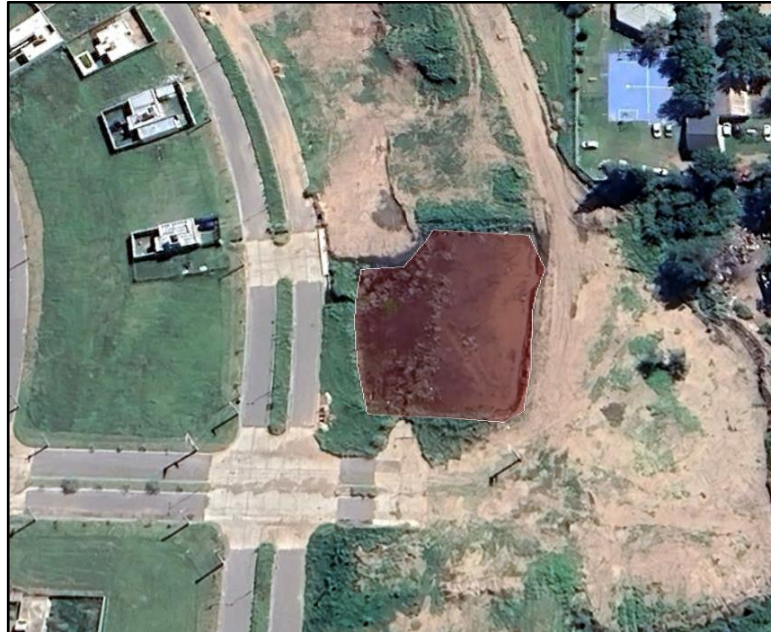


Figura 45 - Laguna de retención 6

Cubre una superficie aproximada de 1.600 metros cuadrados y un volumen total de 2.120 metros cúbicos aproximadamente. Cuenta solo con una entrada, es decir, trabaja como una laguna de infiltración. En cuanto a las características geométricas de la misma, es un canal de 1 metro de ancho con una longitud de 12 metros:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 148 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 46 - Obra de ingreso de laguna de retención 6



Figura 47 - Obra de ingreso de laguna de retención 6

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 149 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.7. Laguna de retención 7



Figura 48 - Laguna de retención 7

Cubre una superficie aproximada de 1.200 metros cuadrados y un volumen total de 1.578 metros cúbicos. Cuenta un canal de entrada y que tiene un ancho de 6 metros y luego de 7 metros de extensión, alcanza los 2,5 metros de ancho (forma trapezoidal).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 150 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 49 - Obra de ingreso de laguna de retención 7

La descarga se realiza mediante un vertedero de 1,95 metros de ancho y un largo de 15 metros, junto a un tubo de 20 centímetros de diámetro. A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 151 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 50 - Obra de egreso de laguna de retención 7

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 152 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.8. Laguna de retención 8



Figura 51 - Laguna de retención 8

Cubre una superficie total de 2.000 metros cuadrados y un volumen de 1.532 metros cúbicos aproximadamente. Tiene un canal de entrada de 2,2 metros de ancho y 12 metros de longitud.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 153 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

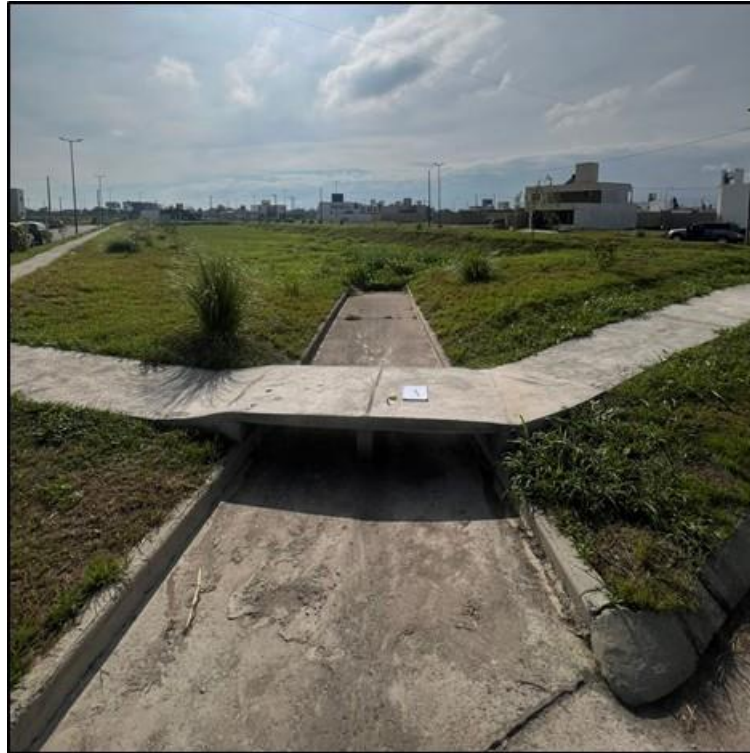


Figura 52 - Obra de ingreso de laguna de retención 8

Para la descarga, cuenta con un vertedero de 1,8 metros de ancho y un descargador de 20 centímetros de diámetro. A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 154 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 53 - Obra de egreso de laguna de retención 8

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 155 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.9. Laguna de retención 9



Figura 54 - Laguna de retención 9

Cubre una superficie total de 2.160 metros cuadrados y un volumen total de 1.700 metros cúbicos aproximadamente. Cuenta con 2 canales de entrada: Uno es de 1,85 metros de ancho y 5 metros de longitud; el otro es de 1,9 metros de ancho y 6 metros de largo. A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 156 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 55 - Obra de ingreso 1 de laguna de retención 9

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 157 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 56 - Obra de ingreso 2 de laguna de retención 9

Para la descarga, cuenta con un vertedero de 1,7 metros de ancho y una longitud de 8 metros.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 158 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 57 - Obra de egreso de laguna de retención 9

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 159 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.10. Laguna de retención 10



Figura 58 - Laguna de retención 10

Cubre una superficie total de 2.350 metros cuadrados y un volumen de 2.263 metros cúbicos. Cuenta únicamente con un canal de entrada, sin obra de descarga, de este modo, trabaja como una laguna de infiltración. Dicho canal es de forma trapezoidal que inicia con 7 metros de ancho y, luego de 6 metros de longitud, se reduce a 2 metros de ancho.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 160 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 59 - Obra de ingreso de laguna de retención 10

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 161 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.1.3.3.11. Laguna de retención 11



Figura 60 - Laguna de retención 11

Cubre una superficie total de 450 metros cuadrados y un volumen de 810 metros cúbicos. Cuenta únicamente con un canal de entrada de forma rectangular de 2 metros de ancho y 12 metros de longitud.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 162 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Como obra de descarga, cuenta con un vertedero de 1,8 metros de ancho y un descargador de 20 centímetros de diámetro. A este tipo de lagunas las reconoceremos como: “Laguna de retención”.

Por su parte, la cobertura de la misma es vegetal (pasto),

II.2. Modelación de estado urbanizado

El objetivo del siguiente título es obtener un modelo hidráulico de la urbanización en su totalidad. Para llevarlo a cabo, en primera instancia, se debe conocer la topografía de la zona de estudio, esto implica, en definitiva, la obtención de las curvas de nivel.

Dichas curvas, en el presente trabajo, se obtendrán mediante un modelo digital de elevación georreferenciado que será útil, además, para el modelado de las diferentes lagunas de retención encontradas en la urbanización.

Entonces, el procedimiento para generar los modelos digitales de elevación, posteriormente, las curvas de nivel del barrio y, por último, el modelo hidráulico de la zona de estudio, es el siguiente:

1. Realizar el relevamiento fotogramétrico con Drone.
2. Procesar los videos con el software iTwin Capture y obtener el modelo digital de elevación.
3. Importar los modelos al software QGIS y obtener curvas de nivel.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 163 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4. Exportación de curvas a AutoCAD: demarcación y caracterización de cuencas e identificación de elevaciones.
5. Modelado del barrio en EPA SWMM.

II.2.1. Relevamiento fotogramétrico con Drone

La fotogrametría se realizó con dos equipos: DJI Mavic Pro y DJI Mini 2 SE. En cuanto a las características principales de vuelo:

- La altura de vuelo promedio fue de 55 metros.
- El ángulo de la cámara fue de 15° respecto a la vertical.
- Metodología general: realizar un mínimo de dos pasadas en un mismo punto en direcciones opuestas.

En este caso, se decidió realizar los relevamientos a través de videos y no fotografías. Luego, en el software de procesamiento, se dividirán estos videos en frames. Esto permitió agilizar considerablemente la tarea, no obstante, los videos no guardarán la georreferenciación de los puntos, por lo que será necesario colocar puntos de control. La geolocalización de dichos puntos se realiza mediante el software Google Earth.

Entonces, se llevaron a cabo un total de 7 (siete) vuelos, lo que resultó en la misma cantidad de videos a post-procesar. El área cubierta por todos los videos incluye a todas las lagunas de la urbanización y la mayor cantidad de calles aledañas a estas, es decir, no se levantó la totalidad del barrio sino solo las áreas de mayor interés. Esto último hará necesario complementar los modelos que se obtengan de estos levantamientos con otro que cubra toda el área de estudio.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 164 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Cada video dará como resultado a un modelo del área que incluya el vuelo y, en principio, se encuentra 'separado' de los otros, pero mediante la correcta georreferenciación, se podrán unir y conformar un solo modelo digital de elevación que cubra toda el área de estudio.

II.2.2. Procesamiento y modelos digitales en iTwin

Para generar los modelos digitales de elevación, se utilizó el software iTwin Capture de Bentley. Aquí, el procedimiento es el siguiente:

1. Se importa cada uno de los 7 (siete) videos realizados y se transforman en fotografías a partir de los frames: es necesario fijar un intervalo de tiempo en segundos entre cada fotografía, esto definirá la superposición de imágenes que se obtendrán mediante los videos. Este intervalo depende de la velocidad de vuelo y cuanta superposición se busca. Generalmente ronda entre 1 y 1,5 segundos, para este trabajo se utilizó 1,2 segundos.

Cada grupo de videos se denomina 'Block' en el programa. Los siete videos se agruparon en tres 'Block' distintos, cada uno de estos será un modelo digital de elevación en sí mismo. La lógica para agrupar los vídeos es sencilla: si existe área común entre dos videos, entonces se puede agrupar y formarán un mismo modelo.

2. Se realiza una aerotriangulación de cada 'Block' antes realizado. Aquí el software calcula la posición y orientación de cada fotograma, vinculándolos entre sí mediante puntos homologables para reconstruir con precisión la geometría espacial del área relevada.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 165 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Cabe mencionar que puede ser necesario realizar varias aerotriangulaciones del mismo 'Block'. De esta forma aumenta la precisión del modelo notablemente.

3. Lo que debe realizarse ahora es, a cada 'Block' (aerotriangulado), georreferenciarlo mediante puntos de control.

Se deben colocar por lo menos tres puntos de control en cada modelo para generar una triangulación en la etapa de post-procesado y, por tanto, una georreferenciación precisa. En este caso, se optó por colocar al menos cuatro debido a la extensión de la zona modelada. Las coordenadas de estos fueron extraídas desde Google Earth.

Dichos puntos corresponden a postes de luces, vértices de esquinas de ángulos cerrados o algún elemento que pueda apreciarse correctamente desde Google Earth y en los videos tomados.

A modo de ejemplo, en la Figura 61 se puede observar un punto de control de uno de los modelos que, en este caso, se trata de la base de un poste de luz.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 166 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

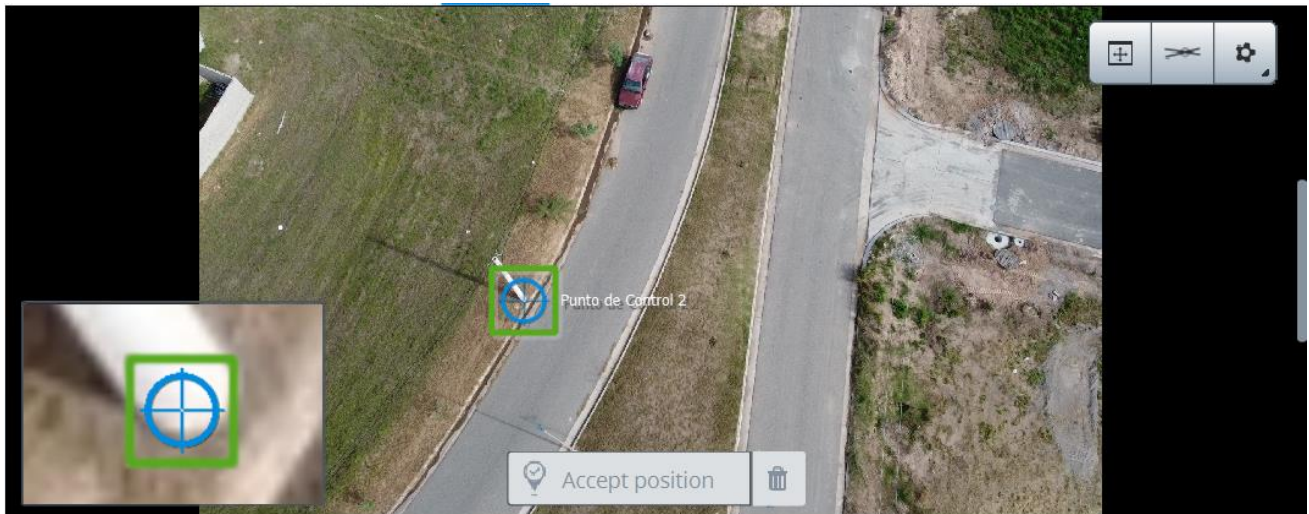


Figura 61 - Frame con punto de control visible

Luego, se deben seleccionar la mayor cantidad de frames en donde sea visible el mismo elemento, colocar el cursor sobre el mismo y aceptar la posición. Lo recomendable es tener por lo menos 3 frames con el punto de control, no obstante, para mejor precisión, se decidió colocar el punto en cada frame en el que sea visible. Entonces, para el caso visto en la imagen, por ejemplo, se colocó veintitrés veces.

El resultado de esto se puede observar en la Figura 62, donde se observan todas las triangulaciones que el software realiza luego de la colocación del punto de control en el modelo.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 167 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

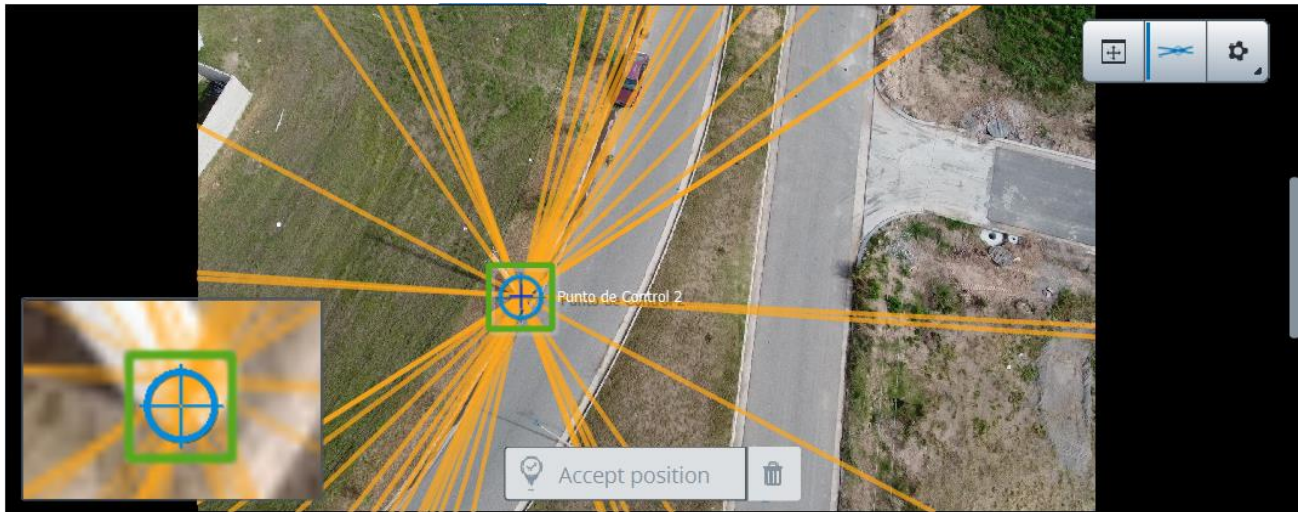


Figura 62 - Punto de control triangulado con los demás de un modelo

Un detalle importante a tener en cuenta en esta instancia es que, en la creación de cada punto de control, es necesario seleccionar el correcto sistema de referencia en la pestaña “Coordinate” observada en la Figura 63.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 168 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Name:	<input type="text" value="Punto de Control 1"/>
Type:	<input type="text" value="Control Point"/>
Check Point:	<input type="checkbox"/>
Coordinate:	<input type="text" value="WGS 84, orthometric height (MSL) geoid EG"/>
Longitude:	<input type="text" value="-64.22331000"/>
Latitude:	<input type="text" value="-31.48464800"/>
Height:	<input type="text" value="466.00000000"/>

Figura 63 - Datos de cada punto de control

En este caso, se utiliza el sistema WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial 1984), orthometric height (MSL) geoid EGM96, ya que es el sistema de referencia que utiliza Google Earth tanto para Latitud y Longitud como Altitud.

Este sistema no solo permitirá geoposicionar al modelo correctamente sino también que todas las dimensiones del mismo estén en metros, siendo posible medir ciertas variables útiles como superficie y volumen de las lagunas de retención.

Finalmente, la Figura 64 muestra uno de los modelos con la posición de los puntos de control previo a la reconstrucción 3D:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 169 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

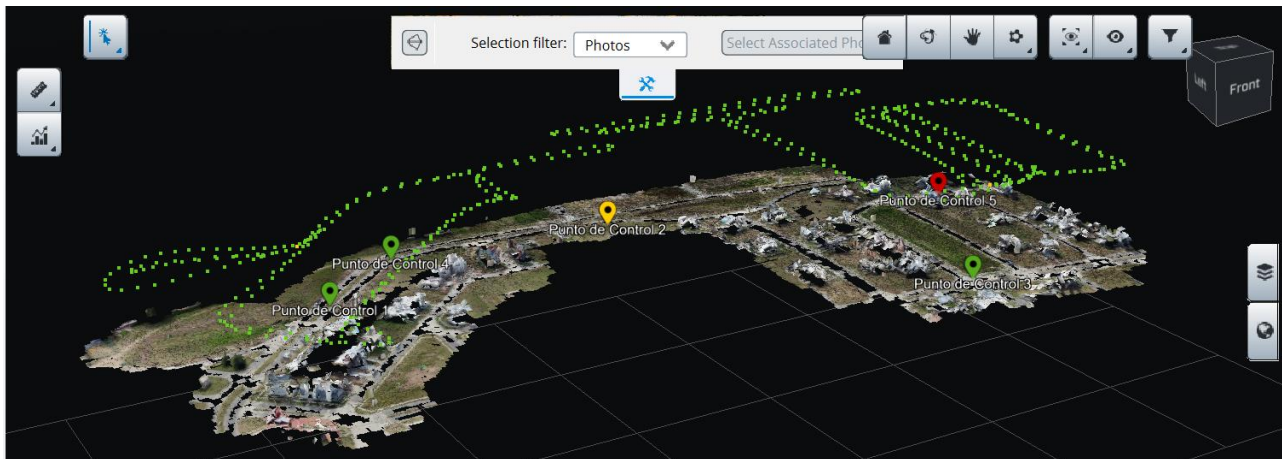


Figura 64 - Modelo previo a la reconstrucción 3D con sus puntos de control

- Una vez se finaliza con la georreferenciación del modelo, es posible generar la reconstrucción 3D del mismo, el cual es un archivo DEM que luego podrá ser exportado a QGIS en forma de raster.

Tal como se mencionó anteriormente, se agruparon los videos en tres 'Block' distintos y, por tanto, se obtuvieron 3 modelos digitales de elevación separados, cada uno georreferenciado.

Las siguientes figuras muestran el resultado de la reconstrucción 3D para los tres modelos realizados.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 170 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

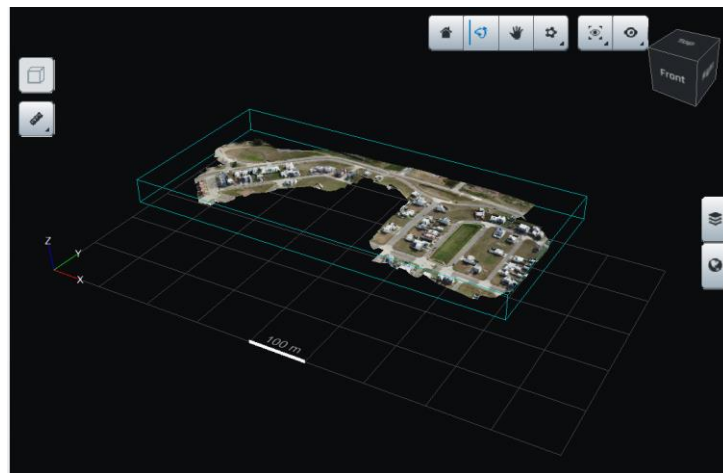


Figura 65 - Reconstrucción 3D de modelo: zona norte

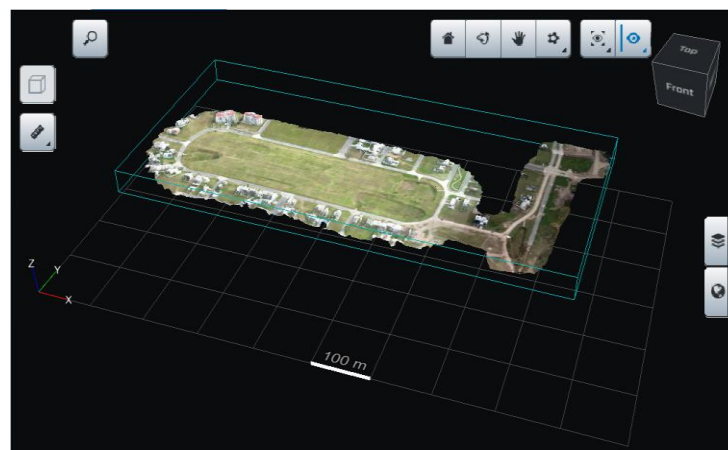


Figura 66 - Reconstrucción 3D de un modelo: zona centro

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 171 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

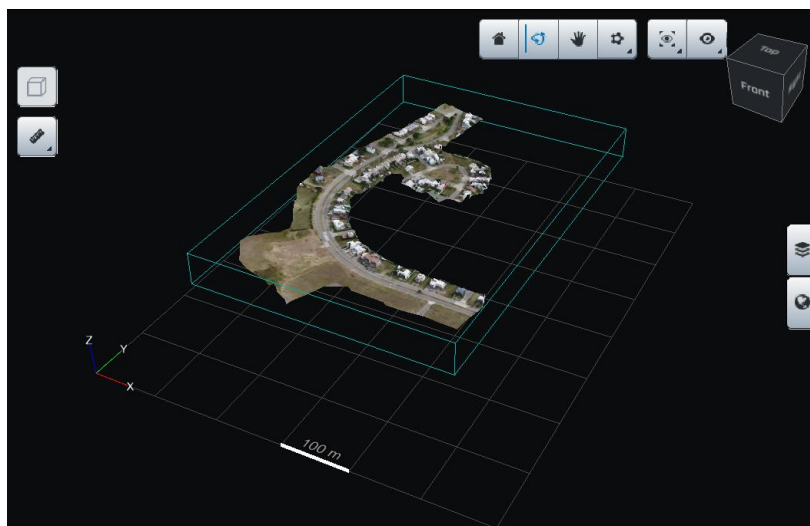


Figura 67 - Reconstrucción 3D de modelo: zona oeste

En síntesis, entonces, se han convertido los videos realizados en campo en modelos digitales de elevación los cuales son, en definitiva, archivos DEM, cada uno correctamente georreferenciado. En el título siguiente se describe cómo trabajar con estos modelos.

II.2.3. Obtención de curvas de nivel en QGIS

Lo siguiente consta en importar los modelos obtenidos en iTwain Capture al software QGIS, este último permite realizar curvas de nivel de forma sencilla. Sin embargo, como se mencionó, es necesario complementar a estos con un modelo más allá de la superficie que se ha relevado con Drone. Para esto, se exportó un modelo digital de elevación realizado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) realizado en diciembre del año 2014 a partir de una serie de vuelos fotogramétricos realizados con un sistema aero-fotogramétrico digital compuesto por: a) Una cámara marca Vexcel modelo UltraCam Xp, b) Una unidad de

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 172 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



medición inercial (IMU, por su sigla en inglés), c) Una plataforma giroestabilizadora sobre la cual se monta la cámara solidariamente, y d) Un equipo GNSS de doble frecuencia instalado en el fuselaje del avión, entre otros.

A continuación, se pueden observar las características técnicas del MDE determinado por el IGN:

Tabla 4 - Características técnicas del modelo IGN

Características técnicas del modelo	
Resolución espacial	5 metros
Marco de referencia geodésico	POSGAR 07
Sistema de referencia vertical	Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16)
Unidades verticales	Metro
Formato	IMG (32 bits flotante)

El siguiente mapa muestra el cubrimiento del relevamiento realizado por el IGN:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 173 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

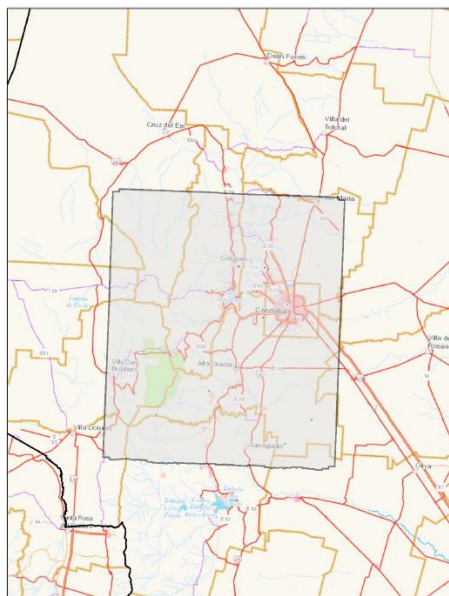


Figura 68 - Mapa de cubrimiento del modelo digital de elevación IGN

Hecho esto, en esta instancia, en QGIS, se tienen cuatro capas raster: tres modelos de alta precisión obtenidos con Drone (georreferenciados) los cuales rodean a las lagunas de retención y un modelo digital de elevación realizado por el IGN. Es necesario, entonces, combinar todas estas capas. Para ello se utiliza un comando propio del software. En la Figura 69 se observa el resultado de dicha combinación:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 174 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 69 - Capa raster combinada

Por último, se generan curvas de nivel de este modelo combinado. Para este caso, una equidistancia de 0,2 metros es la más adecuada para la interpretación del drenaje del barrio, ya que se trata de una zona sin muchos desniveles. La Figura 70 muestra es el resultado obtenido en QGIS:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 175 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

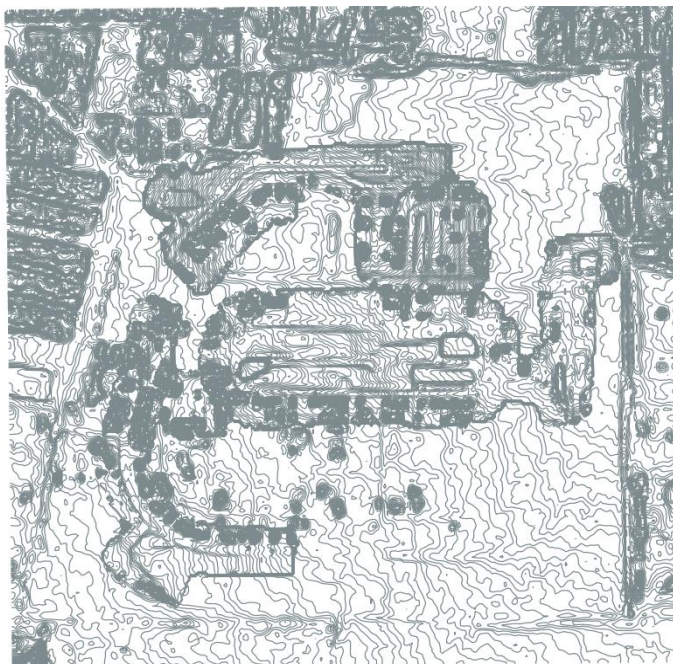


Figura 70 - Curvas de nivel (equidistancia 0,2 metros)

Aquí se observan 2 problemas:

Por un lado, en los bordes de los modelos obtenidos con Drone existe un salto/ desnivel importante debido a que allí la cantidad de puntos y la superposición de imágenes es mucho menor, por tanto, las superficies se interpolan de manera menos confiable y precisa. Contrario a lo que sucede en el centro de la zona cubierta por fotos, allí existe mucha superposición entre imágenes y la triangulación es robusta. Sin embargo, este problema no es grave ya que inmediatamente después del borde, ya sea hacia el modelo de Drone o del IGN, la precisión es buena. Por tanto, se despreciará solo esa zona del modelo a la hora de analizar y determinar los niveles del terreno. En caso de que se encuentre el borde justo en un punto

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 176 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



clave a determinar su nivel (por ejemplo, una esquina), se utilizará el nivel dado por el modelo del IGN.

Por otra parte, las edificaciones representan un desnivel muy importante en todos los modelos, lo cual puede distorsionar las curvas de nivel y dificultar el análisis. Para suavizarlas, es posible utilizar la herramienta 'DTM Filter', en el propio software. Esta herramienta, además, colaborará con suavizar las pendientes elevadas que existen en los bordes de los modelos antes mencionados. El resultado se observa en la Figura 71.



Figura 71 - Curvas de nivel suavizadas (0,2 metros)

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 177 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



II.2.4. Demarcación y caracterización de cuencas

Habiendo realizado lo anterior, ahora es posible exportar las curvas de nivel generadas al software AutoCAD y allí comenzar a demarcar y caracterizar las cuencas de aporte de la urbanización y, por otro lado, identificar la elevación de los encuentros de las calles y las obras de ingreso y egreso de las lagunas.

Aquí el objetivo es determinar hacia donde escurre el agua que cae en cada superficie del barrio, por tanto, es necesario comprender cómo se resolvieron los desagües pluviales de cada vivienda. Al tratarse de una zona de poca pendiente, todas las viviendas se encuentran elevadas del cordón cuneta y eliminan sus desagües pluviales hacia la calle ubicada al frente de cada parcela. Por lo tanto, las medianeras de los lotes internos de cada manzana son líneas divisorias de aguas y, entonces, límites de una subcuenca.

De esta manera, se obtuvieron las subcuencas en cada una de las manzanas de la urbanización y, a partir del análisis de las pendientes longitudinales de las calles se determinaron las cuencas generales que hacen a la totalidad del barrio. De todas formas, se trabajará con las subcuencas, no con las cuencas generales.

Se obtuvieron un total de 282 subcuencas. El Plano N° 2 del Anexo 2 muestra la totalidad de estas trazadas en la urbanización.

Ahora bien, una vez determinadas las mismas, deben caracterizarse. Para esto, es importante fijar los dos parámetros siguientes:

- **Área:** Para la determinación de las áreas de las subcuencas debe considerarse el área propiamente dicha de la subcuenca en cuestión sumado al área correspondiente a la

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 178 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



calle aledaña a dicha subcuenca. Teniendo en cuenta que el ancho total de la calle es de 7 metros, se toma un “ancho colaborativo” de 3,5 metros y se lo multiplica por la longitud correspondiente (el lado de contacto entre la subcuenca y la calle en cuestión). Metodológicamente, se mide el área de la subcuenca en el programa AutoCAD, se calcula el área contribuyente de la calle aledaña (multiplicando el ancho de 3,5 metros por la longitud correspondiente), y finalmente se suman las dos áreas para obtener el “Área final de la subcuenca”.

- Longitud de cauce principal: se trata de la distancia más larga que recorre el agua desde el punto más alejado del escurrimiento superficial (ubicado en la divisoria de aguas) hasta la salida o punto de control de la cuenca (generalmente donde se mide el caudal o descarga). Al tratarse de cuencas urbanas, este se determinará en función de la morfología de la misma; deberá analizarse cada caso en particular.
- Ancho hidráulico efectivo de subcuenca (W): Para determinar este parámetro, se hace el cociente entre el área de la subcuenca anteriormente determinado y la longitud del cauce principal.
- Valor CN: Una vez determinada las áreas de subcuencas, calles y áreas finales de las mismas, corresponde caracterizar cada una de las subcuencas con el valor del índice numérico que expresa la capacidad del terreno para generar escorrentía a partir de una lluvia, conocido como “Curva Número” (CN) según la metodología propuesta por el SCS (Soil Conservation Service). De esta manera, valores de CN bajos corresponden a suelos que no tienen escorrentía superficial (es decir, altamente permeables), mientras que valores altos de CN se asocian a suelos que tienen escorrentías altas (es decir, altamente impermeables). La Tabla 5 ya ha sido presentada con anterioridad en el presente trabajo, no obstante, se recupera en esta

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 179 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



instancia para consultar a ella rápidamente. Aquí pueden observarse los valores de CN recomendados por el SCS, para diferentes usos de suelo y tipos de suelos.

Tabla 5 - Parámetro CN según tipo y uso de suelo - Fuente: Soil Conservation Service

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 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
Parqueadores 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

Ahora bien, como el área total ("Área final") de la subcuenca está compuesta por el área del lote de la vivienda propiamente dicha y por el área de la calle aledaña, se opta por

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 180 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



determinar el valor de CN final de la subcuenca realizando una ponderación en función de porcentaje de las áreas ocupadas.

Particularmente, para el caso de estudio los valores de CN a utilizar depende, en primer lugar, del tipo de suelo: Como la zona de estudio se encuentra en el Sur de la Ciudad de Córdoba, se considera un suelo tipo C tal como se presenta en el título 'Método SCS para la estimación de escurrimiento' los cuales corresponden a suelos barrosos, con tenor de arcilla del 20 al 30%, pero sin capas arcillosas impermeables o contenido piedras hasta la profundidad de 1,2m. En el caso de tierras rojas, estos límites máximos pueden ser de 40% y 1,5 m. Capacidad de infiltración abajo de la media.

En segundo lugar, el CN depende también del tipo de uso de suelo analizado. En este caso, tendremos tres tipos de uso de suelo distintos, que será importante conocerlos para luego realizar la ponderación en función de las áreas:

- *Para la calle:* Se utiliza un CN = 98
- *Para los lotes de viviendas,* al tratarse de lotes con superficie menor a $\frac{1}{8}$ de Acre:
CN = 90
- *Para los parques (espacios verdes):* CN = 74

Este procedimiento se aplica para las 282 subcuencas, y los resultados pueden encontrarse en Anexo 1.

II.2.5. Modelación hidrológica del barrio en EPA SWMM

Hasta esta instancia, se cuenta con: información de las obras de drenaje existentes en el barrio, curvas de nivel, con estas, elevaciones de puntos característicos (entradas, salidas

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 181 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



de lagunas de retención y encuentros de calles), y todas las subcuencas que integran al sistema de drenaje identificadas y caracterizadas. Con esto es posible comenzar con la modelación de la urbanización en un software de modelado correspondiente.

Se utiliza el software EPA SWMM para la modelación hidrológica de la urbanización. Un software desarrollado en 1971 por la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos como una herramienta de simulación hidrológica e hidráulica para sistemas de drenaje urbano.

Para el desarrollo de esta tarea, en primer lugar, se ingresa una imagen formato 'png' (georreferenciada) del plano de la urbanización con las subcuencas, calles y lagunas demarcadas que servirá de guía para la colocación de las áreas de aporte de subcuencas (subcatchments), los lugares de recibimiento del aporte (junctions), las calles que serán modeladas como conductos (conduits) y los puntos de salida de la escorrentía (out).

II.2.5.1. Subcuencas

Para la modelación de las subcuencas, debe dibujarse su geometría (utilizando la imagen de fondo de guía) y luego determinar sus propiedades. Estas últimas son variadas, a continuación, se describe cada una de estas:

- Área (ha): Superficie total de la subcuenca.
- Width (m): Representa el ancho hidráulico efectivo de la subcuenca.
- % Slope: Pendiente media de la subcuenca en porcentaje. Controla la velocidad de escorrentía superficial.
- % Imperv: Proporción de la superficie que es impermeable (ej. techos, pavimento). Afecta la generación de escorrentía.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 182 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- N-Imperv: Rugosidad hidráulica de las superficies impermeables. Valores bajos suponen superficies lisas (asfalto), mientras que valores altos suponen superficies más rugosas.
- N-Perv: Rugosidad de las superficies permeables (césped, tierra).
- Dstore-Imperv: Profundidad máxima de agua que se acumula en depresiones de la zona impermeable antes de escurrir.
- Dstore-Perv: Similar al anterior, pero en zonas permeables.
- %Zero-Imperv: Porcentaje de superficie impermeable que no retiene agua (ej. techos con desagüe directo).
- Infiltration Model: Corresponde al modelo de infiltración que utilizara el software. Aquí tenemos varios para seleccionar: Horton, Modified Horton, Green AMPT, Modified Green AMPT y Curve Number.
- Rain gage: es el pluviómetro, pueden asignarse el mismo pluviómetro para distintas cuencas.
- Outlet: Corresponde a la salida donde evacua la subcuenca, permite “conectar”, la subcuenca con la línea de conductos mediante el outlet.

Ahora bien, del total de las propiedades mencionadas anteriormente, existen algunas que son comunes a todas las subcuencas del barrio. Estas, junto a los valores que se utilizarán en el presente trabajo, son (ver Tabla 6):

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 183 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 6 - Parámetros comunes para subcatchment

Parametros para EPPA SWMM	
% Imperv	70%
N-Imperv	0,01
N-Perv	0,035
DStore-Imperv	0.05
DStore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	0%

Observaciones importantes:

- ❖ Se adopta un valor de “%Imperv” igual al 70%, entendiendo que el F.O.S correspondiente en la zona de estudio es, también, del 70%. En este sentido, se estaría modelando en la situación más desfavorable posible.

Ciertamente, este valor puede calibrarse de mejor manera, conociendo los eventos de lluvia y control de escorrentía. Como este no es el caso, se adopta el valor del 70%.

Es importante aclarar que este valor corresponde únicamente a las cuencas urbanizadas, para los espacios verdes del barrio, se coloca un valor igual a 0 (cero).

- ❖ Por otro lado, se considera que el área impermeable corresponde al asfalto de la carpeta de rodamiento (Manning de 0,01), y el área permeable corresponde a suelo natural recubierto de pasto (Manning de 0.035).
- ❖ Luego, para los valores del parámetro “DStore-Imperv” y “DStore-perv” se adopta un valor de 0.05.
- ❖ El % Zero-Imperv es igual a 0 ya que ya se ha contemplado todas las superficies impermeables con el % de impermeabilidad igual al F.O.S. de la zona de estudio.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 184 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Por otra parte, otras propiedades de las cuencas deberán ser ingresadas manualmente de forma particular, ya que EPA SWMM coloca parámetros por defecto una vez creada la misma. Estos parámetros son:

- Área (ha).
- Ancho de cuenca, Width (m).
- Outlet
- Valor de Curva Número dentro de la pestaña “Infiltration model”.

A modo de ejemplo, en las siguientes figuras se observa los parámetros de la subcuenca “S1”:

Subcatchment S1	
Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	4383550.747
Y-Coordinate	6516567.846
Description	
Tag	
Rain Gage	*
Outlet	j1
Area	0.136
Width	55.3
% Slope	1
% Imperv	70
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.035
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	0
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Choice of internal routing between pervious and impervious sub-areas	

Figura 72 - Parámetros de subcuenca 1

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 185 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Property	Value
Curve Number	94.1
Conductivity	0.5
Drying Time	7

SCS runoff curve number

OK Cancel Help

Figura 73 - Editor de infiltración subcuenca 1

En la Figura 74 se observa la totalidad de las subcuencas modeladas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 186 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

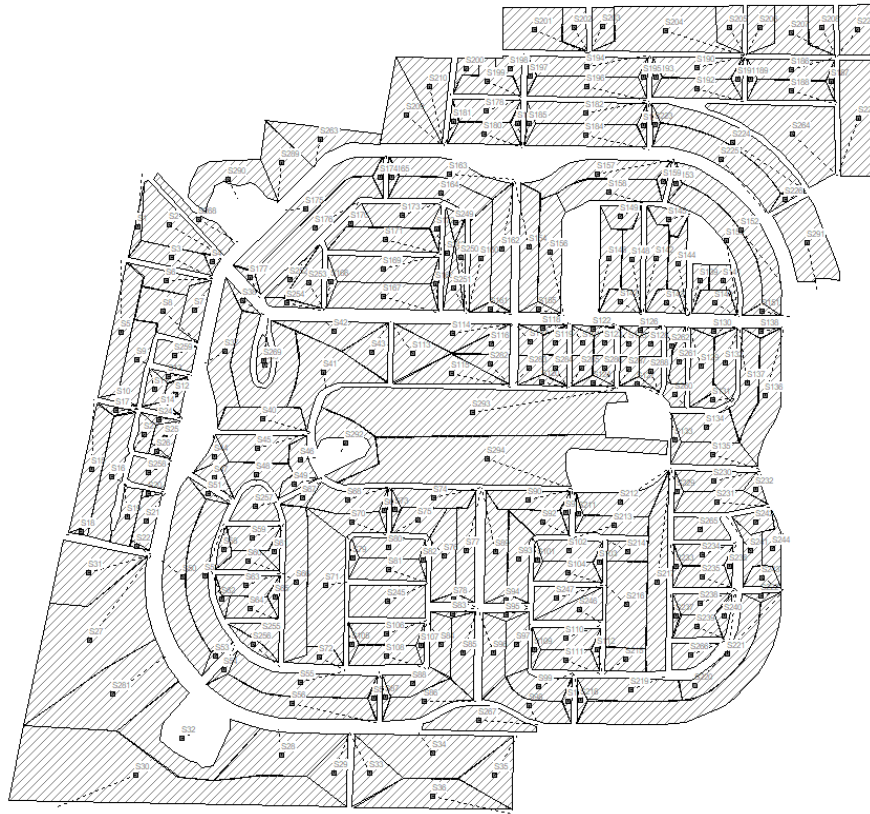


Figura 74 - Totalidad de las subcuencas modeladas

II.2.5.2. Nodos y conductos

Una vez definida las subcuencas, se deben dibujar e ingresar los parámetros para los nodos y las conexiones (links) entre los mismos: En primer lugar, se entiende como nodo a

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 187 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



los puntos donde se concentra el agua (puntos de acumulación, entradas, salidas, almacenamiento) y, por otro lado, se entiende como link/conduit a los elementos que conectan los nodos (tuberías, canales, bombas, etc.).

Entonces, los parámetros por defecto a ingresar antes de modelarlos son:

- Node invert (m): Cota del fondo del nodo (nivel de entrada de las tuberías).
- Node max depth (m): Altura máxima desde la solera hasta la superficie del terreno.
- Node ponded área (m²): Área superficial disponible para almacenar agua si el nodo se inunda.
- Conduit length (m): Longitud del conducto. Se determina automáticamente al estar georeferenciado el software.
- Conduit geometry: Forma geométrica de la sección transversal del conducto.
- Conduit roughness: Rugosidad de manning del conducto.
- Routing method: Es el método de “encaminamiento”, basado en algoritmos que simulan el comportamiento del agua en el modelo. Distintas metodologías consideran distintos fenómenos que actúan sobre la masa de agua en movimiento (flujo, presión, remanso, etc.), de manera que existen algoritmos más precisos que otros.

Para ingresar la sección de la calle dentro del parámetro “Conduit geometry”, se selecciona la opción “Street” de manera que, en la misma, pueden ingresar todas las dimensiones de la sección tipo. Aquí se colocan las dimensiones relevadas en campo, las cuales fueron descritas en el apartado [‘Infraestructura’](#), siendo el ancho de las calles igual a 7 metros con un bombeo del 2%, el cordón de 0,15 metros de altura, la vereda un ancho de 2,5 metros y 2,5% de pendiente. Por su parte, la rugosidad de la calle es igual a 0.01

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 188 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



correspondiente al 'n de Manning' del asfalto y en la vereda igual a 0.035 correspondiente a terreno natural (suelo).

En la Figura 75 se observa la configuración de la sección de la calle en el software con todos los parámetros antes mencionados.

Figura 75 - Totalidad de las subcuencas modeladas

Por su parte, el parámetro 'Ponded Área' (Área de Inundación o Área Estancada) es un parámetro hidráulico que representa el área superficial horizontal disponible alrededor del nodo para el almacenamiento temporal de agua cuando el nivel supera la elevación de la corona del conducto.

Su función recae en que, cuando un nodo se sobrecarga y el agua comienza a inundar la superficie, esta área define la "huella" o superficie de inundación. Permite que el modelo

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 189 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



almacene el exceso de agua temporalmente en lugar de perderlo del sistema. Esta agua almacenada puede reingresar gradualmente a la red cuando el nivel en el nodo desciende.

En este caso, se asignó un valor de 10 m² en nodos seleccionados como parte del proceso de calibración. Esta configuración demostró ser efectiva para mejorar la estabilidad numérica del modelo al evitar la "pérdida" de volumen del sistema durante episodios de carga máxima.

De manera que, fijando todos estos valores, es posible comenzar a colocar los objetos anteriormente mencionados en el área de trabajo, tomando como referencia la distribución de subcuencas urbanas y elevaciones que se hizo en AutoCAD.

Una vez dibujados, se deberá colocar manualmente la altitud de cada uno de los nodos seleccionados ('Invert El.').

A modo de ejemplo, las propiedades del nodo 1 y los conductos son las siguientes figuras:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 190 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Junction J1	
Property	Value
Name	J1
X-Coordinate	4383556.560
Y-Coordinate	6516639.793
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	468.8
Max. Depth	0
Initial Depth	0
Surcharge Depth	1
Ponded Area	10
User-assigned name of junction	

Figura 76 - Parámetros de nodo 1

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 191 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Property	Value
Name	C1
Inlet Node	J1
Outlet Node	J2
Description	
Tag	
Shape	STREET
Max. Depth	0.150
Length	400
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Figura 77 - Parámetros de conducto 1 (calle)

II.2.5.3. Lagunas de retención

Una vez se han modelado las subcuencas, nodos y conductos y habiendo definido sus parámetros, es posible comenzar con la modelación de las lagunas de retención del área de estudio.

Las mismas se modelan como “Storage node”. La metodología es similar a la de una subcuenca: en primer lugar, se dibuja manualmente y, posteriormente, se colocan todas las propiedades correspondientes.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 192 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Dentro de estas, las necesarias a determinar son:

- **Invert Elevation:** es la cota del fondo de la laguna. La misma será extraída del modelo digital de elevación y sus correspondientes curvas de nivel.
- **Max Depth:** es la profundidad máxima de la laguna. Al igual que el punto anterior, el valor se conoce a partir del MDE.
- **Initial Depth:** es el nivel de agua inicial de la laguna. En este caso, todas las lagunas se encuentran vacías previo a las lluvias.
- **Evaporation Factor:** ajusta la tasa de evaporación aplicada a la superficie de la laguna. Debe considerarse igual a 0 para contemplar el escenario más desfavorable.
- **Seepage Loss:** representa la pérdida de agua de la laguna hacia el subsuelo por infiltración a través del fondo y las paredes. Aquí debe definirse el parámetro de infiltración del suelo. Se adoptó un valor de infiltración de 17 mm/h, correspondiente al promedio de los parámetros K medidos por Weber (2015) en distintas lagunas de retención del ejido urbano de la Ciudad de Córdoba.
- **Storage Shape:** es la forma de la laguna de retención. El software permite colocar distintas formas, las mismas se observan en la Figura 78. En este caso, a las lagunas se las modelará a partir de su curva Altura - Área, dentro de la pestaña "Tabular", del software. La misma se obtiene en función de las curvas de nivel del MDE y el detalle de estas pueden observarse en el Anexo 1.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 193 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

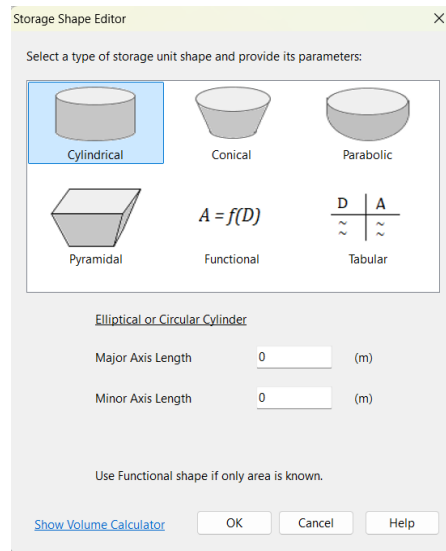


Figura 78 - Tipos de formas de laguna de retención

A modo de ejemplo, en las figuras siguientes se observan las propiedades de la laguna

1:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 194 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Storage Unit LR1	
Property	Value
Name	LR1
X-Coordinate	4383814.190
Y-Coordinate	6516276.678
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	465.6
Max. Depth	1.8
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Shape	TABULAR

Click to specify any external inflows received at the storage unit

Figura 79 - Parámetros de laguna 1

Storage Shape Editor

Select a type of storage unit shape and provide its parameters:

Cylindrical

Conical

Parabolic

Pyramidal

$A = f(D)$
Functional

D	A
~	~
~	~

Tabular

Table of Paired Depth and Surface Area Data

Storage Curve Name
LR1

[Show Volume Calculator](#) OK Cancel Help

Storage Curve Editor

Curve Name
LR1

Description
Laguna retención 1

	Depth (m)	Area (m ²)
1	0	127
2	0.2	422.28
3	0.4	688.45
4	0.6	889.02
5	0.8	1088.45
6	1	1259
7	1.2	1356.32
8	1.4	1410.2
9	1.6	1484.6
10	1.8	1528.34
11		

View... Load... Save... OK Cancel Help

Figura 80 - Parámetros de forma de laguna 1

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 195 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

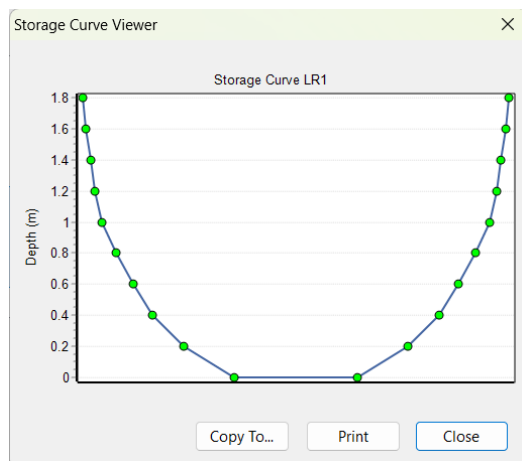


Figura 81 - Forma de laguna de retención 1

Por último, es necesario conectar a la laguna a la red antes modelada. Para ello, se distingue las obras de ingreso con las de salida.

II.2.5.3.1. Modelación obras de ingreso a lagunas de retención

Para conectar la laguna a la red, simplemente desde un nodo se dibuja un conducto (link) hacia la laguna. Las propiedades a definir en cada canal son:

- Geometría: sección del canal. Dependerá de lo relevado. Una gran parte de las obras de ingreso relevadas tienen sección variable, no obstante, el software no permite modelarlas de esta manera, por lo que, en estos casos, se utilizará un ancho promedio.
- Longitud.
- Rugosidad: corresponde al “n” de Manning del material. En este caso todos los canales existentes fueron realizados con hormigón por lo que se utilizará un “n” igual a 0,01.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 196 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Outlet offset: se refiere a la diferencia de altura entre el final del canal y el fondo de la laguna. Dicho parámetro se define en función de las curvas de nivel realizadas.

Por ejemplo, para la laguna de retención 3, se modela un conducto de sección rectangular (es la opción que más se asemeja a la realidad) de altura igual a 0,2 metros (altura del cordón relevada) y ancho constante de 4,8 metros. Este último es un promedio de los anchos del canal de ingreso mencionados en el apartado “Laguna de retención 3”.

En la Figura 82 se observa la laguna de retención 3 (LR3) antes mencionada y su conexión a la red mediante el nodo “J218”.

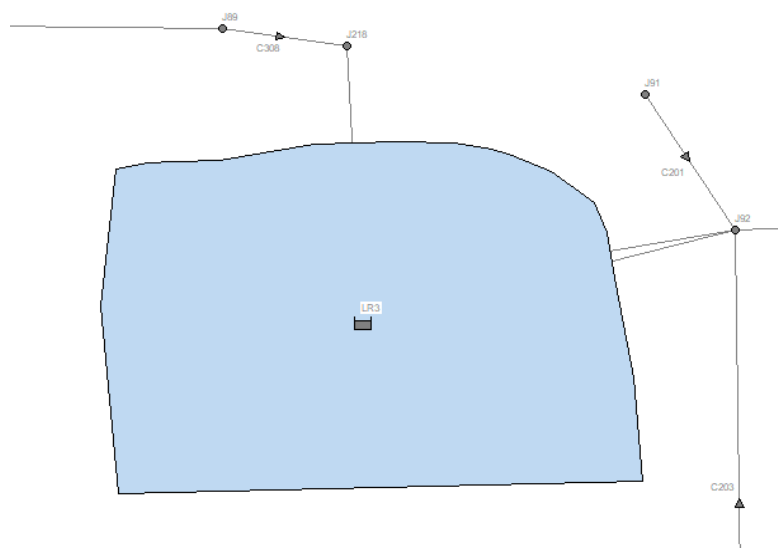


Figura 82 - Laguna de retención 3 (LR3) y su conexión a la red

Luego, en la Figura 83 se observa las propiedades del canal de ingreso de la laguna.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 197 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Conduit C309	
Property	Value
Name	C309
Inlet Node	J218
Outlet Node	LR3
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	0.2
Length	13
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	1.6
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Maximum flow allowed - use 0 if not applicable	

Figura 83 - Propiedades del canal de ingreso de la laguna de retención 3

II.2.5.3.2. Modelación obras de egreso a lagunas de retención

Las obras de egreso, tanto orificios como vertederos, se modela de forma separada. No obstante, de forma general, se coloca un elemento desde la laguna hacia un nodo del sistema, tal como se observa en la Figura 82 presentada anteriormente.

En el caso de un orificio, se debe definir:

- Type: 'SIDE' o 'BOTTOM'. Refiere a la posición del orificio respecto a la laguna de retención. En este caso, todos los conductos se ubican como descargadores laterales, por lo que serán tipo 'SIDE'.
- Shape: se refiere a la forma del orificio. En este caso, todos son de forma circular.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 198 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Height: para el caso de los orificios circulares, este parámetro se refiere al diámetro del conducto. En el caso presente, todos los orificios tienen el mismo diámetro (0,2 metros).
- Inlet Offset: se refiere a la diferencia de altura entre el fondo de la laguna y el inicio del orificio. Se determinará en función de las curvas de nivel de cada laguna en particular.
- Discharge Coeff: refiere al coeficiente de descarga del conducto. Para este caso se utilizará un coeficiente de descarga igual a 0,65.

Por otra parte, los parámetros a definir en el caso de los vertederos son:

- Type: Se refiere al tipo de vertedero. En todos los casos se usará el tipo "TRANSVERSE", correspondiente a un vertedero transversal, es decir, recto y perpendicular al flujo.
- Height: representa la altura de cresta del vertedero. En este caso, debido a la forma en la que fueron construidas estas obras, los vertederos no se definen por su altura sino por la diferencia de altura entre el fondo de la laguna y la cota del mismo. Entonces, se colocará un valor mínimo para que el modelo pueda correr sin marcar ningún error.
- Length: es el ancho del vertedero. Será definido en cada caso según lo relevado.
- Inlet Offset: es el mismo parámetro de lo mencionado anteriormente para los orificios.
- Discharge Coeff: es el coeficiente de descarga de cada vertedero. En este caso se utilizó un coeficiente de descarga igual a 1,4, valor recomendado para vertederos de cresta ancha canalizados, tal como los que se encuentran en la urbanización de estudio.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 199 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Repitiendo este procedimiento para las demás lagunas de la urbanización se obtiene un resultado observable en la Figura 84, aquí se tiene todo el sistema de nodos, calles y lagunas modeladas y conectadas.

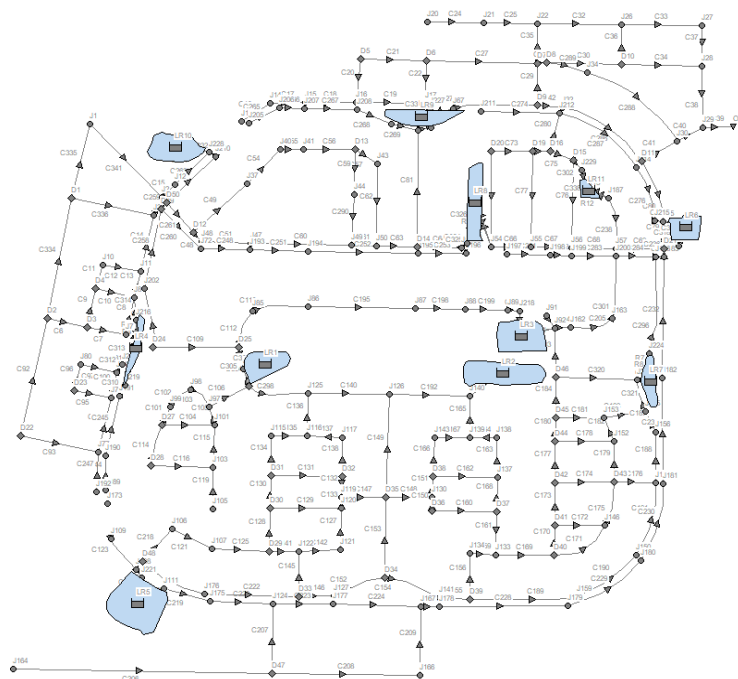


Figura 84 - Sistema de nodos, calles y lagunas de retención

II.2.5.4. Sistema global

Lo mencionado anteriormente se resume en la Figura 85 en donde se observa la totalidad del sistema de drenaje urbano de la zona de trabajo.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 200 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

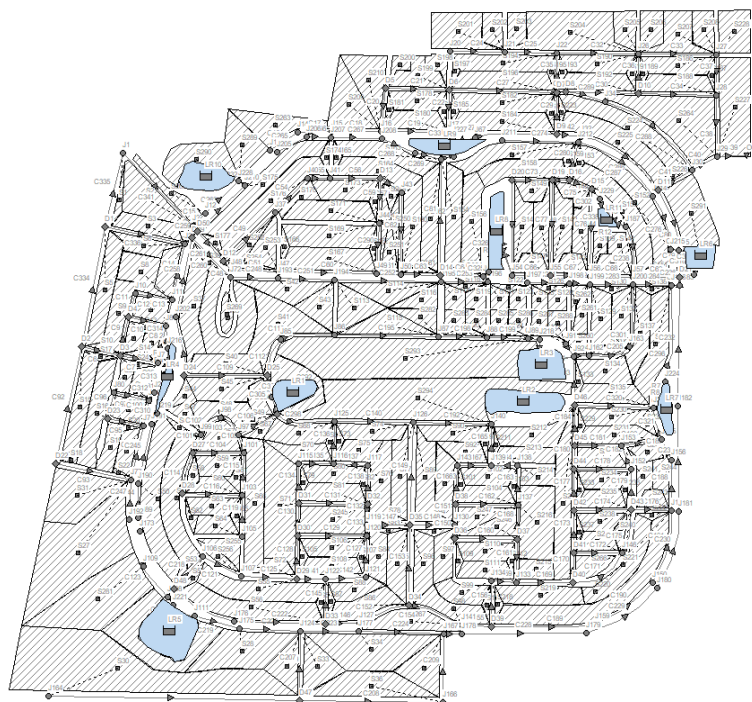


Figura 85 - Sistema global de drenaje en estado urbanizado

II.2.5.5. Modelación de lluvias

Para completar la modelación, se necesita ingresar la/las lluvias para las cuales se quiere obtener el resultado de una simulación.

La forma en la que se inserta una lluvia en el software es a través del elemento 'Rain Gage' y los parámetros a definir son:

- Time interval: refiere al intervalo de tiempo entre cada pulso de lluvia, variará según la duración de la misma.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 201 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Times Series: refiere al hietograma de cada lluvia, se debe colocar el tiempo en horas.
- Rain Units: es la unidad de medida, puede ser pulgadas o milímetros. En este caso se utilizarán milímetros.

En este trabajo, las lluvias específicas a simular serán descritas junto a sus resultados y los análisis pertinentes de los mismos, en el capítulo siguiente.

II.3. Modelación de estado natural

En este apartado, contrario al anterior, se tiene como objetivo principal obtener un modelo de la zona de estudio en estado natural que permita estimar el comportamiento de la misma previo a la urbanización y, posteriormente, tener la capacidad de comparar con el estado urbanizado y concluir el funcionamiento de este último.

Para lograr esto, existe un desafío claro y refiere a que no se tiene a disposición un modelo digital de elevación de la zona de estudio previo a que exista una intervención y, por tanto, sin que exista una modificación en su comportamiento hidrológico. Por un lado, no es posible obtenerlo a partir de relevamientos actuales y por otro, no se ha encontrado un modelo realizado por alguna fuente oficial tal como el Instituto Geográfico Nacional (IGN) previo a la construcción del barrio.

Por esto, la metodología a llevar a cabo consta en utilizar el modelo ya realizado (estado urbanizado) y modificarlo a fines de que se asimile lo más posible al estado natural. Específicamente, esto implica cuatro grandes modificaciones:

1. En primer lugar, debe llevarse a 0 el porcentaje de impermeabilidad de las subcuencas (%Imperv), valor que en el modelo de estado urbanizado se encuentra en 70%

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 202 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



correspondiente al FOS del barrio analizado. Este cambio es lógico considerando que la impermeabilidad de una cuenca siempre se consigue por la infraestructura que se realice sobre una superficie. Si el terreno se encuentra en estado natural, siempre tendrá nula impermeabilidad.

2. Por un motivo similar al anterior, es necesario alterar el valor de Curva Número (CN) de cada subcuenca ya que ya no corresponde a un uso de suelo residencial sino a un descampado en estado natural. En este sentido, Weber (2014) define que el rango de los CN para parques en la ciudad de Córdoba va desde los 53,8 a los 87,1, con un valor promedio igual a 74,1. En base a esta bibliografía, se decide utilizar un $CN=60$ para el caso de estudio, ya que los 'parques' que Weber estudia, en general presenta mejores condiciones para las cuales puede haber estado la zona de estudio previo a la urbanización. Esto es, los parques de la ciudad de Córdoba se encuentran, en general, con su pasto cortado, desmalezados, con infraestructura realizada tales como senderos y veredas, entre otras cosas que aumentan su impermeabilidad. Contrario a lo que se puede encontrar en un terreno descampado sin intervención, en donde las malezas, los árboles, la ausencia de infraestructura, el suelo sin compactar, etc. aumentan su permeabilidad.
3. Las calles/links deben tener una rugosidad correspondiente a suelo/tierra, es decir, un 'n' de Manning igual a 0,035 y no de 0,01 correspondiente al asfalto utilizado en el modelo urbanizado.
4. Por último, es necesario modificar el sistema de drenaje, eliminando las lagunas de retención y, en aquellos lugares en donde existían puntos de ingreso y egreso a las lagunas, colocar nuevos links que redirigen el agua hacia una sola salida.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 203 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

A partir de estas modificaciones, el modelo en estado natural resulta tal como se observa en la Figura 86.

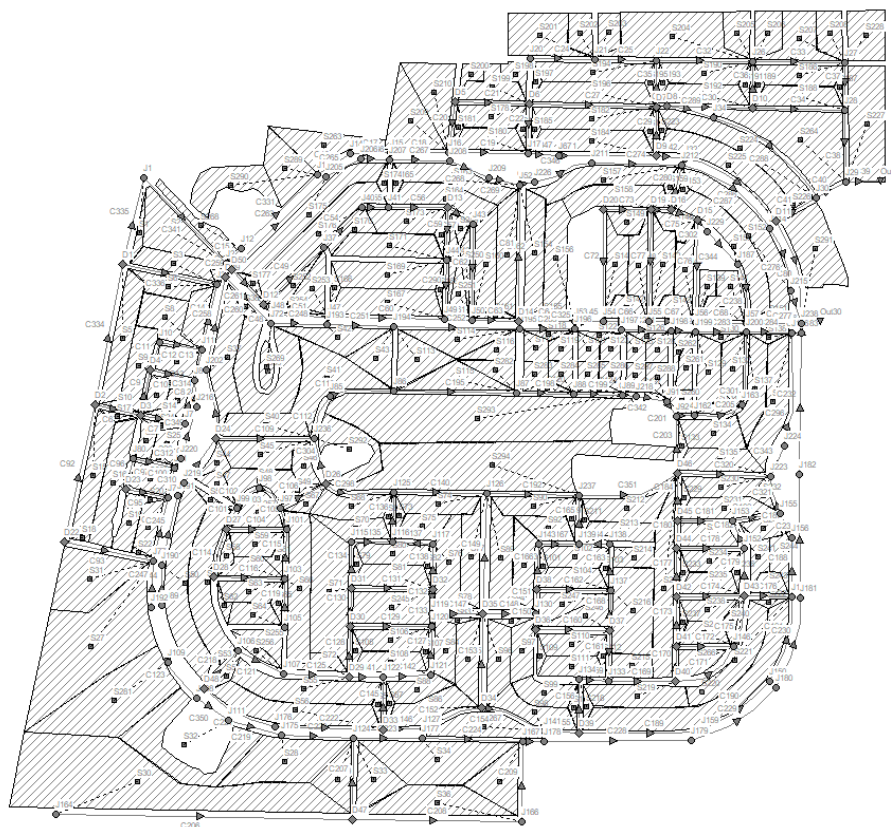


Figura 86 - Sistema global de drenaje en estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 204 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



III. CAPÍTULO TERCERO: SIMULACIONES Y RESULTADOS

Se llevará a cabo el análisis del comportamiento hidráulico de la urbanización mediante cuatro lluvias obtenidas por diferentes técnicas. En primer lugar, como es habitual al ser lo exigido por las autoridades correspondientes para la aprobación de un desarrollo de este estilo, el comportamiento se verificará con una única lluvia (puntual) proveniente de las curvas IDF de la Ciudad de Córdoba. En segundo lugar, se trabajará con un tren de lluvias a partir de los datos obtenidos de la metodología anterior. Esto es, se conformará una secuencia con dos lluvias puntuales de diferente tiempo de recurrencia. La tercera técnica empleada consistirá en una lluvia estimada mediante modelos de Redes Neuronales. Finalmente, se utilizará una lluvia real, obtenida de una la información recopilada por un pluviómetro real, ubicado en cercanía al barrio de estudio.

III.1. Lluvias IDF

Para determinar la lluvia de diseño desde la hidrología tradicional, se obtuvieron las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) de la urbanización a través del INA – CIRSA (Instituto Nacional del Agua), particularmente a partir del GRUPO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN CUENCAS POBREMENTE AFORADAS (EHCPA) de la Universidad Católica de Córdoba.

Una curva IDF o de Intensidad-Duración-Frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 205 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



con la que se observa. La probabilidad de que ocurran precipitaciones intensas puede ser caracterizada por períodos de retorno, que se obtienen a partir de la inversa de la frecuencia acumulada. Entonces, la curva IDT muestra la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración de la lluvia y la probabilidad de ocurrencia de la lluvia.

La construcción de la curva IDT se realiza a partir del análisis estadístico de los datos de lluvia registrados en la zona de interés. Posteriormente, se utiliza esta curva para calcular la intensidad de la lluvia máxima probable en un período de tiempo determinado para un evento con una cierta frecuencia de ocurrencia.

Para las coordenadas del barrio en estudio, las curvas son las siguientes:

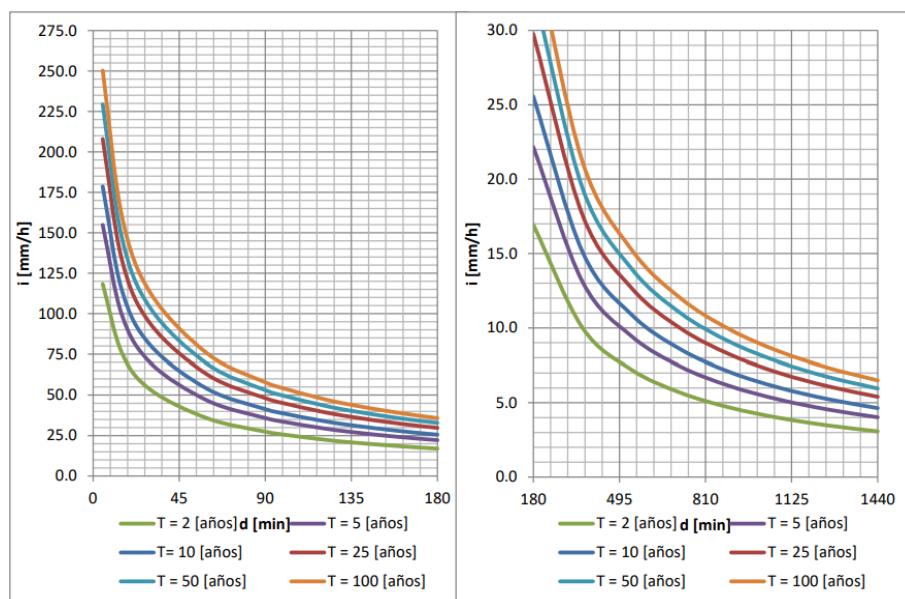


Figura 87 - Curva Intensidad - Duración - Frecuencia en la urbanización

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 206 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En la Tabla 7 se presenta la intensidad (i) de lluvia para tiempos de recurrencia de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y diferente duración de lluvia.

Tabla 7 - Intensidad (i) de lluvia para diferentes tiempos de recurrencia y duración de lluvia

Intensidades [mm/h]						
T [años]	2	5	10	25	50	100
d [min]	idt	idt	idt	idt	idt	idt
5	118,3	154,9	178,7	208,0	229,3	250,3
15	75,9	99,4	114,6	133,4	147,1	160,6
30	53,3	69,8	80,5	93,7	103,3	112,7
60	35,5	46,5	53,6	62,4	68,9	75,1
90	27,4	35,9	41,4	48,2	53,1	57,9
100	25,5	33,4	38,6	44,9	49,5	54,0
120	22,6	29,5	34,1	39,7	43,7	47,7
135	20,8	27,2	31,4	36,5	40,3	44,0
160	18,4	24,1	27,8	32,4	35,7	39,0
180	16,9	22,2	25,6	29,8	32,8	35,8
360	10,0	13,1	15,1	17,6	19,4	21,2
540	7,2	9,4	10,9	12,7	14,0	15,2
720	5,7	7,4	8,5	9,9	11,0	12,0
900	4,7	6,1	7,1	8,2	9,1	9,9
1080	4,0	5,2	6,0	7,0	7,7	8,4
1260	3,5	4,5	5,2	6,1	6,7	7,3

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 207 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



1440	3,1	4,0	4,6	5,4	6,0	6,5
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

En la Tabla 8 se presenta la lámina (h) de lluvia para tiempos de recurrencia de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y diferente duración de lluvia.

Tabla 8 - Lámina (h) de lluvia para diferentes tiempos de recurrencia y duración de lluvia

	Lámina de lluvia [mm]					
T [años]	2	5	10	25	50	100
d [min]	idt	idt	idt	idt	idt	idt
5	9,86	12,91	14,89	17,33	19,11	20,86
15	18,98	24,85	28,65	33,35	36,78	40,15
30	26,65	34,90	40,25	46,85	51,65	56,35
60	35,50	46,50	53,60	62,40	68,90	75,10
90	41,10	53,85	62,10	72,30	79,65	86,85
100	42,50	55,67	64,33	74,83	82,50	90,00
120	45,20	59,00	68,20	79,40	87,40	95,40
135	46,80	61,20	70,65	82,13	90,68	99,00
160	49,07	64,27	74,13	86,40	95,20	104,00
180	50,70	66,60	76,80	89,40	98,40	107,40
360	60,00	78,60	90,60	105,60	116,40	127,20
540	64,80	84,60	98,10	114,30	126,00	136,80
720	68,40	88,80	102,00	118,80	132,00	144,00

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 208 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



900	70,50	91,50	106,50	123,00	136,50	148,50
1080	72,00	93,60	108,00	126,00	138,60	151,20
1260	73,50	94,50	109,20	128,10	140,70	153,30
1440	74,40	96,00	110,40	129,60	144,00	156,00

Ahora bien, en general en el diseño hidrológico, es necesario trabajar con una duración de lluvia igual al tiempo de concentración de toda la cuenca, ya que en esta condición ocurren los máximos caudales. No obstante, resulta especialmente complejo definir el tiempo de concentración para este caso ya que dentro del barrio se encuentran lagunas de infiltración encadenadas unas a las otras y, por tanto, determinar el tiempo que tarda la última gota en llegar al punto de salida debe contemplar en tiempo en el que las lagunas se llenan y erogan caudal, que luego irá hacia otra laguna y se repetirá esta secuencia por cada obra que flujo se encuentre en su camino.

Entonces, la lluvia de diseño que se utilizará corresponde a una duración de 180 minutos (tres horas). La elección de esta duración se fundamenta en la necesidad de representar un evento de precipitación que combine alta intensidad con una duración suficiente para generar la respuesta más crítica en la cuenca. Según Caamaño y Dasso (2003), en los registros de tormentas intensas de la provincia de Córdoba, aproximadamente el 18 % de los eventos analizados presentan una duración cercana a las tres horas, lo que convierte a este intervalo en uno de los más frecuentes y representativos de las precipitaciones extremas observadas en la región. Además, los autores emplean sistemáticamente la duración de 180 minutos en los análisis de intervalos de máxima intensidad anual (IMA) y en la elaboración de las curvas

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 209 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



intensidad–duración–frecuencia (IDF), lo que confirma su relevancia en el diseño hidrológico local.

Por su parte, Caamaño Nelli et al. (2010) mantienen la utilización de esta misma duración en los estudios sobre distribución temporal interna y construcción de hietogramas sintéticos, demostrando que las tormentas de tres horas reproducen con mayor precisión la estructura típica de los eventos intensos de Córdoba antes de que se produzca una reducción significativa de la intensidad. En términos físicos, los eventos más cortos (de una a dos horas) suelen tener un carácter convectivo y afectar áreas reducidas, mientras que los de larga duración (mayores a seis horas) se asocian a sistemas frontales más extensos, pero de menor intensidad puntual. Por lo tanto, la tormenta de tres horas representa un equilibrio entre ambos tipos: conserva intensidades elevadas y al mismo tiempo alcanza un volumen de precipitación capaz de generar los mayores escurrimientos superficiales.

Finalmente, desde el punto de vista hidrológico, esta duración resulta coherente con los tiempos de concentración característicos de muchas cuencas urbanas e intermedias de Córdoba, que suelen situarse entre una y tres horas. Dado que, como ya mencionó, el caudal máximo se alcanza cuando la duración de la lluvia es similar al tiempo de concentración de la cuenca, adoptar una lluvia de diseño de tres horas resulta tanto consistente con la evidencia empírica regional como representativa de la condición más desfavorable para el dimensionamiento hidráulico del sistema analizado.

En este sentido, las intensidades y láminas para una lluvia de 180 minutos de duración y diferentes tiempos de recurrencia según las curvas IDT presentadas anteriormente se observan en la Tabla 9:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 210 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



Tabla 9 - Intensidad y lámina de lluvia de 180 minutos y distintos tiempo de recurrencia

Periodo de retorno [años]	Intensidad [mm/h]	Lámina [mm]
	Duración [min]	
	180	
2	16,9	50,7
5	22,2	66,6
10	25,6	76,8
25	29,8	89,4
50	32,8	98,4
100	35,8	107,4

Luego, para determinar el hietograma de la lluvia se adoptará una distribución en sextiles, propuesta por Caamaño y Dasso (2003) la cual característica propia de las lluvias de la zona. Bajo este criterio, el pico de lluvia se encuentra en el segundo sextil. En la Tabla 10 se observa el porcentaje de cada sextil.

Tabla 10 - Distribución teórica por sextiles para Córdoba

Porcentaje de láminas	
Sextiles	% distribución
1	12
2	49
3	23
4	9
5	4
6	3

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 211 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Entonces, es posible determinar los hietogramas de diseño para cada tiempo de recurrencia. A continuación, se presentan solo los hietogramas que serán útiles para la obtención de resultados, estos son, para 5, 10, 25 y 100 años de recurrencia:

Tabla 11 - Hietograma lluvia de diseño TR=5 años

Lluvia de diseño Tr=5 años	
Tiempo [min]	P [mm]
30,0	7,99
60,0	32,63
90,0	15,32
120,0	5,99
150,0	2,66
180,0	2,00

Tabla 12 - Hietograma lluvia de diseño TR=10 años

Lluvia de diseño Tr=10 años	
Tiempo [min]	P [mm]
30,0	9,22
60,0	37,63
90,0	17,66
120,0	6,91
150,0	3,07
180,0	2,30

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 212 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 13 - Hietograma lluvia de diseño TR=25 años

Lluvia de diseño Tr=25 años	
Tiempo [min]	P [mm]
30,0	10,73
60,0	43,81
90,0	20,56
120,0	8,05
150,0	3,58
180,0	2,68

Tabla 14 - Hietograma lluvia de diseño TR=100 años

Lluvia de diseño Tr=100 años	
Tiempo [min]	P [mm]
30,0	12,89
60,0	52,63
90,0	24,70
120,0	9,67
150,0	4,30
180,0	3,22

III.1.1. Resultados y verificaciones

A modo de primera conclusión sobre el comportamiento general de drenaje pluvial, puede afirmarse que el barrio analizado consta con un sistema de drenaje conformado por dos grandes partes, asociadas a tres grandes cuencas:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 213 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La primera, cubre la mayor parte del barrio y está conformada por todas las lagunas de retención descritas anteriormente en donde, particularmente, se divide en dos grandes cuencas: Una de ellas, la Oeste, tiene como punto final a la laguna de infiltración número 10, mientras que la otra (Centro, Sur y Este) finaliza en la laguna de infiltración número 6. En este sentido, se entiende que las lagunas número 6 y 10 fueron diseñadas para que no eroguen caudal en ningún momento, y por tanto la verificación que tendrá que hacerse de estas implica analizar que no se inunden en ningún momento frente a la lluvia de diseño

En las figuras siguientes (Figura 88 y Figura 89) pueden observarse las zonas tributarias (cuencas) que conducen los escurrimientos superficiales hacia las lagunas de infiltración 6 y 10.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 214 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

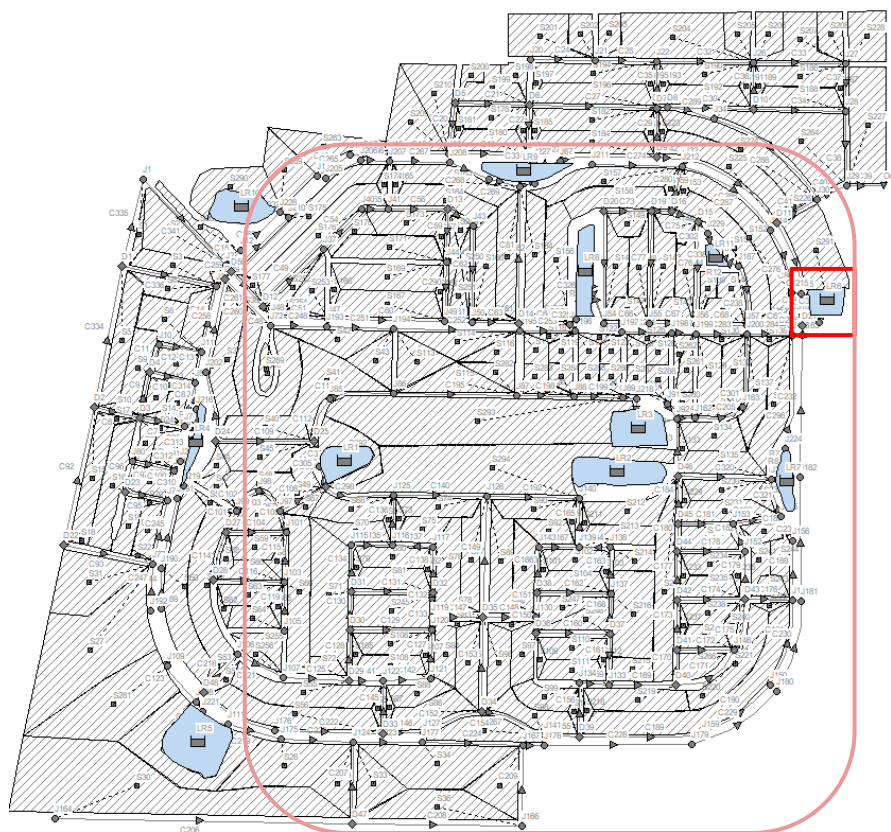


Figura 88 - Cuenca tributaria de la laguna de infiltración 6

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 215 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

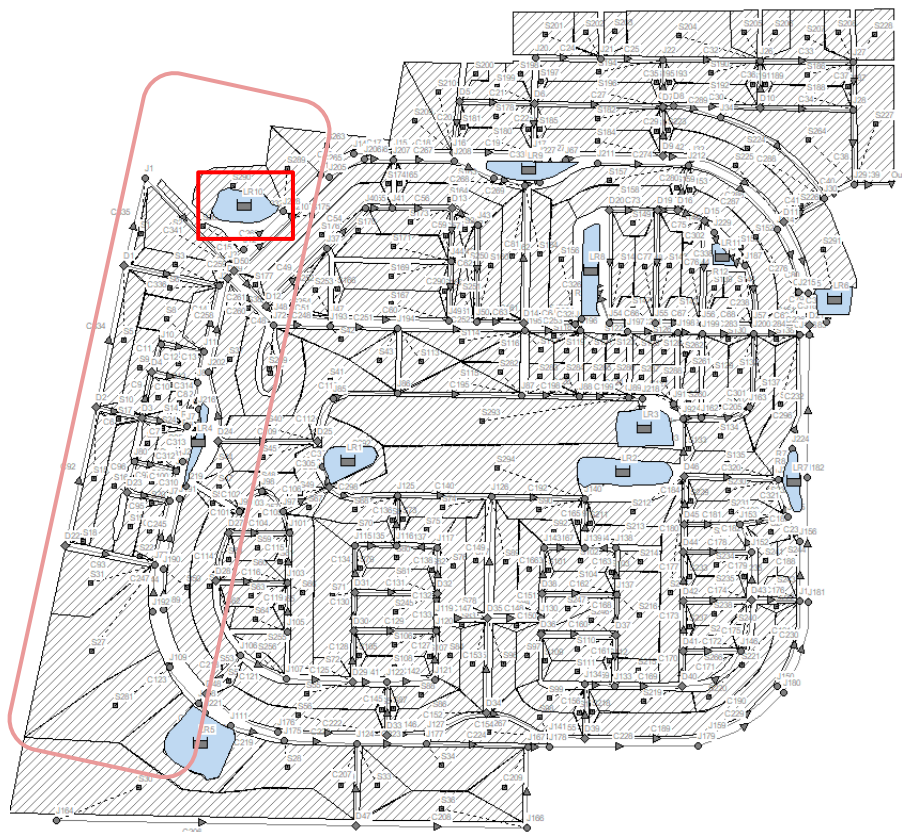


Figura 89 - Cuenca tributaria de la laguna de infiltración 10

La segunda del sistema, correspondiente a la zona norte del barrio tiene, según lo relevado a la fecha de publicación del presente trabajo, la zona norte del barrio (el cual se encuentra en estado de construcción, como se observa en Figura 90) tiene un único punto de salida de drenaje, ubicado al Este del mismo que se puede observar en la Figura 91.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 216 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 90 - Zona norte del barrio a la fecha del relevamiento

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 217 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

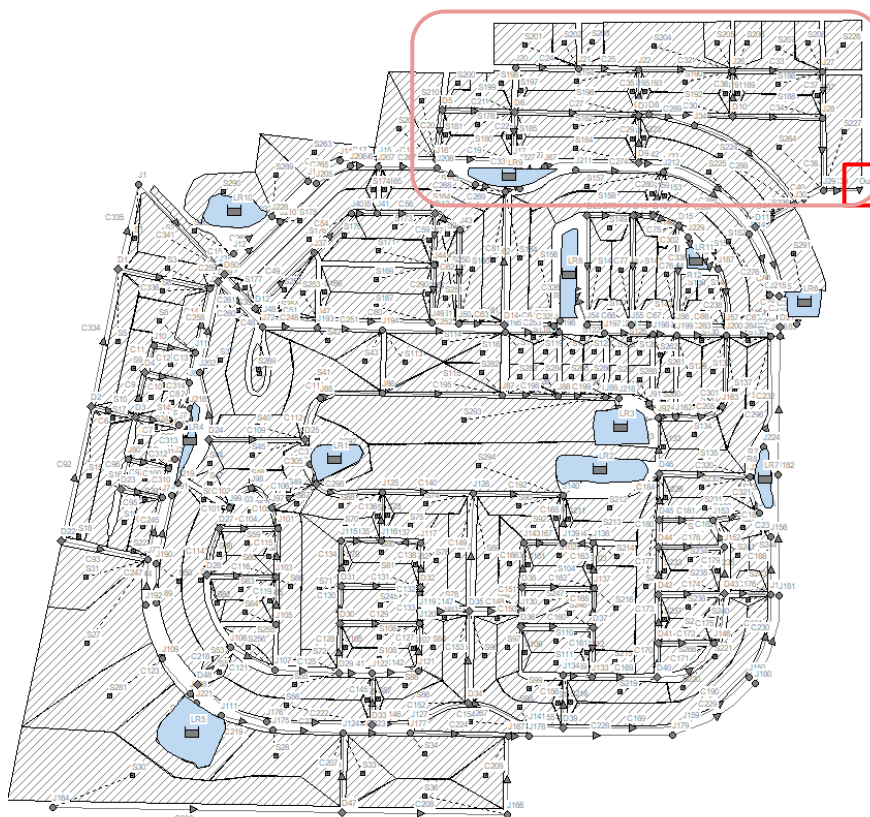


Figura 91 - Salida de drenaje norte del barrio

Sumado a esto, en el relevamiento no se ha observado ningún tipo de laguna de retención, por lo que todo el escurrimiento superficial se lleva hacia el barrio colindante a través de la canalización observada en las figuras siguientes.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 218 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

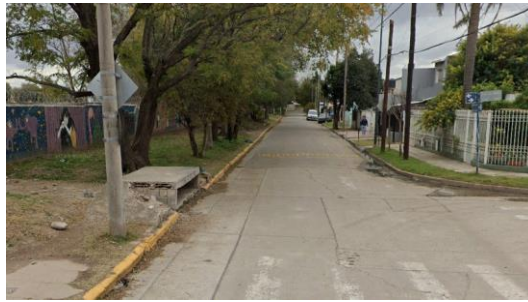


Figura 92 - Descarga de la zona norte del barrio hacia el barrio colindante



Figura 93 - Descarga de la zona norte del barrio hacia el barrio colindante

Esto último implica que, frente a la verificación del caudal erogado por el barrio, el caudal allí en el estado urbanizado siempre será mayor al resultante en estado natural (por capacidad de infiltración de suelo) por tanto la verificación es un absurdo. Lo que se debería llevar a cabo para este caso, entonces, es el diseño de laguna de retención en función de los caudales que llegan al mismo, en base a la normativa vigente.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 219 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Habiendo aclarado lo anterior, lo que sigue es una verificación hidráulica de las lagunas de retención y las calles del barrio frente a las diferentes lluvias de diseño descritas en el título anterior.

Cabe destacar que las verificaciones que deben hacerse se rigen conforme a la normativa vial de la ciudad de Córdoba. En particular, la normativa vigente exige verificar la inundabilidad de las calles para la lluvia de diseño en 5 años de recurrencia si se trata de calles vecinales y 10 años de recurrencia para calles de mayor importancia. Por otro lado, las lagunas de retención deben verificarse para 25 años de recurrencia. Por último, la inundabilidad de las viviendas para 100 años de recurrencia.

III.1.1.1. Verificación de lagunas de retención

En este caso, la verificación a realizar es que el caudal de salida de las lagunas de retención (estado urbanizado) no puede ser superior al que existía en ese punto del drenaje en estado natural para una lluvia de 25 años de recurrencia.

No obstante, tal como se mencionó anteriormente en el presente trabajo, muchas de las lagunas de retención existentes no tienen una salida y funcionan como lagunas de infiltración. Por tanto, estas obras tendrán que ser verificadas directamente ante su inundación para la lluvia de diseño (180 minutos y 25 años de recurrencia) y no podrá compararse su funcionamiento en estado urbanizado y estado natural.

III.1.1.1.1. Laguna 1

La presente es una laguna de infiltración por lo que la verificación a realizar es que no se alcance su nivel máximo en ninguna instancia para 25 años de recurrencia.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 220 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Para esta recurrencia, la laguna se llena un total de 45,2% como puede observarse en la Tabla 15, por tanto, verifica.

Tabla 15 – Comportamiento de Laguna 1 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	0.451	23.9	0.0	86.6	0.852	45.2	0	03:36	8.28

III.1.1.1.2. Laguna 2

Igual al caso anterior, la Laguna 2 es de infiltración por lo que la verificación debe ser respecto a su inundabilidad.

Para 25 años de recurrencia la laguna se llena un total de 100%, se inunda, por lo que no verifica su funcionamiento.

Tabla 16 - Comportamiento de Laguna 2 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR2	0.255	31.6	0.0	18.2	0.807	100.0	0	01:09	13.08

III.1.1.1.3. Laguna 3

Distinto a los casos anteriores, la laguna 3 es una laguna de retención, cuya función es erogar caudal mediante su descargador y su vertedero de forma controlada. Por lo tanto, a fines de comprender el funcionamiento de la laguna, más allá de verificar que no alcance su nivel máximo como los casos anteriores, se debe comparar el caudal que existe en el nodo

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 221 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

justo a la salida de la laguna en estado natural con el caudal erogado por la laguna para una misma lluvia, constatando de que no se erogue mayor caudal de lo que pasaba por ese punto en el sistema previo a la intervención.

En particular, el nodo a analizar es el 'J92' que se observa en la Figura 94 y 95.

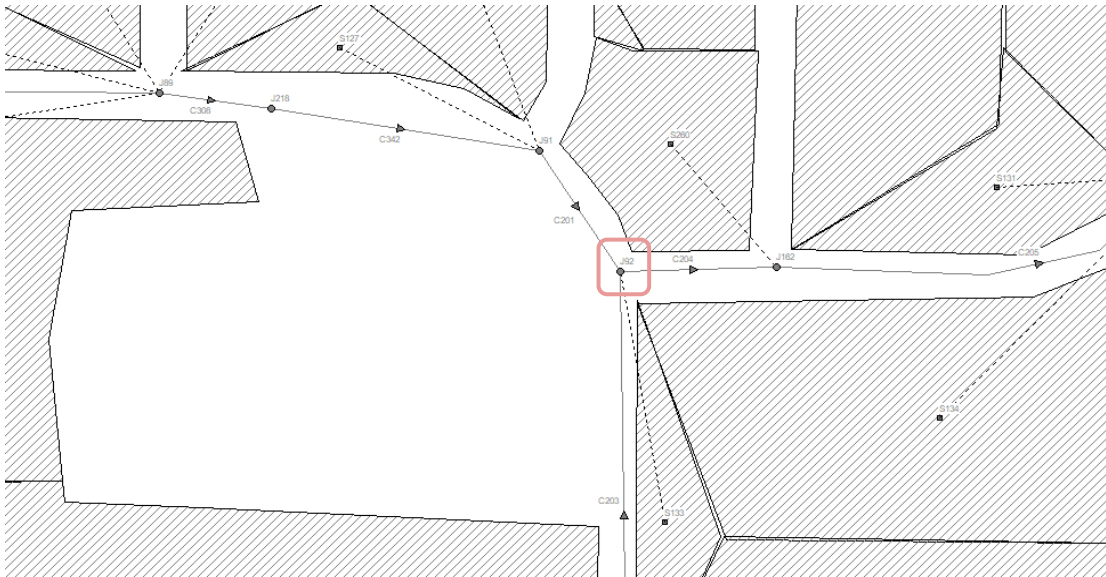


Figura 94 - Nodo J92 en estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 222 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		

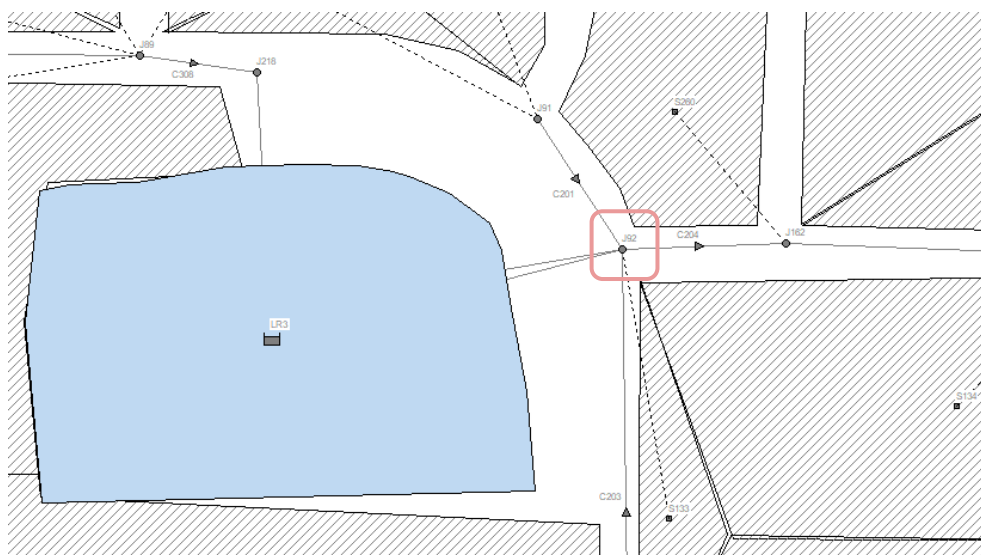


Figura 95 - Nodo J92 en estado urbanizado

En el estado natural, el nodo mencionado eroga un caudal máximo de 196,39 litros por segundo para la lluvia de diseño y 25 años de tiempo de recurrencia tal como se observa en la Tabla 17.

Tabla 17 – Caudal en el nodo J92 en el estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
J92	JUNCTION	2.09	196.39	0	01:31	0.00772	0.79	0.00

Por otro lado, en el estado urbanizado, el caudal erogado tanto por el orificio como por el vertedero es igual a cero (ver Tabla 18), asociado a ello, su porcentaje de llenado es de 38%.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 223 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



Tabla 18 - Descarga de orificio y vertedero de la laguna 3 frente a lluvia IDF

Link	Type	Maximum Flow LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum Velocity m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
R1	ORIFICE	0.00	0	00:00			0.00
R2	WEIR	0.00	0	00:00			0.00

Es decir, para esta recurrencia, la obra verifica.

III.1.1.1.4. Laguna 4

Al tratarse de una laguna de retención, igual que la laguna 3, se comparan los caudales en el nodo o link de salida en el estado natural y estado urbanizado. Para este caso en particular, se verificará mediante el caudal existente en el link 'C314'. Este último se observa en las siguientes figuras:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 224 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

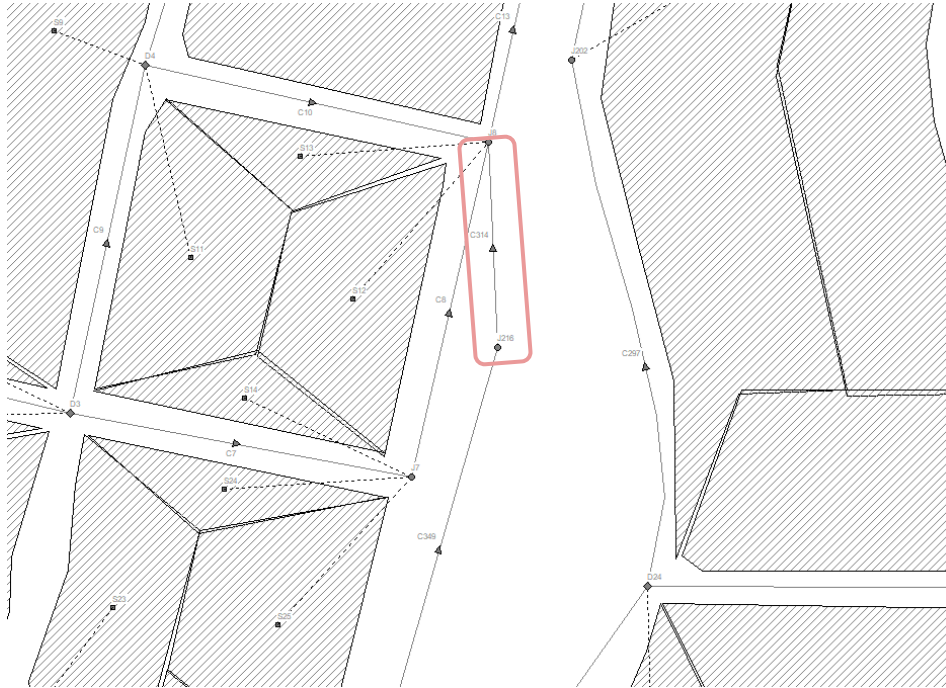


Figura 96 - Link C314 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 225 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		

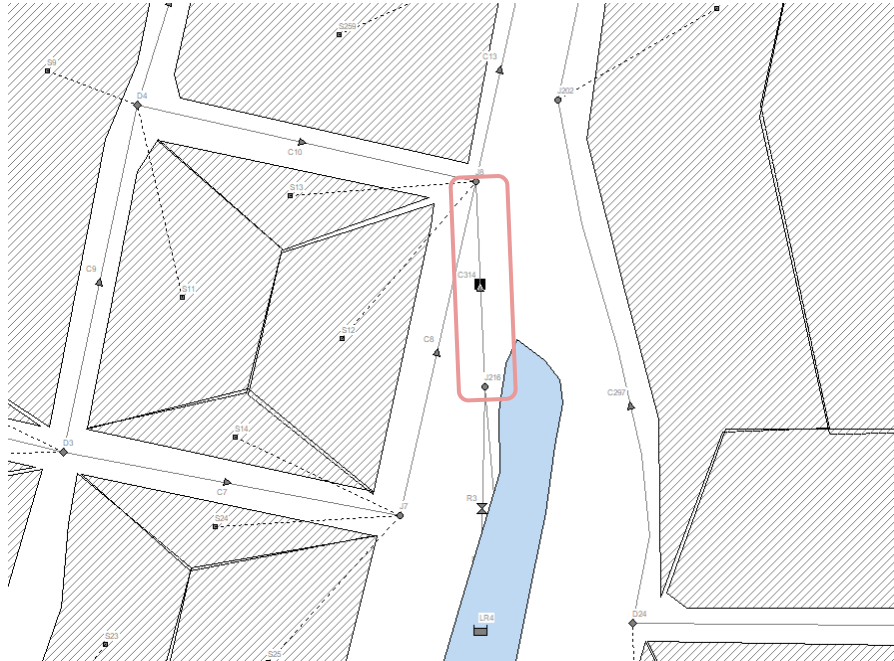


Figura 97 - Link C314 en el estado urbanizado

Sin embargo, la comparación de caudales pierde el sentido ya que, para 25 años de recurrencia, la laguna llega a su máximo nivel, es decir, se inunda (ver Tabla 19).

Tabla 19 - Comportamiento de la Laguna 4 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR4	0.062	17.6	0.0	11.2	0.355	100.0	0	01:14	60.92

Esto implica que no verifica para la lluvia de diseño.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 226 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



III.1.1.1.5. Laguna 5

Se trata de una laguna de retención, por lo que para analizarla se comparará el caudal que llega al nodo de salida de la laguna en estado natural y el urbanizado. Particularmente, el nodo a analizar es el 'J111' y se lo puede observar en las siguientes figuras.

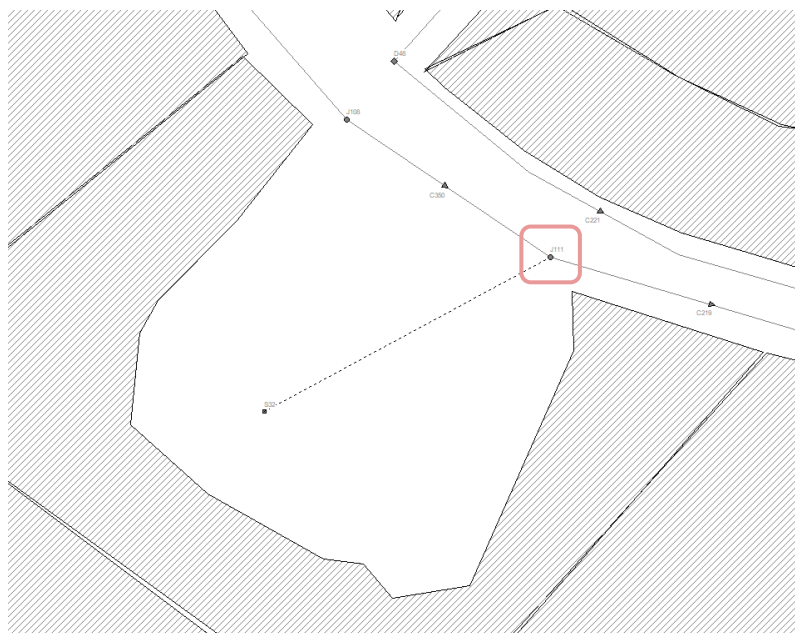


Figura 98 - Nodo J111 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 227 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

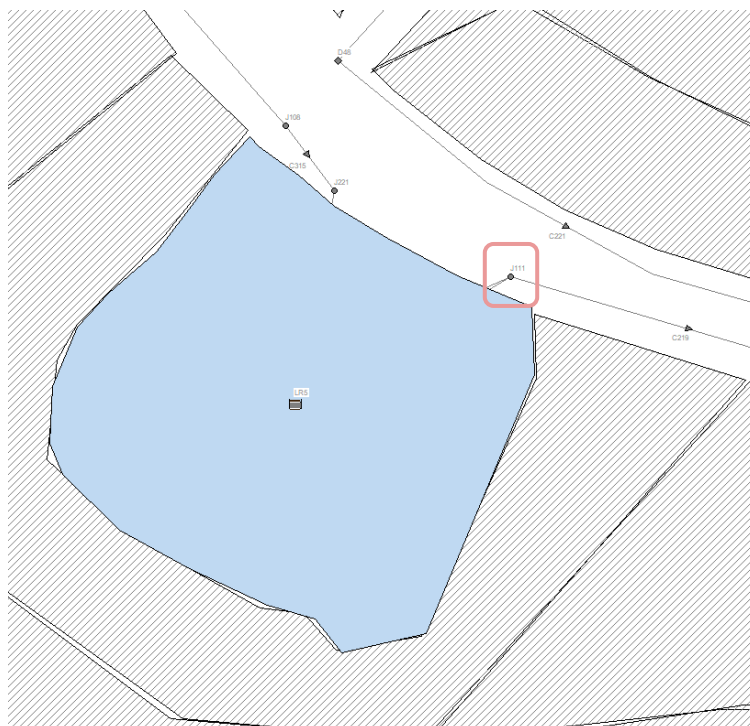


Figura 99 - Nodo J111 en el estado urbanizado

En el estado natural, para 25 años de recurrencia, al nodo llega un caudal igual a 30,76 litros por segundo (ver Tabla 20).

Tabla 20 – Caudal en el nodo J111 en estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J111	JUNCTION	13.49	30.76	0	02:01	0.0732	0.172	0.000

Por su parte, en el estado urbanizado, el caudal por el nodo es igual a 17,19 litros por segundo (ver Tabla 21).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 228 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 21 - Caudal en el nodo J111 en estado urbanizado

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J111	JUNCTION	0.00	17.19	0	02:42	0	0.136	0.000

Por otro lado, el porcentaje de llenado de la laguna es 64%. Esto implica que verifica según la normativa vigente.

III.1.1.1.6. Laguna 6

La presente es una laguna de infiltración, por lo que la verificación a realizar es, sencillamente, que la misma no llega en ningún momento a su nivel máximo y se inunde.

Para 25 años de recurrencia, la laguna presenta un porcentaje de llenado igual a 100%, es decir, supera su nivel máximo, tal como se ve en la Tabla 22.

Tabla 22 - Comportamiento de la Laguna 6 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR6	0.090	36.3	0.0	5.4	0.247	100.0	0	00:50	6.19

Esto implica que la obra no verifica.

III.1.1.1.7. Laguna 7

La laguna 7 es una laguna de retención. En este caso, debe compararse los caudales en el nodo 'J224' tanto en el estado natural como en el estado urbanizado. El punto en cuestión se observa en las siguientes figuras.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 229 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

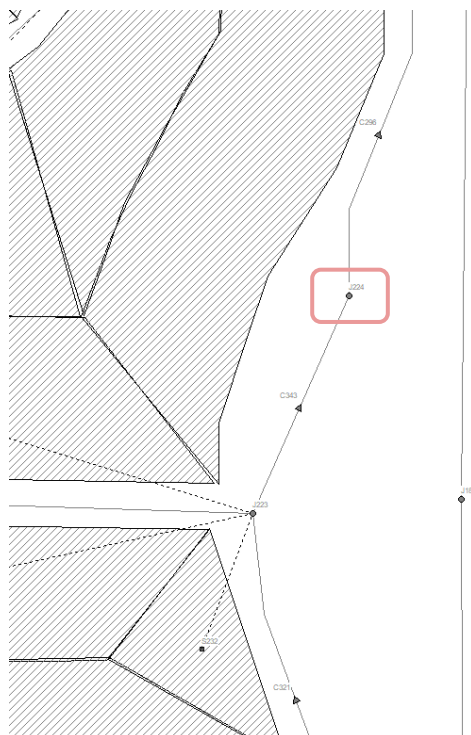


Figura 100 - Nodo J224 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 230 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

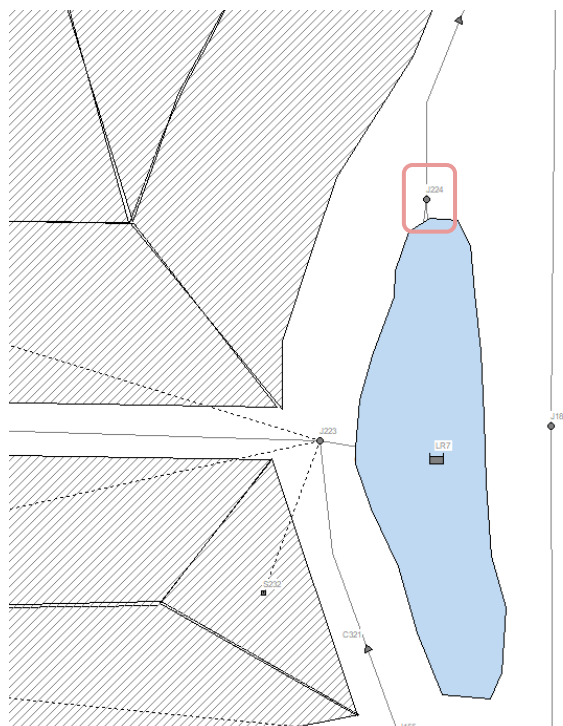


Figura 101 - Nodo J224 en el estado urbanizado

Para 25 años de tiempo de recurrencia, el caudal en el nodo en el estado natural es igual a 364,37 litros por segundo (ver Tabla 23).

Tabla 23 - Caudal nodo J224 en el estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J224	JUNCTION	0.00	364.37	0	01:31	0	1.45	0.000

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 231 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



En cambio, en el estado urbanizado el caudal erogado por la laguna es igual a 52,36 litros por segundo (ver Tabla 24).

Tabla 24 - Caudal nodo J224 en el estado urbanizado

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J224	JUNCTION	0.00	52.36	0	01:24	0	0.644	0.000

En este contexto, en principio, la laguna verifica perfectamente para el tiempo de recurrencia analizado. Sin embargo, tal como se observa en la Tabla 25, el porcentaje de llenado de la laguna es igual a 100%, es decir, se inunda.

Tabla 25 - Comportamiento de la Laguna 7 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR7	0.604	53.7	0.0	23.8	1.125	100.0	0	01:24	59.24

Esta situación implica que la obra no verifica su funcionamiento.

III.1.1.1.8. Laguna 8

Similar al caso anterior, esta laguna debe verificarse a partir del caudal que pase por un nodo de referencia tanto en estado natural como en estado urbanizado. Particularmente para este caso, el nodo de referencia es el 'J54', el cual puede observarse en las siguientes figuras.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 232 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

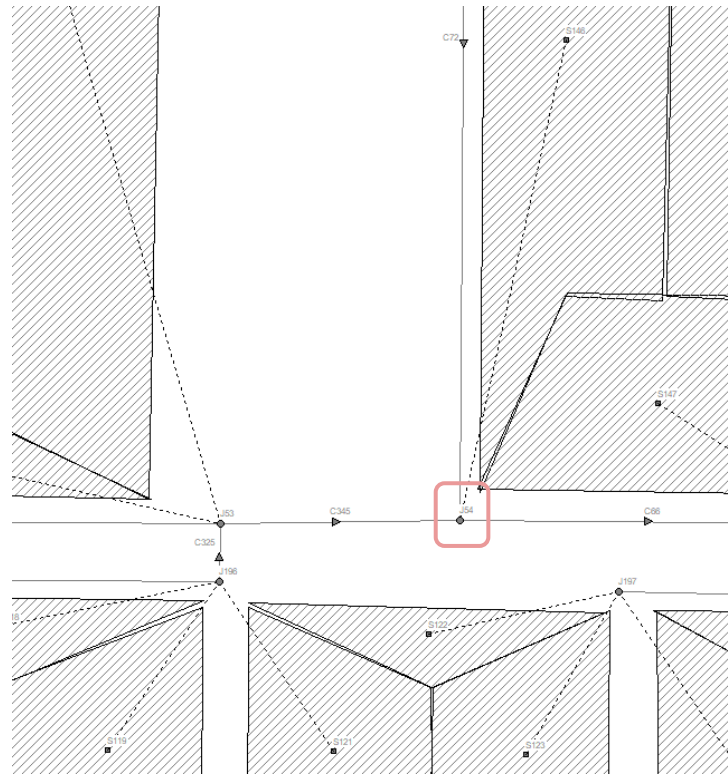


Figura 102 - Nodo J54 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 233 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		

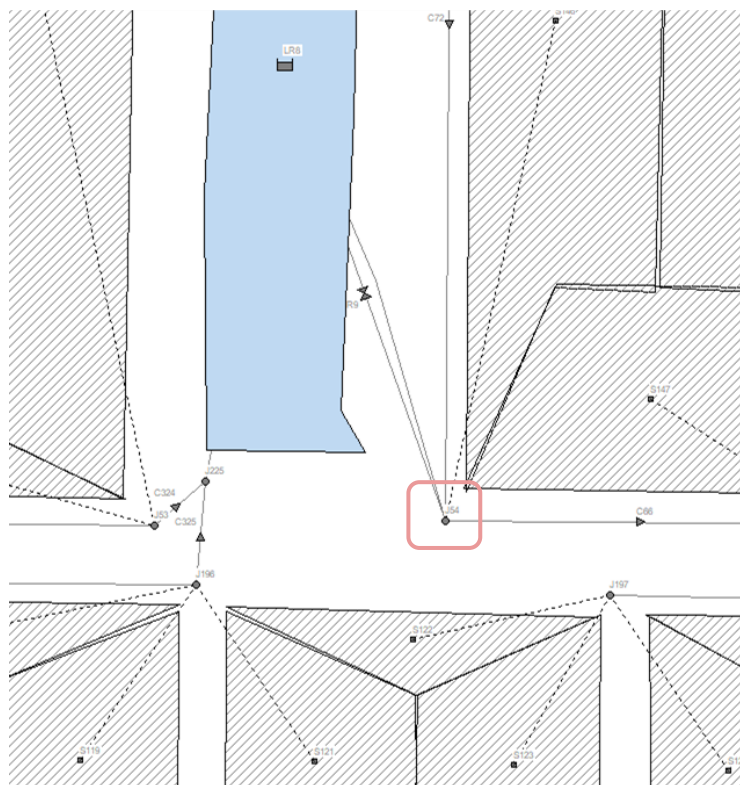


Figura 103 - Nodo J54 en el estado urbanizado

El caudal máximo para 25 años de recurrencia en el nodo mencionado en el estado natural es igual a 125,62 litros por segundo (ver Tabla 26).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 234 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



Tabla 26 - Caudal en el nodo J54 en el estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J54	JUNCTION	7.65	125.62	0	01:31	0.0294	0.601	0.000

En cambio, en estado urbanizado el caudal máximo erogado es igual a 61,8 litros por segundo (ver Tabla 27).

Tabla 27 - Caudal en el nodo J54 en el estado urbanizado

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J54	JUNCTION	35.66	61.80	0	01:31	0.127	0.438	0.000

En este contexto, la laguna verifica. Sin embargo, el porcentaje de llenado para esta recurrencia es igual a 100% (ver Tabla 28).

Tabla 28 - Comportamiento de la Laguna 8 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR8	0.004	14.7	0.0	0.7	0.024	100.0	0	00:40	26.53

Esto implica que la obra no verifica su funcionamiento ya que se inunda.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 235 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



III.1.1.1.9. Laguna 9

Esta laguna debe verificarse a partir del caudal que pase por un nodo de referencia tanto en estado natural como en estado urbanizado. Particularmente para este caso, el nodo de referencia es el 'J67', el cual puede observarse en las siguientes figuras.

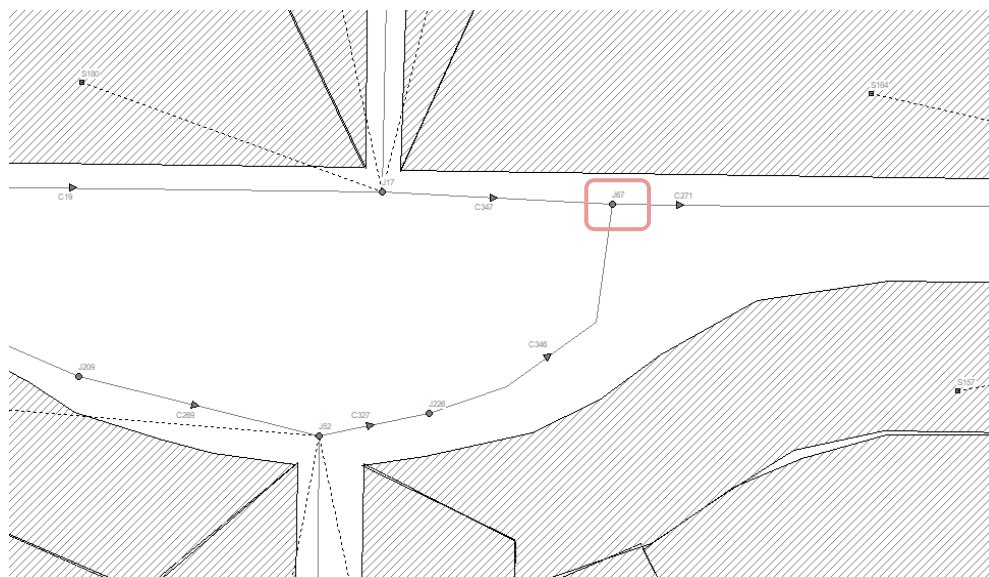


Figura 104 - Nodo J67 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 236 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

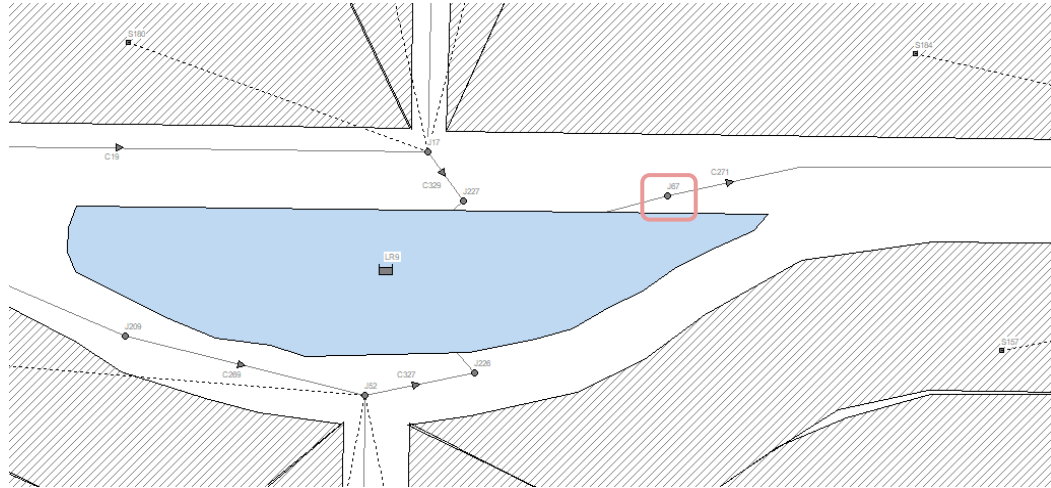


Figura 105 - Nodo J67 en el estado urbanizado

El caudal para 25 años de recurrencia en el nodo mencionado en el estado natural es igual a 332,82 litros por segundo (ver Tabla 29).

Tabla 29 - Caudal en el nodo J67 en el estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
J67	JUNCTION	0.00	332.82	0	01:31	0	1.47	0.000

En cambio, en estado urbanizado el caudal es igual a 10,37 litros por segundo (ver Tabla 30).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 237 de 341
<p style="text-align: center;">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



Tabla 30 - Caudal en el nodo J67 en el estado urbanizado

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J67	JUNCTION	0.00	10.37	0	00:38	0	0.134	0.000

En este contexto, la laguna verifica su caudal erogado. Sin embargo, el porcentaje de llenado para los años de recurrencia analizados es igual a 100% (ver Tabla 31).

Tabla 31 - Comportamiento de Laguna 9 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR6	0.090	36.3	0.0	5.4	0.247	100.0	0	00:50	6.19

Esto implica que la obra no verifica su funcionamiento ya que se inunda.

III.1.1.1.10. Laguna 10

La presente es una laguna de infiltración por lo que la verificación a realizar es que no se alcance su nivel máximo en ninguna instancia para 25 años de recurrencia.

El resultado obtenido es que la laguna se llena un total de 100%, por tanto, no verifica para este periodo de recurrencia (ver Tabla 32).

Tabla 32 - Comportamiento de Laguna 10 frente a lluvia IDF

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR10	0.348	55.7	0.0	24.5	0.626	100.0	0	01:19	7.22

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 238 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



III.1.1.1.11. Laguna 11

Esta laguna debe verificarse a partir del caudal que pase por un nodo de referencia tanto en estado natural como en estado urbanizado. Particularmente para este caso, el nodo de referencia es el 'J187', el cual puede observarse en las siguientes figuras.

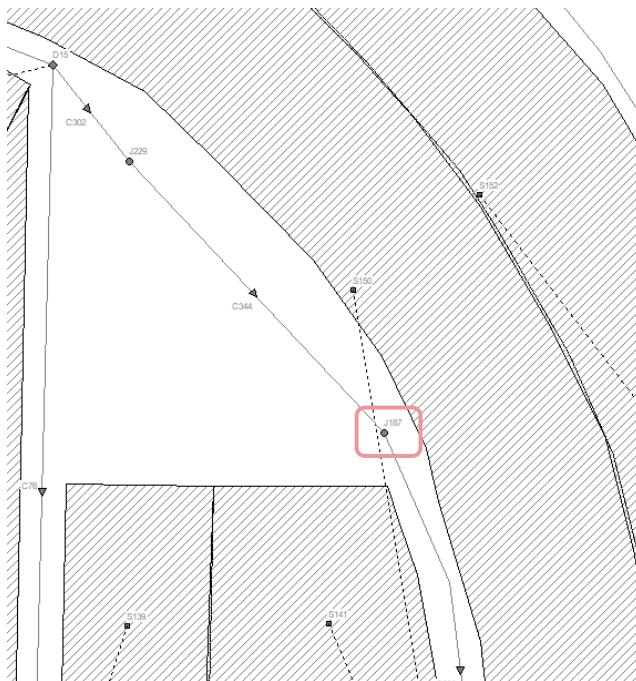


Figura 106 - Nodo J187 en el estado natural

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 239 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

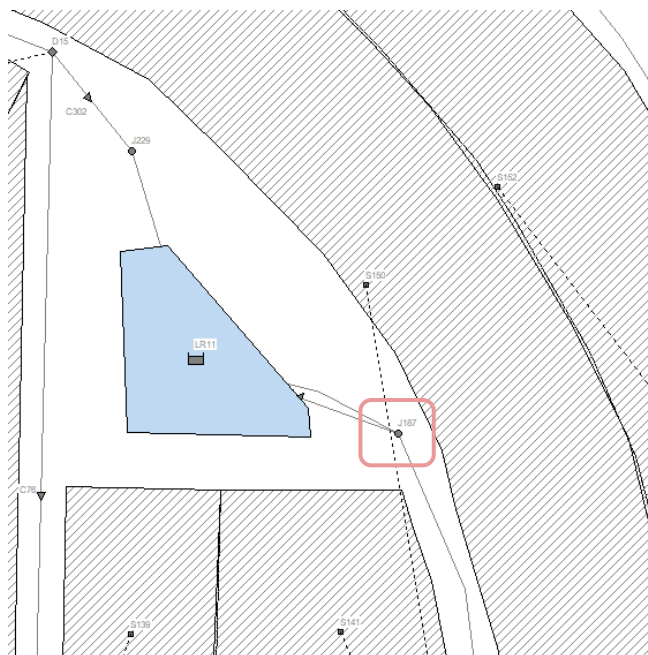


Figura 107 - Nodo J187 en el estado urbanizado

El caudal para 25 años de recurrencia en el nodo mencionado en el estado natural es igual a 3,38 litros por segundo (ver Tabla 33).

Tabla 33 - Caudal en el nodo J187 en el estado natural

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
J187	JUNCTION	0.00	3.38	0	01:31	0	0.0124	0.000

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 240 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



En cambio, en estado urbanizado el caudal es igual a 0 litros por segundo (ver Tabla 34), esto es, la laguna no eroga caudal, ya que se llena solo 3,5%.

Tabla 34 - Caudal en el nodo J187 en el estado urbanizado

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Total Inflow Volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error %
J187	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0	0	0.000

En este sentido, para 25 años de recurrencia (normativa vigente), la laguna verifica.

III.1.1.1.12. Tabla resumen

Todos los resultados descritos respecto a las lagunas se resumen en la Tabla 35, aquí se detalla el tipo de laguna (infiltración o retención), si verifica frente a una lluvia de 25 años de recurrencia (normativa vigente) y se agrega una observación respecto a su funcionamiento.

Tabla 35 - Tabla resumen de funcionamiento de Lagunas frente a lluvia IDF

Laguna	Tipo	¿Verifica?	Observación
1	Infiltración	Si	Se llena un 45,2%
2	Infiltración	No	Se llena a 69 minutos de iniciada la lluvia
3	Retención	Si	No eroga caudal por el vertedero ni orificio, se llena un 38%
4	Retención	No	Llega a su máximo nivel (se inunda)
5	Retención	Si	Se llena un 63,6%
6	Infiltración	No	Se llena a los 50 minutos de iniciada la lluvia
7	Retención	No	Verifica el caudal erogado, pero no la inundabilidad

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 241 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



8	Retención	No	Verifica el caudal erogado, pero no la inundabilidad
9	Retención	No	Verifica el caudal erogado, pero no la inundabilidad
10	Infiltración	No	Se llena a los 80 minutos de iniciada la lluvia
11	Retención	Si	Se llena un 3,5%

III.1.1.2. Verificación de calles e inundabilidad de viviendas

Tal como se mencionó anteriormente, en este caso se llevarán a cabo dos verificaciones exigidas por la normativa vigente: por un lado, debe verificarse que para 5 años de recurrencia, las calles de la urbanización no se inunden (no superen su nivel de cordón); por otro, que para 100 años de recurrencia en tirante de agua no supere 0,45 metros por encima del cordón cuneta, altura mínima a la cual debe encontrarse el nivel de piso interior de una vivienda según la normativa de edificación de la ciudad.

III.1.1.2.1. Verificación de calles (5 años de recurrencia)

La Tabla 36 muestra cuáles son las calles con mayor tirante a partir de una lluvia de diseño (180 minutos y 5 años de recurrencia).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 242 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 36 - Tirantes máximos en las calles para 5 años de recurrencia

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	503.965	3.500	0.161
C164	205.698	3.500	0.150
C236	843.535	3.500	0.131
C79	400.000	3.500	0.121
C37	462.644	3.500	0.121
C38	521.511	3.500	0.120
C321	495.101	3.500	0.119
C39	720.537	3.500	0.118
C192	599.391	3.500	0.101
C231	503.965	3.500	0.100
C33	363.491	3.500	0.095
C136	178.145	3.500	0.095
C304	132.710	3.500	0.093
C229	503.965	3.500	0.092
C230	503.965	3.500	0.091

De aquí, las calles más exigidas en cuanto al tirante de agua son la 'C232' y 'C164', las mismas pueden observarse en las figuras siguientes:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 243 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

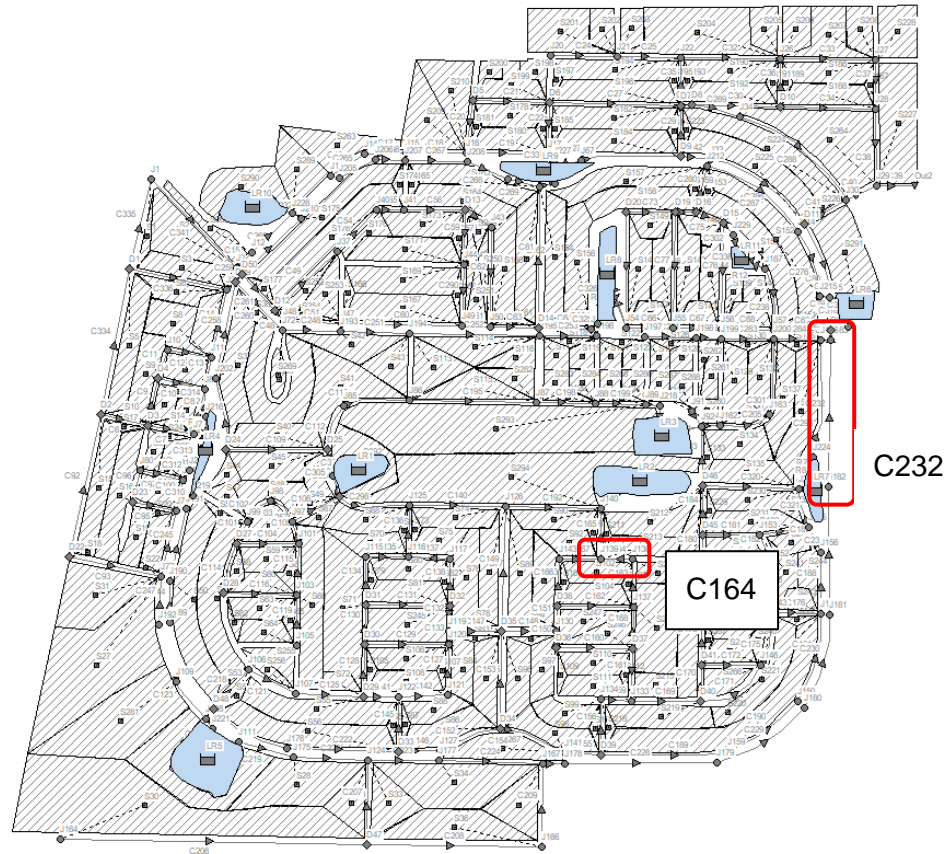


Figura 108 - Ubicación general de las calles 'C232' y 'C164'

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 244 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

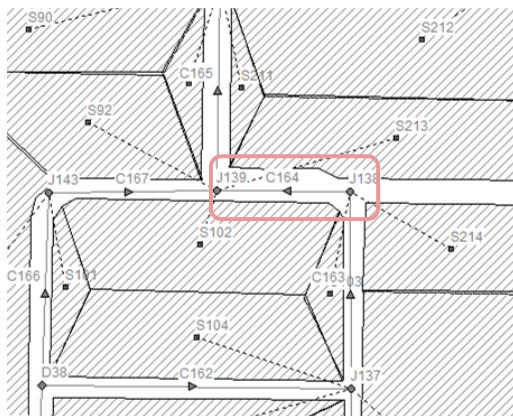


Figura 109 - Detalle calle 'C164'

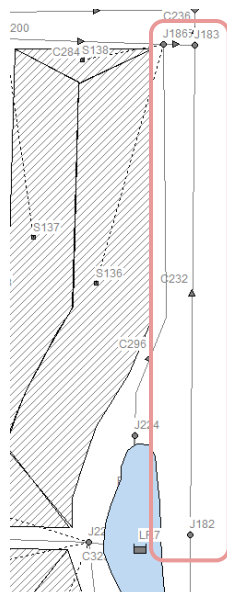


Figura 110 - Detalle calle 'C232'

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 245 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Para analizar estos resultados es necesario recordar que la altura de cordón es igual a 0,15 metros, este es el límite a verificar. En este sentido, la calle 'C232' tiene un tirante máximo que sobrepasa el nivel de cordón y, por tanto, no verifica según la normativa vigente.

En la Figura 111 se observa un detalle de la sección de la calle 'C232', con el nivel máximo alcanzado por el agua, pudiendo observar cómo se supera la altura del cordón y se invade parte de la vereda.

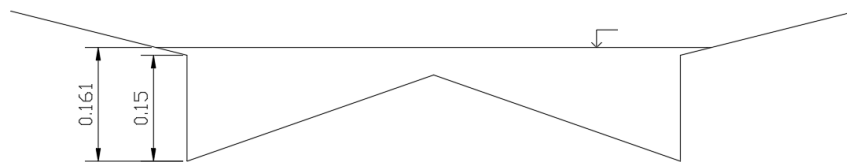


Figura 111 - Detalle de sección de la calle 'C232' - Escala en X:1:1, Escala en Y: 10:1

III.1.1.2.2. Verificación de calles (10 años de recurrencia)

Solo a los fines de complementar los resultados presentados anteriormente, a continuación, se observan los tirantes máximos para la lluvia de diseño, pero con 10 años de recurrencia. Esta recurrencia debe ser verificada en aquellas calles de gran importancia en una ciudad, considerando la necesidad de que algún vehículo de emergencia pueda transitar por ella sin problema durante un evento. Para la urbanización de análisis, no es necesario realizar esta verificación ya que todas las calles pueden considerarse como vecinales, no obstante, resulta interesante observar cómo todas las calles que antes verificaban continúan haciéndolo, es decir, tienen un tirante menor a 0,15 metros (ver Tabla 37).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 246 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 37 - Tirantes máximos en las calles para 10 años de recurrencia

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	589.877	3.500	0.173
C164	242.063	3.500	0.162
C236	988.968	3.500	0.140
C38	608.928	3.500	0.129
C37	540.252	3.500	0.129
C321	581.820	3.500	0.128
C39	842.916	3.500	0.127
C79	400.000	3.500	0.121
C192	702.607	3.500	0.107
C231	589.877	3.500	0.106
C136	209.097	3.500	0.102
C33	424.277	3.500	0.101
C304	155.845	3.500	0.099
C229	589.877	3.500	0.097
C230	589.877	3.500	0.096

Nótese aquí que, como es de esperar, las calles que para 5 años de recurrencia no verificaban tampoco lo hacen ahora.

III.1.1.2.3. Verificación de inundabilidad de viviendas (100 años de recurrencia)

En la siguiente tabla se observan las calles con mayor tirante de agua para una lluvia de 100 años de recurrencia (ver Tabla 38).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 247 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 38 - Tirantes máximos en las calles para 100 años de recurrencia

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	850.137	3.500	0.206
C164	354.174	3.500	0.193
C236	1404.225	3.500	0.165
C38	873.838	3.500	0.152
C321	848.873	3.500	0.152
C37	775.458	3.500	0.152
C39	1217.128	3.500	0.149
C192	1017.890	3.500	0.125
C231	850.137	3.500	0.124
C79	400.000	3.500	0.121
C136	304.143	3.500	0.119
C33	608.482	3.500	0.117
C304	226.632	3.500	0.115
C229	850.137	3.500	0.113
C317	1446.240	3.500	0.111

Tal como puede observarse, ninguna de las calles alcanza o supera un tirante de 0,45 metros, por lo que la urbanización verifica frente a la inundabilidad de las viviendas.

III.1.1.2.4. Resumen de inundabilidad de calles

En síntesis, en la urbanización existen 2 (dos) calles que igualan y/o superan el nivel de cordón para la lluvia de diseño de 180 minutos y 5 años de recurrencia, estas no verifican la normativa vigente. Por otro lado, para una lluvia de 100 años de recurrencia, ninguna de las calles alcanza un tirante de 0,45 metros, por tanto, verifican frente a la inundabilidad de las viviendas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 248 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.2. Limitación del modelo y solución adoptada

Frente a los resultados obtenidos en el modelo hidrológico de la urbanización observados en el título anterior, es necesario destacar una gran limitación que el mismo presenta y que da lugar a comportamientos que se alejan de lo que puede suceder en la realidad.

Esta limitación recae en las lagunas modeladas y su capacidad de almacenamiento: frente a cualquier lluvia, si la laguna llega a su nivel máximo capaz de almacenar el agua, el software no permite que se acumule más agua en la laguna y, por tanto, todo el volumen que debería ingresar a la misma una vez ésta se llena, es una pérdida del sistema. En la realidad, en cambio, sucede que una vez que la laguna se inunda, el agua rebalsa del reservorio y escurre según la topografía del lugar, lo cual, en este caso, es hacia las calles más aledañas.

Entonces, en el modelo realizado hasta el momento, no existe, como tal, un rebalse de las lagunas, simplemente el tirante llega hasta su nivel máximo (correspondiente a la profundidad de la laguna) y evita el ingreso de más agua, causando que las calles aledañas y, por tanto, todo el sistema, se encuentre más descargado. Esto último puede explicar por qué las lagunas de retención no tienen un comportamiento adecuado, pero, simultáneamente, las calles verifican no presentan un escenario tan desfavorable.

No obstante, este problema no puede ser solucionado mediante alguna propiedad o comando directo en el software de modelado, que permita trasladar directamente el agua que rebalsa de las lagunas hacia las calles. Debe ser solucionado, en cambio, mediante algún arreglo ficticio cuyo comportamiento se asemeje lo mayor posible a la realidad.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 249 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En este sentido, es necesario realizar un nuevo modelo. En él, la solución de continuidad se obtendrá mediante la modelación de vertederos en cada una de las lagunas que se llenan completamente. Los cuales tendrán un nivel (cota respecto al fondo) igual al punto máximo de acumulación de las lagunas y un ancho correspondiente a la parte del perímetro de las mismas en donde el agua empieza a rebalsar, información que es posible obtenerla mediante los modelos digitales de elevación y las curvas de nivel realizadas.

A modo de ejemplo respecto al diseño de los vertederos, en las figuras siguientes se observan las curvas de nivel correspondientes a la laguna 2, la cual es una laguna de infiltración. En la Figura 112 se observa, en color rojo, la curva de nivel que demarca el nivel máximo de acumulación de agua en la laguna. A partir de esta, la laguna pierde capacidad de retención de agua, conclusión que es posible definir observando la siguiente curva de nivel, la cual se encuentra pintada de rojo en la Figura 113.

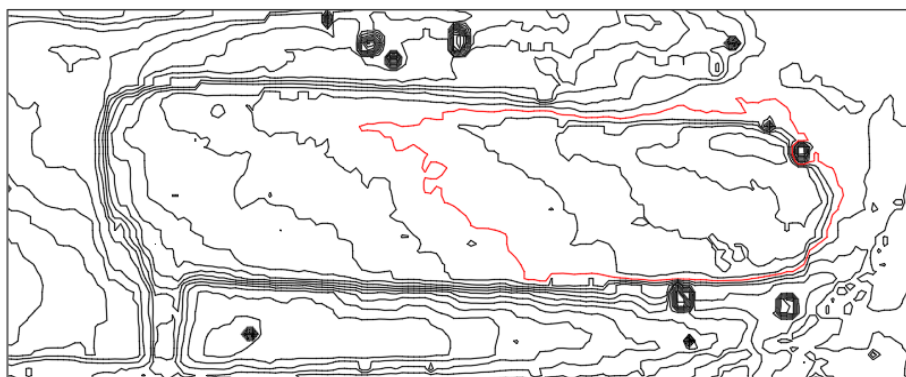


Figura 112 - Curvas de nivel de Laguna 2 y su cota de 'cierre' (en rojo)

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 250 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

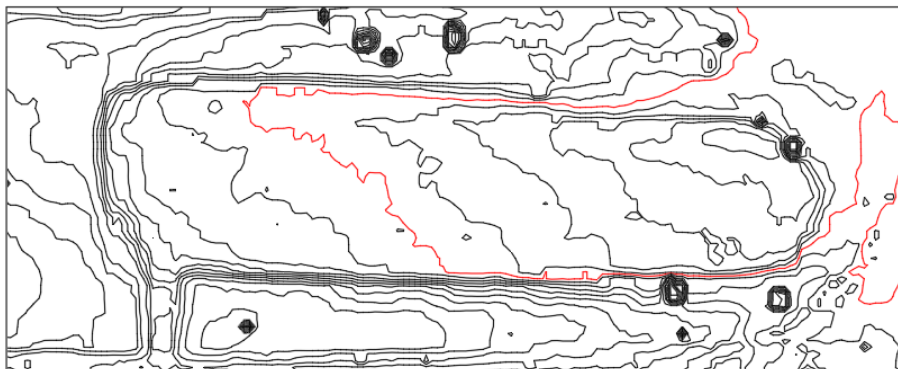


Figura 113 - Curvas de nivel de Laguna 2 a partir del nivel máximo

Entonces, el vertedero a diseñar, en este caso, se ubicará en el margen derecho de la laguna, con un ancho aproximado igual al de la línea marcada en azul en la Figura 114.

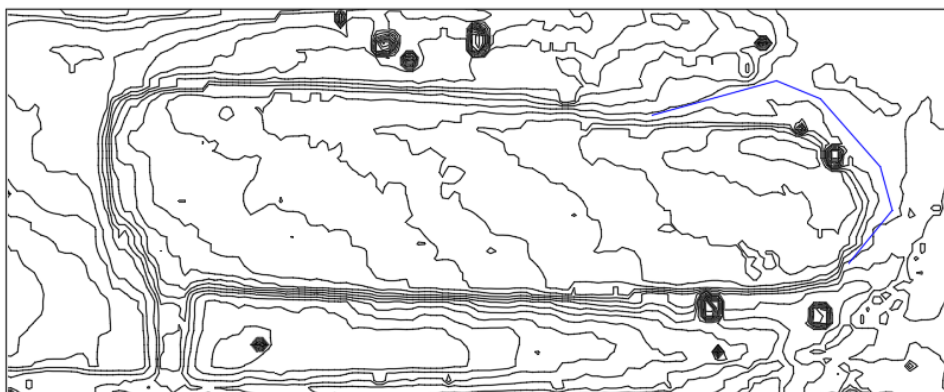


Figura 114 - Ubicación y ancho aproximado del vertedero de la Laguna 2

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 251 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En el modelo, la modelación de este vertedero no presenta dificultades y se realiza de la misma forma de los ya modelados y explicados en el título 'Modelación hidrológica del barrio en EPA SWMM'. El único detalle a definir es a qué nodo llegará el agua rebalsada de la laguna, el cual, lógicamente, será siempre el más cercano a la posición del vertedero.

Para el caso particular de la laguna 2, el vertedero en el modelo se puede observar en la Figura 115, que lleva el nombre de 'Weir R14' y eroga el agua hacia el nodo 'D46'.

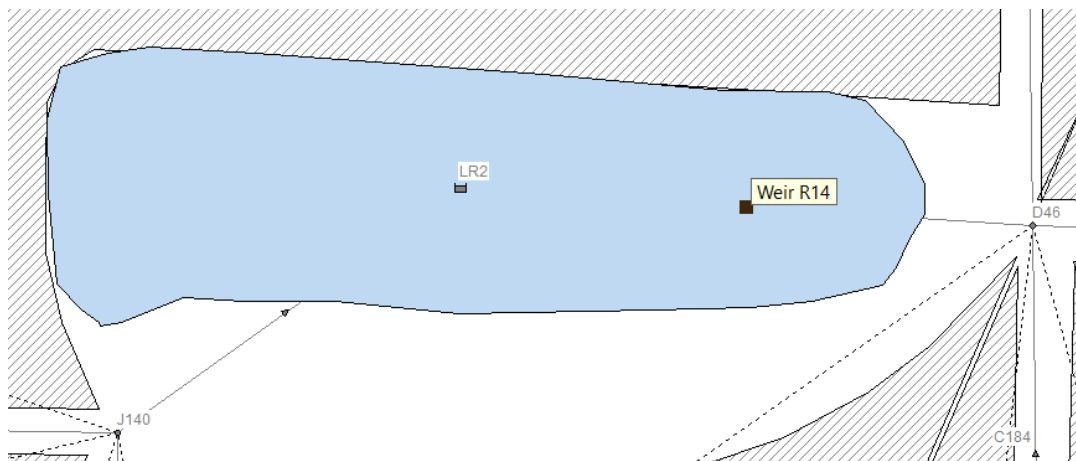


Figura 115 - Vertedero de la Laguna 2

Este procedimiento se repite para todas las lagunas (infiltración y erogación), revisando cada caso puntual.

Ahora bien, resulta importante notar que a las lagunas que verifican según los en el título 'Lluvias IDF', también se les aplicó el cambio anteriormente mencionado. Esto permitirá verificar estas lagunas en función de la activación del vertedero (es decir que, de ahora en más, se controlará la actividad del hidrograma del dispositivo de descarga), de manera que

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 252 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



cuando se llega a la cota de vertedero se concluye que esta cota no verifica, porque significa que la laguna llega a su cota máxima de acumulación de agua. A su vez, esto también permite verificar las calles en última instancia, en caso de que las lagunas que anteriormente verificaban ahora no lo hacen, y por tanto llevan agua hacia las calles aledañas.

Lo que sigue es, entonces, analizar los resultados obtenidos frente a las mismas lluvias descritas en el título 'Lluvias IDF', es decir, según lo que plantea la normativa, habiendo realizado los cambios en el modelo.

III.2.1. Resultados del modelo corregido

Lo que se presentará a continuación es cómo ha influido el arreglo realizado en las lagunas que alcanzaban su punto máximo en las demás lagunas y en las calles de la urbanización. Esto exigirá realizar una reverificación según la normativa vigente, sobre todo de las calles las cuales se espera que tengan más agua que escurrir.

III.2.1.1. Influencia sobre lagunas de retención

Es claro que en este nuevo modelo no es necesario realizar una verificación de aquellas lagunas que ya se inundaban frente a una lluvia puntual. No obstante, resulta interesante observar el porcentaje de llenado de las demás lagunas, aquellas que no sufren un desborde, ya que se espera mayor agua en todo el sistema. En este sentido, los presentes resultados serán solo de las lagunas 1, 3, 5 y 11.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 253 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.2.1.1.1. Laguna 1

Frente a una lluvia de 25 años de recurrencia, la laguna 1 se llena un 62,5% de su totalidad de almacenamiento (ver Tabla 39).

Tabla 39 - Comportamiento de la Laguna 1 en el modelo solucionado

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	0.600	31.8	0.0	88.7	1.173	62.2	0	03:38	6.55

Esto es, la laguna se llena un 17% más que en el modelo anterior (ver Tabla 15), confirmando la hipótesis antes mencionada. No obstante, continúa sin rebalsar y, por tanto, verificando frente a la normativa.

III.2.1.1.2. Laguna 3

Se llena un total de 41,6% del total de su almacenamiento (ver Tabla 40).

Tabla 40 - Comportamiento de la Laguna 3 en el modelo solucionado

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR3	0.553	16.0	0.0	99.4	1.441	41.6	0	03:40	11.64

Esto es, se llena un 3,6% más que en el modelo anterior, condición menos desfavorable que el caso de la laguna 1. Al mismo tiempo, continúa verificando.

III.2.1.1.3. Laguna 5

No sufre cambios respecto al modelo anterior.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 254 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.2.1.1.4. Laguna 11

No sufre cambios respecto al modelo anterior.

III.2.1.2. Influencia sobre las calles

Tal como se mencionó anteriormente, es de esperar que en los caudales y tirantes de las calles se observe mayor variación respecto al modelo antes realizado, ya que, con la solución adoptada, no existe pérdida de agua debido a la inundación de las lagunas, por el contrario, ese volumen de agua se dirige hacia las calles.

III.2.1.2.1. Verificación 5 años de recurrencia

La siguiente tabla muestra las calles con mayor tirante en el barrio frente a una lluvia de 5 años de recurrencia en el nuevo modelo corregido (ver Tabla 41).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 255 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 41 - Tirantes máximos en las calles en el modelo corregido (5 años de recurrencia)

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	1136.665	3.500	0.237
C236	1703.280	3.500	0.181
C271	656.875	3.500	0.152
C164	205.698	3.500	0.150
C319	2542.848	3.500	0.148
C39	1172.113	3.500	0.147
C317	2542.848	3.500	0.142
C38	742.613	3.500	0.141
C37	645.630	3.500	0.140
C67	1104.017	3.500	0.139
C69	1232.810	3.500	0.138
C297	340.296	3.500	0.134
C66	1017.692	3.500	0.133
C68	1157.198	3.500	0.129
C305	200.151	3.500	0.126

Como puede observarse, en contraste con la Tabla 36, el mayor tirante corresponde a la calle 'C232' (cuya ubicación puede observarse en las Figuras 108 y 110) y es igual a 0,237 metros, seguido por la 'C236', con 0,181 metros, la 'C271' con 0,152 metros y la 'C164' con 0,15 metros.

A partir de estos resultados, es importante notar que las calles 'C236' y 'C271' que antes verificaban cuando las lagunas no contaban con vertedero perimetral para considerar su desborde ahora dejan de hacerlo, por consecuencia de este cambio en el modelo. Estas calles que antes no se presentaron al verificar satisfactoriamente, pueden observarse en la Figura 116:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 256 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

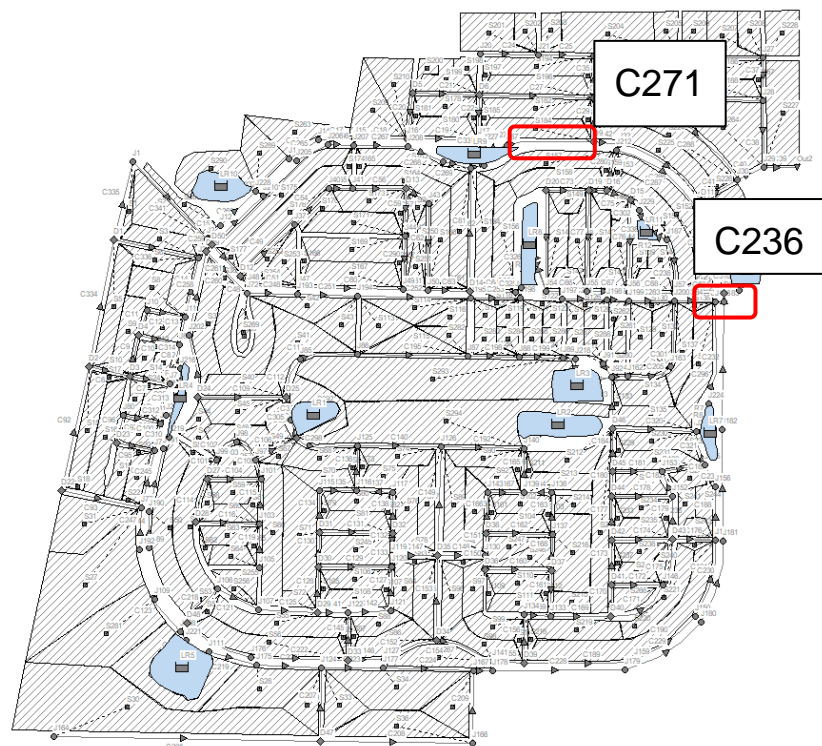


Figura 116 - Ubicación de las calles C236 y C271

Sumado a esto, se presentan a continuación la sección de la calle acompañado de su tirante de agua, para cada una de las cuatro calles anteriormente mencionadas (C232, C164, C236, C271):

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 257 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

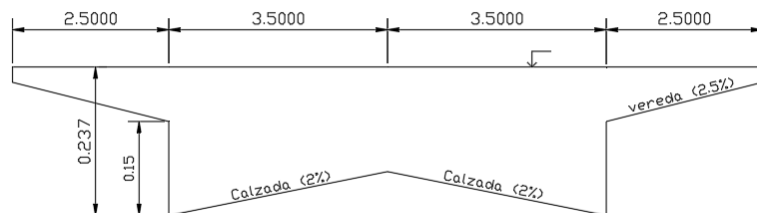


Figura 117 - Sección para calle C232 y tirante de agua máximo

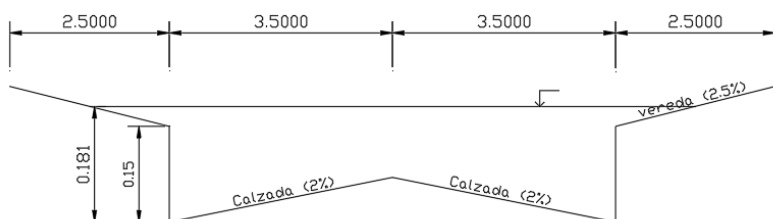


Figura 118 - Sección para calle C236 y tirante de agua máximo

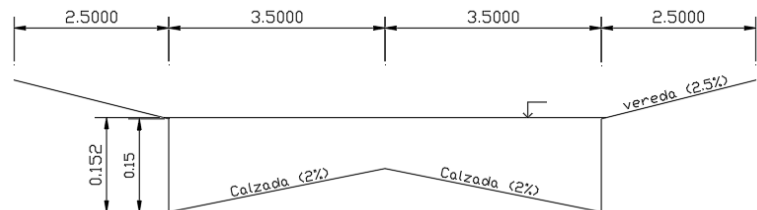


Figura 119 - Sección para calle C271 y tirante de agua máximo

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 258 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

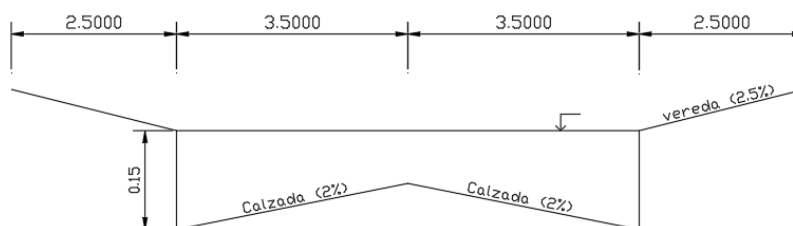


Figura 120 - Sección para calle C164 y tirante de agua máximo

Estos resultados indican que, por un lado, la hipótesis de que con el arreglo realizado iba a existir más agua en el sistema es correcta y, por otro lado, recordando que la altura de cordón es de 0,15 metros, las cuatro calles mencionadas sobrepasan el nivel máximo a verificar.

En resumen, en el primer escenario de modelación (con errores de continuidad), existían 2 (dos) calles dentro de la urbanización que sobrepasaban en nivel de cordón, es decir, no verifican frente a la normativa. En cambio, en este nuevo escenario, con la solución de continuidad adoptada, son 4 (cuatro) calles las que sobrepasan el nivel máximo permitido (para una lluvia de 5 años de recurrencia, 180 minutos).

Particularmente, dos de ellas, como es de esperar, son las mismas que en el primer modelo y frente a las soluciones adoptadas aumentan hasta un 47% su tirante de agua. Lo relevante a destacar es que una de las nuevas calles que en el nuevo escenario no verifican, la 'C271', ahora supera el nivel máximo permitido por consecuencia directa a la inundación de una laguna de retención.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 259 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Es decir, el arreglo realizado no solo aumenta la cantidad de agua en todo el sistema, causando un aumento en el tirante de agua y caudal en todas las calles, sino que provoca que las calles ubicadas en cercanías a las lagunas inundadas superen, incluso, su nivel máximo permitido para la recurrencia dada (5 años).

III.2.1.2.2. Verificación 10 años de recurrencia

La situación antes descrita se agrava incluso más para una lluvia de 10 años de recurrencia, en donde, tal como se observa en la Tabla 42, existen 7 (siete) calles que igualan y sobrepasan el nivel de cordón.

Tabla 42 - Tirantes máximos en calles en el modelo corregido (10 años de recurrencia)

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	1492.183	3.500	0.271
C236	2150.908	3.500	0.202
C319	3179.143	3.500	0.164
C164	242.063	3.500	0.162
C317	3179.143	3.500	0.157
C39	1312.007	3.500	0.155
C271	639.878	3.500	0.150
C37	735.372	3.500	0.149
C38	843.196	3.500	0.149
C69	1425.960	3.500	0.148

Escenario mucho más desfavorable que el que se ha enseñado en el título anterior, en el cual solo 2 (dos) calles superaban el nivel máximo (ver Tabla 37) y que implican la no verificación.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 260 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.2.1.3. Influencia sobre la inundabilidad de las viviendas

Tal como se mencionó en el título anterior, la verificación de la inundabilidad de las viviendas, según la normativa vigente, consta en que el tirante de agua en las calles no supere 0,45 metros desde el fondo del cordón cuneta para la lluvia de diseño de 100 años de recurrencia. En la Tabla 43 se observa el tirante máximo de agua alcanzado en las calles frente a esta recurrencia.

Tabla 43 - Tirantes máximos en las calles en el modelo corregido (100 años de recurrencia)

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	2123.348	3.500	0.321
C297	1988.829	3.500	0.310
C29	1749.160	3.500	0.268
C271	2077.528	3.500	0.263
C37	2264.227	3.500	0.254
C38	2434.884	3.500	0.247
C236	3026.033	3.500	0.239
C39	3100.748	3.500	0.233
C81	1457.344	3.500	0.225
C32	1738.706	3.500	0.213
C33	2097.681	3.500	0.206
C164	354.174	3.500	0.193
C261	1273.959	3.500	0.192
C258	2073.959	3.500	0.187
C319	4136.245	3.500	0.186

Es posible notar que no se alcanza en ninguna de las calles del barrio un tirante de más de 0,45 metros, siendo el más desfavorable el de la calle 'C232' con 0,321 metros. Esto es, la urbanización verifica frente a la inundabilidad de las viviendas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 261 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



No obstante, resulta interesante destacar cómo el escenario frente a esta lluvia de diseño es considerablemente más desfavorable que el que se había obtenido en el primer modelo hidrológico, cuyos resultados pueden observarse en la Tabla 38, en el cual el tirante máximo alcanzado era de 0,206 metros. Obteniendo una gran cantidad de calles con un tirante incluso superior al nivel máximo de las veredas (0,213 metros).

III.2.2. Análisis de resultados frente a lluvias IDF

Frente a una lluvia de diseño obtenida a través de curvas IDF, las conclusiones respecto al drenaje pluvial de la urbanización a partir de los resultados obtenidos por el modelo corregido son las siguientes.

Por un lado, las lagunas de retención e infiltración presentan claras deficiencias en su funcionamiento:

Son solo 4 (cuatro) de las 11 (once) lagunas que verifican según la normativa, esto es, el 36% de la totalidad de los reservorios. No obstante, una de ellas, la laguna 11, prácticamente no recibe agua. Esto es, se encuentra ubicada erróneamente dentro del sistema de drenaje del barrio. Esto puede evidenciarse por el porcentaje de llenado de la misma, el cual es solo del 3,5%.

Las otras tres lagunas (1, 3 y 5) que verifican su funcionamiento lo hacen de forma correcta, es decir, no se inundan. No obstante, el caso de la laguna 3 podría considerarse como un caso de sobredimensionamiento, ya que fue diseñada para erogar caudal y, frente a las lluvias de diseño, no lo hace. Sin embargo, esto último no trae consecuencias en el drenaje del barrio, por el contrario, permite que exista menor agua escurriendo por las calles.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 262 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



El resto de lagunas, aquellas que no verifican, tienen un factor común: se inundan. Es decir, más allá de que se trate de una laguna de retención (tal como la laguna 4, 7, 8 y 9) o de infiltración (tal como la laguna 2, 6 y 10), el resultado negativo es debido a que el pelo de agua supera el nivel máximo de la laguna y no debido a que erogan mayor caudal del que existía en el estado natural.

Esto último puede interpretarse de varias maneras, las cuales dependen de qué tipo de laguna se está analizando. En general, las obras tienen un problema muy importante en cuanto a su relación Altura-Área (curva H-A): es posible denotar que las curvas H-A reales (a partir de las curvas de nivel obtenidas por los modelos digitales de terreno realizados en el presente) difieren de manera importante de las teóricas que se esperan en reservorios correctamente diseñados y construidos. En prácticamente todos los casos, la topografía existente muestra superficies irregulares, con taludes discontinuos, pendientes abruptas y cotas que no acompañan una forma natural de acumulación de agua. Tal es el caso de la Laguna 8 representada en la Figura 121, donde las curvas de nivel evidencian que el vaso presenta una depresión pronunciada sólo en el extremo derecho, lugar en donde, por cierto para esa laguna en particular, se encuentran los canales de ingreso y de egreso, empeorando aún más su funcionamiento.

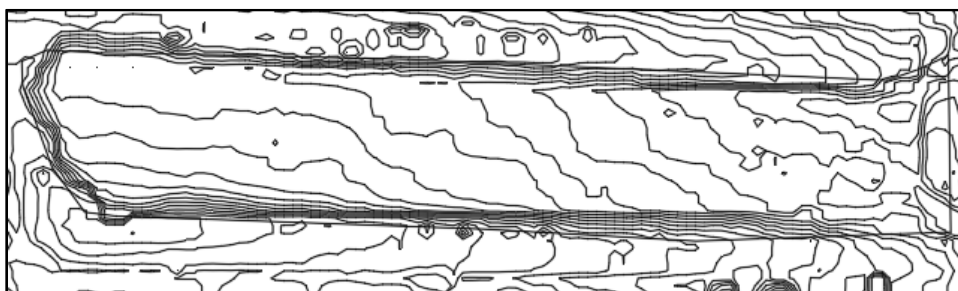


Figura 121 - Curvas de nivel de Laguna de retención 8

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 263 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Este tipo de configuración genera que el volumen útil se concentre en un único sector, reduciendo significativamente la capacidad efectiva de almacenamiento y alterando el comportamiento hidráulico esperado.

Como consecuencia, las lagunas no acumulan el agua de forma progresiva ni homogénea, sino que tienden a llenarse de manera localizada y repentina, impidiendo el adecuado proceso de laminación de caudales. Esta discrepancia entre las condiciones reales y las teóricas explica por qué las lagunas no alcanzan la verificación hidráulica frente a la normativa.

Los motivos de este comportamiento inadecuado pueden ser varios, entre ellos, por un lado, una mala construcción, lo que incluye un mal control de obra y verificación de las obras ejecutadas, y, por otro lado, el mal mantenimiento de la laguna, lo que supone una acumulación de suelo, basura, malezas y la irregularidad en los taludes.

Particularmente, el mantenimiento periódico de la laguna supone una tarea fundamental en este tipo de obras, entendiendo que en suelos con alto contenido de finos como es el caso (limos y arcillas), el material suspendido en el agua acumulada tiende a sedimentar rápidamente y generar una disminución en el volumen de almacenamiento de la laguna. Otro aspecto a tener en cuenta en relación al mantenimiento corresponde a la erosión de los taludes, lo que modifica las cotas, pendientes internas y además transporta material al fondo, disminuyendo el volumen disponible. Luego, la obstrucción de los conductos con basura y malezas dificulta la capacidad de erogar el caudal por las obras de descarga (descargador y vertedero).

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 264 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



A modo de síntesis, la construcción de las lagunas de retardo no termina con la simple ejecución material de las mismas, sino que, para asegurar el correcto funcionamiento de estas a lo largo del tiempo, se debe incorporar algún tipo de plan de mantenimiento periódico.

Asociado a este escenario, se demostró que 4 (cuatro) calles superan el nivel de cordón para una lluvia puntual de 5 años de recurrencia, resultando en una no verificación de la normativa vigente. El motivo está relacionado, principalmente, al mal funcionamiento de las lagunas por dos motivos: en primer lugar, porque el volumen de agua que sobrepasa el nivel máximo de los reservorios se dirige directamente hacia las calles; en segundo lugar, porque las lagunas no cumplen su principal función, la de retener el agua y erogarlos lentamente. Al verse superadas rápidamente, no cumplen el papel de aliviador de las calles, causando que a medida que el agua escurre hacia el punto de salida de todo el barrio, va acumulándose constantemente, causando que las calles más cercanas al final de la cuenca, como es el caso de la 'C232' y la 'C236', se inunden fácilmente.

Sin embargo, según los resultados obtenidos para una lluvia de 100 años de recurrencia, lo anterior no se traduce en una potencial inundación de las viviendas de la urbanización. Esto es un resultado positivo sobre todo cuando se piensa en la calidad de vida de los vecinos de la urbanización. El mismo puede deberse, principalmente, al ancho de las calles y las veredas, que permiten una acumulación de mucho caudal, pero con un tirante no tan sustancial.

III.3. Tren de Lluvias

En esta instancia, se ha analizado y verificado el comportamiento hidráulico de la urbanización frente a lluvias puntuales y recurrencias tal como lo exige la normativa actual, habiendo realizado correcciones pertinentes al modelo y obteniendo, de aquí, primeras

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 265 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



conclusiones. Sin embargo, además de un evento aislado, resulta interesante verificar el comportamiento hidráulico de la urbanización mediante una secuencia de lluvias separadas por un intervalo de tiempo, conocido como Tren de Lluvias. Por más que las autoridades correspondientes no lo exijan para la aprobación de una nueva urbanización.

Esta metodología busca representar de manera más realista la sucesión de eventos de precipitación que pueden ocurrir en un período de tiempo corto dentro de una misma cuenca. A diferencia del análisis convencional basado en una única lluvia de diseño (evento aislado), el tren de lluvias permitiría evaluar la respuesta hidráulica del sistema frente a una serie de tormentas consecutivas o de diferente intensidad y duración, tal como suelen suceder en la realidad.

Por su parte, la aplicación de trenes de lluvias resulta especialmente útil en entornos urbanos, donde los tiempos de concentración son reducidos y los sistemas de escurrimiento pueden verse rápidamente sobrecargados ante eventos sucesivos.

En este trabajo, el tren de lluvias se conformará a partir de dos lluvias puntuales obtenidas mediante la metodología IDF, pero con distintos tiempos de recurrencia. Esto permite analizar cómo el sistema urbano responde ante una primera lluvia de menor magnitud, seguida por otra más intensa y viceversa, simulando una situación de saturación progresiva del terreno y de los sistemas de drenaje.

Específicamente, se trabajará con dos trenes de lluvia compuestos por lluvias de recurrencia de 5 y 25 años y viceversa, con una duración igual a 180 minutos cada una y un tiempo de 6 horas entre cada evento. En la Tabla 44 y en las Figuras 122 y 123 pueden observarse los hietogramas correspondientes a estos dos trenes.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 266 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 44 - Hietogramas de trenes de lluvia modelados

Hietogramas tren de lluvias				
5 y 25 años			25 y 5 años	
min	mm		min	mm
30,0	7,99		30,0	10,73
60,0	32,63		60,0	43,81
90,0	15,32		90,0	20,56
120,0	5,99		120,0	8,05
150,0	2,66		150,0	3,58
180,0	2,00		180,0	2,68
210,0	0		210,0	0
240,0	0		240,0	0
270,0	0		270,0	0
300,0	0		300,0	0
330,0	0		330,0	0
360,0	0		360,0	0
390,0	0		390,0	0

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 267 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



420,0	0		420,0	0
450,0	0		450,0	0
480,0	0		480,0	0
510,0	0		510,0	0
540,0	0		540,0	0
570,0	10,73		570,0	7,99
600,0	43,81		600,0	32,63
630,0	20,56		630,0	15,32
660,0	8,05		660,0	5,99
690,0	3,58		690,0	2,66
720,0	2,68		720,0	2,00

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 268 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			

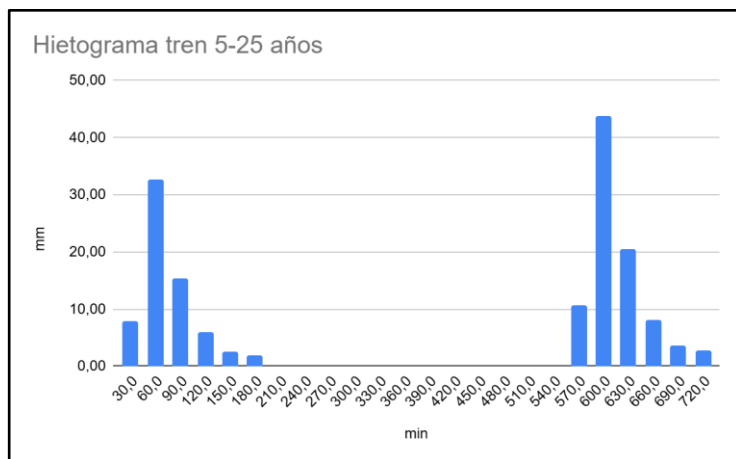


Figura 122 - Hietograma para tren de 5-25 años

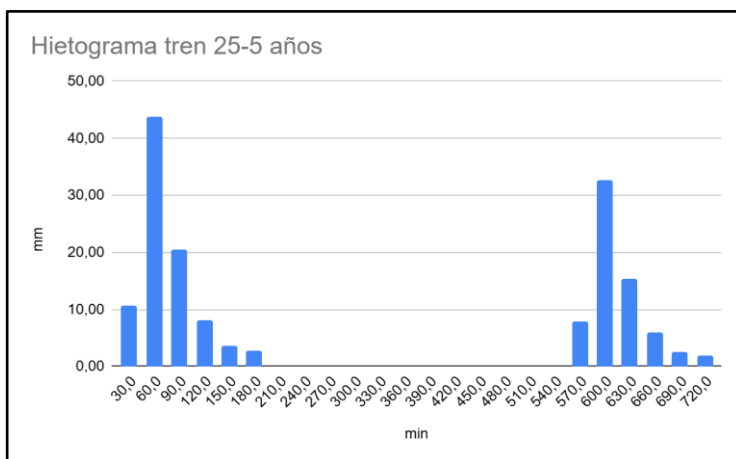


Figura 123 - Hietograma para tren de 25-5 años

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 269 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.3.1. Resultados

III.3.1.1. Lagunas de retención

III.3.1.1.1. Tren 5 - 25 años

Como es lógico, las lagunas de retención que ya se veían inundadas en frente a un evento puntual de 25 años de recurrencia, continúan sin verificar, este es el caso de las lagunas 2, 4, 6, 7, 8, 9 y 10. Sumado a este escenario, tal como se observa en la Tabla 45, la laguna 1 y la laguna 5, las cuales anteriormente verificaban su inundabilidad cómodamente, ante un tren de lluvias se inundan.

Tabla 45 - Comportamiento de las lagunas 1 y 5 frente a tren de lluvias (5-25)

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR5	0.035	14.0	0.0	31.6	0.250	100.0	0	10:47	43.51
LR1	1.216	64.5	0.0	59.4	1.885	100.0	0	11:10	7.22

Por su parte, la laguna 3, otra que no lograba inundarse, se llenó un 71,1% (ver Tabla 46), sumando un 29,8% de llenado al aplicar este tren de lluvia respecto al evento puntual.

Tabla 46 - Comportamiento de la Laguna 3 frente a tren de lluvias (5-25)

Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR3	1.186	34.2	0.0	73.1	2.463	71.1	0	11:55	48.20

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias		Revisión: 02	Página 270 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



III.3.1.1.2. Tren 25 - 5 años

En este caso, se observan comportamientos diferentes en las lagunas: la laguna 1 se llena, pero la 5 alcanza el 96,2% de su almacenamiento máximo (ver Tabla 47).

Tabla 47 - Comportamiento de las lagunas 1 y 5 frente a tren de lluvias (25-5)

Storage Unit	Average Volume 1000 m³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	1.264	67.0	0.0	60.2	1.885	100.0	0	11:00	7.22
LR5	0.036	14.6	0.0	32.5	0.240	96.2	0	11:13	42.03

Es decir, para esta configuración de tren de lluvia, el escenario es levemente más favorable.

III.3.1.2. Calles

III.3.1.2.1. Tren 5 - 25 años

En la Tabla 48 se observan los mayores tirantes de agua alcanzados en las calles debido a un tren de lluvias de 5 y 25 años. De aquí, la calle 'C232' continúa siendo la más desfavorecida de la urbanización, en este caso, con un tirante de agua igual a 0,307 metros.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 271 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 48 - Tirantes máximos en las calles para tren de lluvias (5-25)

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	1932.905	3.500	0.307
C236	2782.680	3.500	0.229
C319	4209.312	3.500	0.188
C164	316.796	3.500	0.183
C317	4209.312	3.500	0.179
C297	622.125	3.500	0.178
C39	1719.522	3.500	0.176
C271	840.757	3.500	0.170
C37	961.580	3.500	0.169
C38	1104.802	3.500	0.169
C67	1663.416	3.500	0.168
C69	1849.187	3.500	0.167
C66	1538.895	3.500	0.161
C68	1740.003	3.500	0.156
C29	502.548	3.500	0.148

III.3.1.2.2. Tren 25 - 5 años

Distinto al caso anterior, para un tren compuesto por una lluvia de 25 años y luego una de 5 años, el tirante máximo en las calles es de 0,293 metros, para la 'C232', tal como se observa en la Tabla 49.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 272 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 49 - Tirantes máximos en las calles para tren de lluvias (25-5)

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	1755.411	3.500	0.293
C297	1313.172	3.500	0.254
C236	2515.531	3.500	0.218
C271	1160.048	3.500	0.198
C39	1959.491	3.500	0.187
C37	1187.396	3.500	0.186
C29	818.857	3.500	0.186
C38	1345.380	3.500	0.186
C164	287.784	3.500	0.175
C319	3379.430	3.500	0.169
C317	3379.430	3.500	0.162
C258	1383.075	3.500	0.155
C81	655.853	3.500	0.154
C69	1470.503	3.500	0.150
C67	1301.660	3.500	0.150
C33	1050.881	3.500	0.149

III.3.2. Análisis de resultados de tren de lluvias

La aplicación de los trenes de lluvia definidos en el modelo ha arrojado resultados muy interesantes en cuanto al comportamiento del drenaje del barrio, principalmente cuando se analiza y verifica el funcionamiento de las lagunas.

Tal como se ha mencionado repetidas veces, la normativa actual exige realizar el diseño de una laguna de retención para un evento de 25 años de recurrencia. No obstante, los resultados demuestran que si ese evento puntual es antecedido o seguido por otro evento pero de tan solo 5 años de recurrencia, causa el desborde de algunas lagunas que frente al evento aislado de no lo hacían.

El motivo de esto es la combinación de dos características: por un lado, el suelo no tiene la capacidad de infiltración suficiente para poder eliminar toda el agua que recibe la laguna

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 273 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ante el primer evento de lluvia, haciendo que, llegado el segundo, continúe existiendo agua en el reservorio; Por otra parte, pero asociada a la anterior, las lagunas no tienen el suficiente volumen para poder almacenar dos eventos puntuales, más bien pueden haber sido diseñadas para una única lluvia.

La conclusión anterior puede observarse en el siguiente gráfico (ver Figura 124), en donde se observa la variación de tirante de agua en la Laguna 1 a lo largo del tiempo durante el tren de lluvia de 5-25 años. Aquí se observa como el segundo evento comienza y la laguna había podido disminuir no más de 0,10 metros, causando que se alcance su nivel máximo frente a esta nueva lluvia.

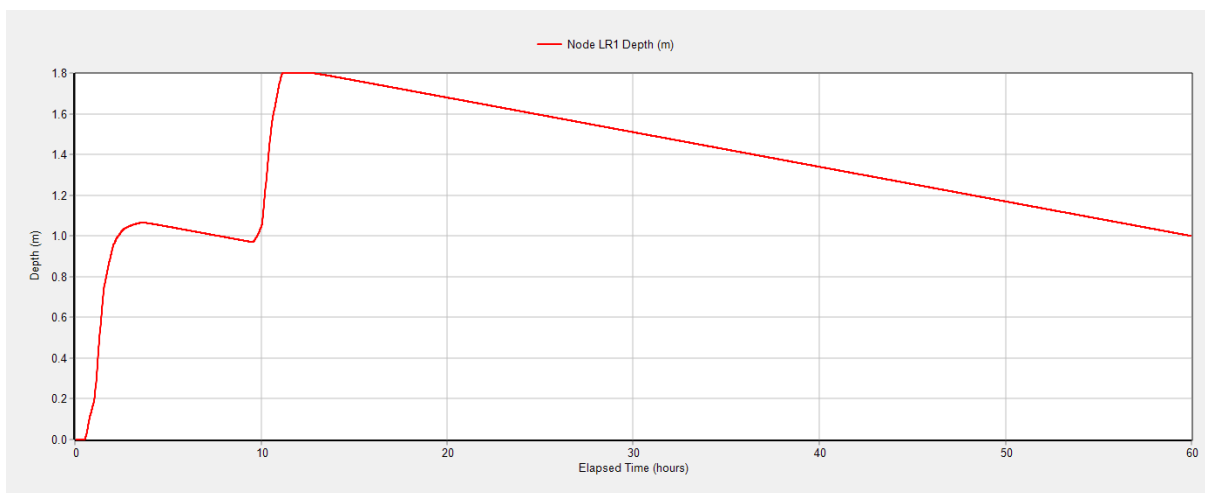


Figura 124 - Variación del tirante en la Laguna 1 frente a tren de lluvia (5-25)

Ahora bien, no solo resulta importante destacar estas consecuencias, sino el hecho de que un tren de lluvias tiene una probabilidad de ocurrencia muy elevada, sobre todo en la provincia de Córdoba, en donde los eventos extremos suelen originarse por la combinación

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 274 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



de lluvias frontales y convectivas, cuando masas de aire cálido y húmedo interactúan con frentes fríos o con la topografía serrana, dando lugar a tormentas de alta intensidad (Caamaño Nelli & Dasso, 2003).

En definitiva, entonces, diseñar y verificar una obra hidráulica como una laguna de retención para una urbanización/loteo en la provincia de Córdoba con un evento aislado permitirá la aprobación del proyecto, pero no garantiza el buen funcionamiento de la misma ante eventos en donde la lluvia puntual utilizada en el diseño está acompañada por otra lluvia de menor intensidad.

Por otro lado, los resultados demuestran que un tren de lluvias no provocará mayores inconvenientes en las calles de la urbanización que el evento puntual de mayor intensidad que conforma al tren. Siempre y cuando la duración de cada lluvia y la separación entre ellas son suficientes para garantizar que el agua escurra y descargue a la calle previo a la caída de mayor volumen de agua.

III.4. Lluvias a partir de Redes neuronales

La tercera y última metodología de lluvia de diseño a modelar y comparar es la que se refiere al uso de Redes Neuronales. En el presente trabajo se trabajará con proyecciones de lluvia: de 2 y de 25 años extraídas de Catalini et al. (2025, en prensa). Cada proyección incorpora, a su vez, tres intensidades de lluvia: el valor medio, el límite mínimo y el límite máximo. La región de aceptación tiene una probabilidad del 95%.

Existe una particularidad en esta proyección de lluvia que refiere a que el valor medio de intensidad de ambos años es prácticamente igual al que se puede obtener a partir de las

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 275 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



curvas IDF. Por otro lado, el valor máximo y mínimo se obtiene como un coeficiente de mayoración y minoración a partir del valor medio. De esto último, específicamente el valor de minoración y mayorización para la lluvia de 2 años son iguales a 0,46 y 1,1 respectivamente; y los coeficientes de minoración y mayoración para la lluvia de 25 años son iguales a 0,65 y 1,39 respectivamente.

En las siguientes tablas se observa la lámina de lluvia para las proyecciones mencionadas, observando el rango de valores mínimo, medio y máximo según Redes Neuronales.

Tabla 50 - Rango de lámina de lluvia para 2 años de proyección

Lamina de lluvia [mm]			
T [años]	2		
d [min]	Minimo	Medio	Maximo
5	4,5	9,9	10,8
15	8,7	19,0	20,9
30	12,3	26,7	29,3
60	16,3	35,5	39,1
90	18,9	41,1	45,2
100	19,6	42,5	46,8
120	20,8	45,2	49,7
135	21,5	46,8	51,5
160	22,6	49,1	54,0
180	23,3	50,7	55,8
360	27,6	60,0	66,0
540	29,8	64,8	71,3
720	31,5	68,4	75,2
900	32,4	70,5	77,6
1080	33,1	72,0	79,2
1260	33,8	73,5	80,9
1440	34,2	74,4	81,8

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 276 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 51 - Rango de lámina de lluvia para 25 años de proyección

Lamina de lluvia [mm]			
T [años]	25		
d [min]	Minimo	Medio	Maximo
5	11,27	17,33	24,09
15	21,68	33,35	46,36
30	30,45	46,85	65,12
60	40,56	62,40	86,74
90	47,00	72,30	100,50
100	48,64	74,83	104,02
120	51,61	79,40	110,37
135	53,38	82,13	114,15
160	56,16	86,40	120,10
180	58,11	89,40	124,27
360	68,64	105,60	146,78
540	74,30	114,30	158,88
720	77,22	118,80	165,13
900	79,95	123,00	170,97
1080	81,90	126,00	175,14
1260	83,27	128,10	178,06
1440	84,24	129,60	180,14

Las lluvias que se utilizarán en el presente estudio son las láminas de ambas proyecciones (2 y 25 años) contemplando todo el rango (el mínimo, medio y máximo) para una duración de 180 minutos, la misma que las lluvias antes definidas. Lo que resulta en 6 (seis) lluvias obtenidas a partir de redes neuronales, cuyos hietogramas pueden observarse en el Anexo 1.

En cuanto a las características de estas lluvias obtenidas a partir de métodos RNA es necesario notar un aspecto fundamental: el límite máximo de una proyección se encuentra siempre muy cercano o hasta puede superar el valor medio de una proyección de más años. Esto es, entendiéndolo desde los conceptos de las curvas IDF, una intensidad de 'x' años de recurrencia puede igualar o superar la intensidad de hasta '4x' años de recurrencia.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 277 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Particularmente para las lluvias proyectadas, en la Figura 125 se observan las curvas de intensidad vs duración para una proyección de 25 años, sus respectivos límites obtenidos a partir de redes neuronales y una proyección de 100 años. Aquí, la curva de 100 años se encuentra por debajo del límite superior de 25 años.

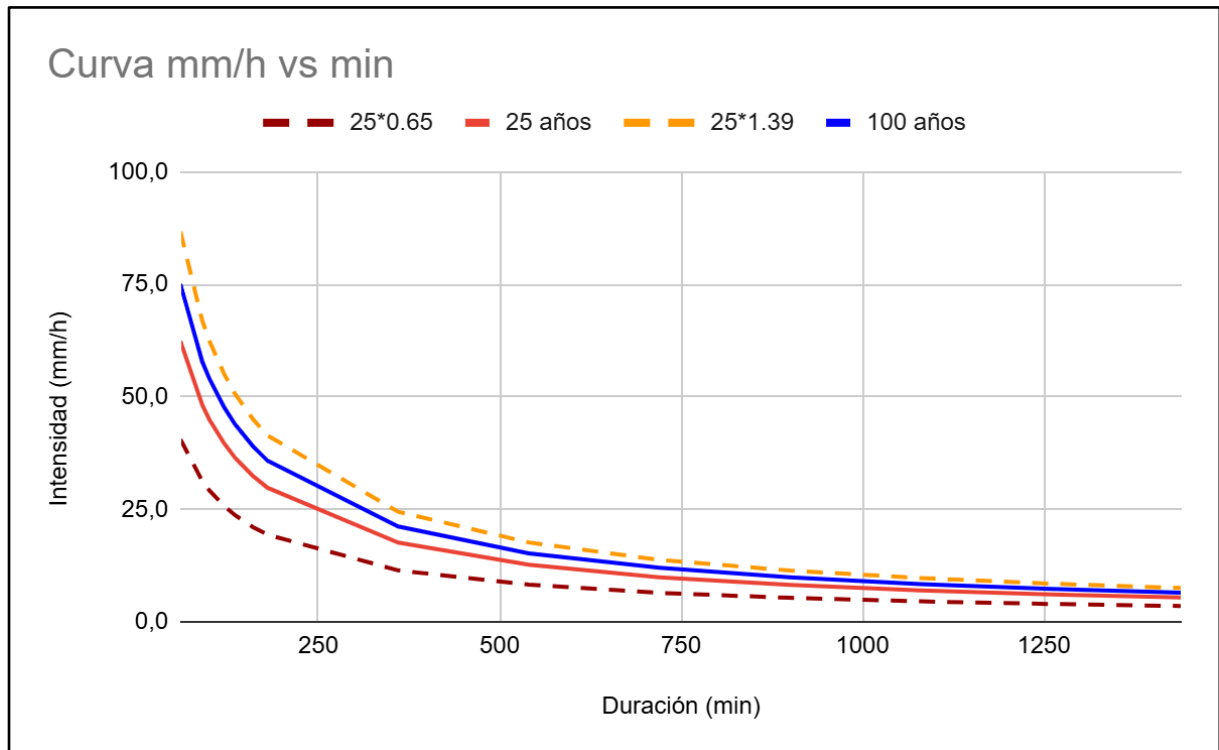


Figura 125 - Curva Intensidad vs duración para diferentes proyecciones

Estos resultados se trasladan al diseño de forma directa, ya que, frente a este escenario, diseñar alguna obra de drenaje para 100 años de recurrencia puede implicar que esa misma obra se vea superada frente a un evento de 25 años de recurrencia.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 278 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.4.1. Resultados de lluvias RN

III.4.1.1. Proyección de 2 años

Los resultados para la proyección de 2 años, sea el límite mínimo, medio y máximo, se resumen en lo siguiente:

1. El límite mínimo causa que las lagunas 2, 4, 6, 8 y 9 se vean colmatadas, esto es, se inundan. Ninguna calle sufre una inundación: no se supera el nivel de cordón.
2. El valor medio causa que, además de las lagunas anteriores, se suman las lagunas 7 y 10 como aquellas que se inundan. Una de las calles de la urbanización, la 'C232', cuya ubicación se observa en las Figuras 108 y 110, tiene un tirante de agua igual a 0,165 metros, superando el nivel de cordón.
3. El escenario para el límite máximo de la proyección es el mismo que el anterior: las lagunas 2, 4, 6, 7, 8, 9 y 10 se inunda y la calle 'C232' supera el nivel de cordón, en este caso con un tirante máximo igual a 0,18 metros.

Los detalles de los resultados anteriores pueden observarse en el Anexo 1.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 279 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.4.1.2. Proyección de 25 años

Del mismo modo que en la proyección anterior, los resultados para la proyección de 25 años, sea el límite mínimo, medio y máximo, se resumen en lo siguiente:

1. El límite inferior causa que las lagunas 2, 4, 6, 7, 8, 9 y 10 se vean colmatadas, esto es, se inunden. La calle 'C232' supera el nivel de cordón, en este caso con un tirante máximo igual a 0,187 metros y la calle 'C271' alcanza un tirante máximo igual a 0,15 metros, justo al nivel de cordón.
2. El valor medio, tal como se detalló al inicio del presente apartado, es el mismo que se utiliza en las lluvias puntuales IDF, es decir, los resultados obtenidos aquí son los mismos que se han detallado en el título 'Influencia sobre lagunas de retención' para las lagunas. En síntesis, son las lagunas 2, 4, 6, 7, 8, 9 y 10 las que se rebalsan. Por su parte, 15 (quince) calles tienen un tirante máximo que supera al nivel de cordón, siendo el valor máximo igual a 0,293 metros, en la calle 'C232'.
3. Para el límite superior el escenario anterior es incluso más desfavorable: por un lado, la laguna 5, que antes no se inundaba, frente a esta lluvia de diseño si lo hace. Mientras que la laguna 1 alcanza un 91,7% de llenado.

En cuanto a las calles, la cantidad de estas que superan el nivel de cordón es igual a 31 (treintaiuno). Donde la calle 'C232' (la más desfavorable) alcanza un tirante máximo de hasta 0,355 metros.

Los detalles de los resultados anteriores pueden observarse en el Anexo 1.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 280 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.4.2. Análisis de resultados de lluvias RN

Los resultados del comportamiento del drenaje del barrio son muy variados debido a la cantidad de escenarios diseñados. Para no extender demasiado el análisis y redundar en comportamientos similares a los ya descritos, la conclusión se centrará en los aspectos más importantes del drenaje del barrio frente a estas lluvias.

El primer aspecto a destacar se basan en los resultados obtenidos frente a una lluvia de solo 2 (dos) años de proyección: aquí, se observa que, incluso para el límite inferior, algunas lagunas del barrio se ven rebalsadas, como es el caso de las lagunas 2, 4, 6, 8, y 9. Esto empeora para los demás límites de esta proyección, ya que se incorporan a la lista de lagunas inundadas la 7 y la 10 y, además, una calle del barrio tiene un tirante máximo más allá del nivel de cordón en el límite superior. Esto último reafirma el pobre funcionamiento de las obras de retención ya que esta lluvia tiene una probabilidad de ocurrencia muy elevada.

Luego, en cuanto a los resultados para 25 años de proyección, es de destacar que frente al límite superior de proyección se inunda una de las lagunas que con los límites inferiores no lo hacía, esta es la 5. Esto implica, en definitiva, que una laguna que verifica frente a la normativa vigente, a una lluvia de 25 años de recurrencia, deja de hacerlo si se contempla la variabilidad. Por su parte, la laguna 1 continúa sin inundarse, pero aumenta hasta un 30% su tirante máximo frente a la lluvia de valor medio, el cual es análogo al que se obtiene de una curva IDF.

Lo anterior es el aspecto más importante de los resultados analizados: un evento que contiene un alto grado de probabilidad de ocurrencia, causa la inundación de una laguna que antes no se inundaba y un aumento de hasta 30% en el tirante de agua en otras lagunas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 281 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Lo mismo sucede con las calles, en las cuales, en promedio, el tirante aumenta un 18,6%, y el caudal un 59,7% entre todas las calles de la urbanización entre ambos escenarios (el valor medio y límite superior de 25 años de proyección).

En síntesis, el aumento de 39% de intensidad de lluvia entre el valor más probable y el límite superior de 25 años de proyección se traducen en una inundación en una laguna que funcionan correctamente desde metodologías de hidrología tradicional, aumentos de tirantes máximos de hasta el 30% otras lagunas, un aumento de casi 19% en los tirantes máximos en las calles y un 60% de mayoración en los caudales máximos de estas últimas. Lo más importante, es que todas estas variaciones tienen un rango de aceptación de hasta 95%.

III.5. Lluvia real

A modo de complementar el análisis anteriormente descrito, resulta interesante modelar una última lluvia. Esta se trata de una lluvia real ocurrida en la Ciudad de Córdoba el día 31 de diciembre del año 2023, la cual causó grandes inundaciones a lo largo y ancho de toda la ciudad.

Para extraer la información de esta lluvia, se hará uso de la página web 'Weather Underground'. Este sitio web es un servicio internacional de recopilación y difusión de datos meteorológicos que integra información proveniente tanto de estaciones oficiales como de redes de estaciones personales certificadas. Su principal ventaja es la disponibilidad de series temporales de alta resolución, especialmente útiles en análisis hidrológicos urbanos.

Los datos empleados en este trabajo provienen específicamente del pluviómetro ICRDOB150, una estación ubicada en el campus de la Universidad Católica de Córdoba, al

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 282 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



sur de la ciudad, que reporta precipitaciones acumuladas con una frecuencia adecuada para modelación hidrológica.

La lluvia registrada el día 31/12/23 comenzó a las 22:24 hs y finalizó a las 6:39 hs, es decir, tuvo una duración de 8:15 horas. No obstante, el evento de mayor intensidad se dio entre las 22:24 hs y las 11:24 hs, lapso en el que cayeron casi 47 mm de lluvia. El hietograma de esta lluvia es el siguiente (ver Figura 126):

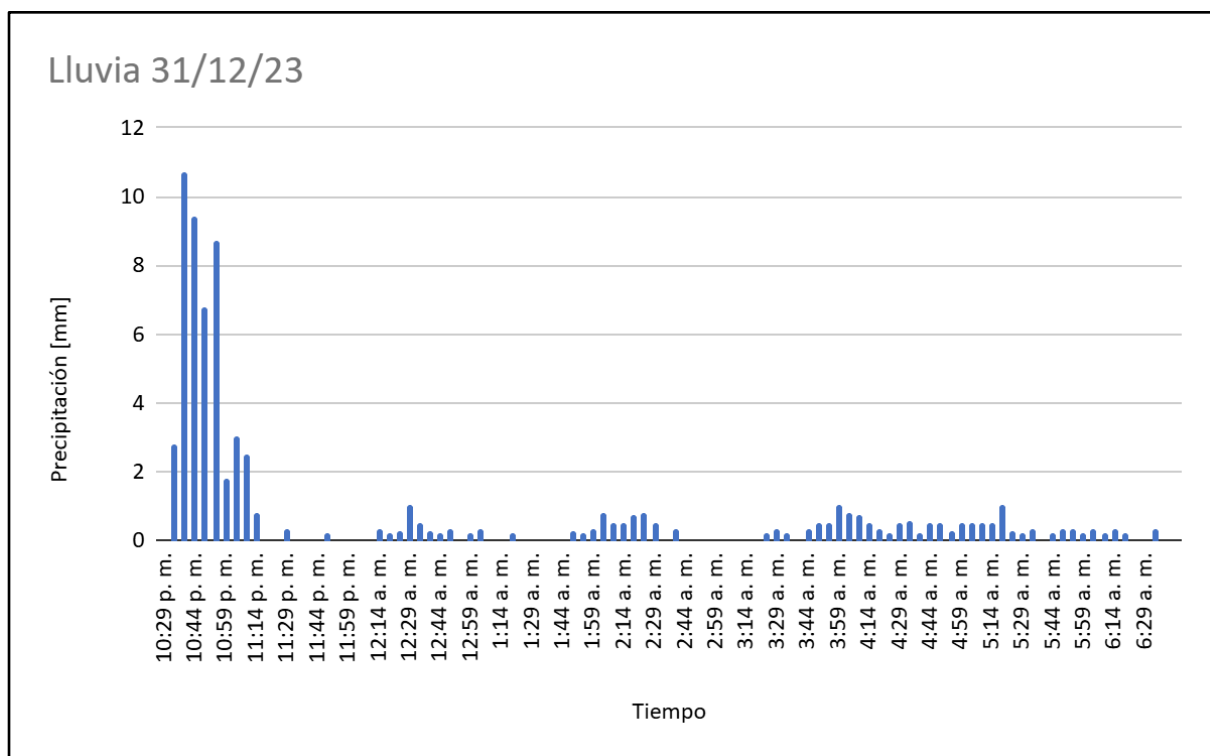


Figura 126 - Hietograma de lluvia real (31/12/23)

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 283 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



El detalle de la cantidad de agua caída medida por el pluviómetro, que conforma a este hietograma, puede consultarse en el Anexo 1.

A simple vista, se puede destacar un aspecto muy importante en este evento que está íntimamente relacionado con el presente trabajo: se pueden identificar 4 (cuatro) picos de lluvias bien marcadas a lo largo de las 8 horas de duración total. Esto reafirma lo que se comentó en el título ‘Trenes de lluvia’, de que esta tipología de eventos, en donde se pueden dar una cierta cantidad de lluvias separadas por un lapso de tiempo, son comunes en la Ciudad de Córdoba.

Por otro lado, como se comentó, el primer pulso de lluvia fue el más intenso por diferencia. No obstante, a partir de un análisis de las curvas IDF de la región (vistas en la Tabla 8 del título ‘Lluvia IDF’), 47 mm de lluvia caídos en una hora equivale a una recurrencia de 5 años aproximadamente.

Lo anterior adopta importancia más allá de los resultados que se puedan obtener en la urbanización de análisis, ya que, para este evento en particular, la ciudad de Córdoba sufrió grandes inundaciones, afectando a muchas personas. Aun así, no se trató de un evento extraordinario, sino de solamente 5 años de recurrencia según las lluvias registradas en la región. En otras palabras, el evento analizado en cuestión corresponde a uno relativamente común, pero con consecuencias muy graves tales como el colapso del paquete estructural en la calle Vélez Sarsfield (Figura 127), o la cantidad de caudal llevado por “La cañada” (Figura 128) el día del evento.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 284 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 127 - Colapso del paquete estructural en calle V. Sarsfield, 01/01/2024



Figura 128 - Caudal llevado por "La Cañada" 01/01/2024

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 285 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



III.5.1. Resultados de lluvia real

En el caso de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados luego de modelar la lluvia antes descrita.

III.5.1.1. Lagunas

Frente a esta lluvia, sufren inundaciones las lagunas 6,8 y 9. Las demás lagunas no colapsan.

Los detalles del comportamiento de las mismas pueden observarse en el Anexo 1.

III.5.1.2. Calles

En cuanto a las calles, el tirante máximo alcanzado es igual a 0,106 metros, ocurrido en la 'C271' (Tabla 52). Esta última, a modo de recordatorio, es una calle a la cual llega el agua proveniente de la laguna 9 cuando ésta se inunda.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 286 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 52 - Tirantes máximos en las calles para la lluvia real

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C271	309.393	3.500	0.109
C79	216.164	3.500	0.094
C29	158.980	3.500	0.091
C39	374.616	3.500	0.091
C38	222.429	3.500	0.086
C37	191.021	3.500	0.085
C232	95.007	3.500	0.081
C164	41.972	3.500	0.079

Entonces, ninguna calle del barrio sufre un tirante máximo más allá del nivel de cordón frente a la lluvia analizada.

III.5.2. Análisis de resultados de lluvia real

Los resultados anteriores demarcan una particularidad interesante en cuanto al comportamiento del sistema de drenaje del barrio analizado.

Según lo modelado, la lluvia del 31 de diciembre del 2023 causó la inundación de 3 (tres) de las 11 (once) lagunas. Mientras que ninguna calle superó el nivel de cordón. Esto es un escenario menos desfavorable del que se ha podido observar ante lluvias de 5 años de recurrencia y 180 minutos de duración. De aquí se concluye la gran influencia de la duración del evento en el comportamiento del barrio.

Más allá de la intensidad del evento, ante una misma recurrencia, el aumento en la duración de la lluvia provoca un escenario mucho más crítico en el barrio analizado. Para 1

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 287 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



(una) hora de duración y 5 años de recurrencia (lluvia del 31/12/23), se inundan tres lagunas y ninguna calle supera el cordón. Pero para 3 (tres) horas de duración y 5 (cinco) años de recurrencia (lluvia IDF), son siete de once lagunas las que se inundan, y cuatro calles superan el nivel de cordón.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 288 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



IV. CAPÍTULO CUARTO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo ha demostrado resultados muy interesantes en cuanto al comportamiento hidráulico de una urbanización real frente a diferentes metodologías de diseño, esto es, frente a distintas lluvias. A partir de estos, surgen conclusiones variadas y, con ellas, recomendaciones que apuntan a diferentes aspectos encontrados a lo largo de todo el estudio.

En este sentido, se podrían clasificar las conclusiones finales en dos grandes grupos: por un lado, existen conclusiones que pueden definirse como 'particulares' y refieren a aquellos resultados propios de cada una de las metodologías realizadas (lluvia IDF, Tren de lluvia y lluvia RN); Por otra parte, podrán realizarse conclusiones 'generales', que incluyen a todas las metodologías y que son, en sí mismas, las principales conclusiones del presente trabajo.

IV.1. Conclusiones particulares

- 1) En base a las condiciones topográficas y de modelación realizadas en el presente trabajo, las cuales tienen su propia precisión, la urbanización de estudio presenta algunas falencias en su drenaje pluvial frente a la normativa vigente. Existen 11 (once) lagunas de retención ubicadas a lo largo de todo el barrio, de las cuales 7 (siete) sobrepasan su nivel máximo, esto es, se inundan, frente a una lluvia puntual de 180 minutos de duración y 25 años de recurrencia extraída de curvas IDF, lluvia que la

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 289 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



normativa exige para el diseño y la verificación de este tipos de obras. De hecho, este escenario de colmatación se da incluso para una lluvia de 2 años de recurrencia.

- 2) Con las mismas condiciones que lo anterior, de la totalidad de las calles del barrio, 4 (cuatro) de ellas sufren inundaciones, esto es, superan el nivel de cordón (0,15 metros) frente a una lluvia puntual de 180 minutos de duración y 5 años de recurrencia extraída de curvas IDF. Esta falencia se debe, principalmente, al incorrecto funcionamiento de las lagunas ya que, al verse inundadas estas últimas, el volumen de agua que sobrepasa el nivel máximo se dirige hacia las calles, causando inundaciones en las vías adyacentes, pero, además, no cumpliendo la función de retener y “ralentizar” el escurrimiento del agua por ellas, causando grandes volúmenes de agua en las calles cercanas al final de las cuencas.
- 3) Dos trenes de lluvias compuesto por dos lluvias puntuales de 5 y 25 años (extraídas ambas de las curvas IDF) de 180 minutos cada una y separadas por un intervalo de 6 horas, en orden intercalados, demuestran que la situación antes descrita es aún más desfavorable, ya que causa que 2 (dos) lagunas que frente a una lluvia puntual no se inundaban, lo hagan. El motivo es que el suelo no tiene la capacidad de infiltrar toda el agua que ingresa a las lagunas en la primera lluvia antes que comience la segunda. Acompañado a esto, las lagunas no cuentan con el suficiente volumen para almacenar el volumen de agua de dos eventos. Por su parte, el hecho de que las demás lagunas en el barrio se inunden, aumenta la cantidad de agua en el sistema, colaborando con el escenario descrito.
- 4) El uso de una lluvia obtenida a partir de Redes Neuronales demuestra que el diseño de cualquier obra hidráulica a partir de una lluvia obtenida por una curva IDF, la cual es el valor más probable, puede verse superado con una probabilidad de ocurrencia elevada (rango de aceptación del 95%). Esta consecuencia puede determinarse

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 290 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



únicamente analizando las proyecciones realizadas: el límite superior de ocurrencia de una lluvia de 2 años es muy cercano al valor medio más probable de 5 años; por su parte, el límite superior de una lluvia de 25 años supera al valor medio de una lluvia de hasta 100 años. Es decir, diseñar una laguna de retención con una lluvia puntual de 25 años (valor medio) no garantiza su perfecto funcionamiento ya que, con prácticamente la misma probabilidad de ocurrencia, puede caer una lluvia que represente hasta 100 años.

- 5) Las lluvias RN con las características mencionadas en el punto anterior, en el barrio analizado, permiten analizar cómo aumenta el tirante máximo de las lagunas de retención y de los caudales en las calles frente a variaciones del valor medio. Demostrando un aumento de hasta un 60% en los caudales y un 19% en los tirantes máximos de las calles, comparando una lluvia de valor medio vs límite superior de 25 años (180 minutos de duración).

En cuanto a las lagunas, lo interesante recae en analizar el funcionamiento de aquellas que no se inundan frente a una lluvia puntual IDF de 25 años de recurrencia. En estas, se observa hasta un 30% de aumento del tirante de agua acumulada en la Laguna 1, mientras que la Laguna 5, que presenta un correcto funcionamiento en el valor medio de 25 años, se inunda frente al límite superior.

- 6) El análisis para un caso de lluvia real expuesta en el título “Resultados para lluvia real” expone que, en el barrio de estudio, la duración del evento de lluvia para una misma recurrencia tiene una gran influencia en el comportamiento hidráulico del drenaje urbano.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 291 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La lluvia del 31/12/2023, según la lámina de lluvia y la duración de esta (1 hora), se asimila a una recurrencia de 5 años. En este escenario, son 3 (tres) de las 11 (once) lagunas las que no verifican, y ninguna calle ve superado su nivel de cordón.

Este escenario resulta en un caso mucho menos desfavorable que el que se puede observar para la misma recurrencia y 3 horas de duración. En este, son 7 (siete) de las 11 (once) lagunas las que no verifican, y 4 (cuatro) calles las que ven superadas su nivel de cordón.

IV.2. Conclusiones y recomendaciones generales

- 1) El correcto diseño hidrológico de una nueva urbanización es de vital importancia para garantizar la calidad de vida tanto de las personas que habitarán en él como las que se encuentran aledañas. No obstante, este diseño y proyecto deben ser cuidadosamente trasladados a la realidad, mediante una correcta construcción y, para nada menor, un correcto mantenimiento de las obras hidráulicas que hacen al drenaje pluvial de la urbanización. Este último es el factor más importante para que un buen proyecto se mantenga como tal a lo largo del tiempo, sobre todo en la Ciudad de Córdoba, en donde los suelos finos que predominan en la ciudad se erosionan fácilmente y generan grandes volúmenes de sedimentos.

Los problemas de inundabilidad de las lagunas y de las calles en el barrio analizado que se concluyeron en el presente trabajo pueden deberse, principalmente, a la falta de mantenimiento de las lagunas, lo que ha causado que el volumen efectivo que pueden acumular las lagunas sea cada vez menor con el paso del tiempo debido a la acumulación de sedimentos que alteran sus curvas H-A. Se propone revisar los planos

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 292 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



a partir de los cuales se llevó a cabo la construcción de la urbanización y compararla con la topografía obtenida a partir de los vuelos fotogramétricos. A partir de esto, realizar movimientos de suelo en cada una de las lagunas de retención, con el objetivo de renovar los taludes y la capacidad de embalse de las mismas, aumentando notablemente el volumen de agua que puedan almacenar. Esto se traducirá, además, en una disminución en el volumen total de agua que existe en el sistema y hará disminuir los caudales y tirantes máximos obtenidos en las calles, evitando su inundabilidad.

- 2) Resulta necesario repensar las metodologías de diseño hidrológico, referido a las lluvias de diseño.

El uso de trenes de lluvia para la verificación de las obras hidráulicas como lagunas de retención no son exigidos por la normativa vigente, lo cual no es aceptable sobre todo en una región como la de la Provincia de Córdoba en donde este tipo de eventos son habituales.

Lluvias a partir de Redes Neuronales incorporan un nuevo paradigma en cuanto a una lluvia de diseño, con una naturaleza distinta a las de las lluvias IDF y que demuestran que, con un alto grado de probabilidad, pueden ocurrir eventos mucho mayores a los que se utilizaron para el diseño y la verificación. Se propone, en este sentido, continuar con el análisis de estas lluvias, comparándolas con las que hoy en día se utilizan (IDF), pudiendo resolver el diseño hidrológico de una urbanización contemplando las variaciones de los valores medios (más probables) a partir de Redes Neuronales.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 293 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Finalmente, la lluvia del 31/12/2023 demuestra que muchos de los conceptos abordados a lo largo del presente no concluyen en un simple análisis teórico. Más allá de la metodología de diseño y de determinación de lluvia de diseño, es necesario entender que no representan escenarios irreales, sino que son obtenidas directamente de datos y eventos observados.

Habitualmente, ante un evento con grandes consecuencias en una ciudad, como fue el caso de esta lluvia y como pudo observarse en diferentes acontecimientos de los últimos años, como lo ocurrido en Bahía Blanca a inicios del 2025, se suele responsabilizar al cambio climático y/o ciertas acciones antrópicas que no tienen relación directa con la ocurrencia del evento en sí. En cambio, las series históricas de lluvias demuestran que estos eventos tienen una probabilidad de ocurrencia definida y no son “eventos extraordinarios”. Entonces, las consecuencias de este tipo de lluvias (“Grandes eventos”) están, en la mayoría de los casos, relacionadas con la mala planificación, diseño, construcción, mantenimiento y la poca regulación.

Lo importante, desde el punto de vista del proyectista, está en reconocer, por un lado, que los trenes de lluvia ocurren y causan mayores consecuencias que los eventos puntuales. Por otra parte, que existe variabilidad en los datos y su consideración en el diseño y análisis, en una época signada por la variabilidad climática, es de vital importancia.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 294 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CÓRDOBA
Universidad Jesuita

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 295 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



BIBLIOGRAFÍA

Tucci, C. E. M., & Bertoni, J. C. (2006, marzo). *Gestión de inundaciones urbanas* [Curso].

Tucci, C. E. M., & Bertoni, J. C. (2006, marzo). *Gestión de inundaciones urbanas* [Versión en línea]

Mafla Chamorro, F. R. (2015). *Cuantificación de los impactos de la urbanización en el macro drenaje de la cuenca del Río Pasto, Nariño, Colombia*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba].

Bertoni, J. C., & Ambrosino, S. (2004). *Inundaciones urbanas en Argentina*. Jorge Sarmiento Editor / Universitas Editorial Científica Universitaria; Instituto Nacional del Agua.

Municipalidad de Córdoba. (1985). Ordenanza n.º 8060: Fraccionamiento de tierras. Boletín Municipal n.º 1245.

Boque, A. E., & Griboff, F. (2023). *Urbanización de loteo en la Ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina* [Tesis de grado, Universidad Católica de Córdoba].

Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?*

Ministerio de Agricultura de la Nación. (s.f.). *Cambio climático*.

ODS Argentina. (2024, marzo). *Impacto del cambio climático en los recursos hídricos*

Marconetti, D. (2025, 8 de febrero). *Cómo se prepara Córdoba para mitigar el impacto del cambio climático*. *La Voz del Interior*.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 296 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Catalini, C. G. (2023, 26 de noviembre). *Cambio climático: la gestión del agua como desafío*. Universidad Católica de Córdoba.

Municipalidad de Córdoba. (s.f.). *La Municipalidad presentó el primer Plan Local de Acción Climática de la ciudad de Córdoba*.

Adger, W. N., et al. (2005). *Social-ecological resilience to coastal disasters*. Science, 309(5737), 1036–1039.

Arrhenius, S. (1896). *On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground*. Philosophical Magazine and Journal of Science.

Beniston, M., et al. (2018). *The European mountain cryosphere: A review of its current state, trends, and future challenges*. The Cryosphere, 12, 759–794.

EEA (European Environment Agency). (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*.

EEA. (2017). *Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe*.

Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). *Climate change projections for the Mediterranean region*. Global and Planetary Change, 63(2–3), 90–104.

IPCC. (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*.

IPCC. (2014). *Fifth Assessment Report: Climate Change 2014*.

IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 297 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Kundzewicz, Z. W., et al. (2007). *Freshwater resources and their management*. In: IPCC AR4 WGII.

Lindner, M., et al. (2010). *Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems*. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698–709.

Parmesan, C. (2006). *Ecological and evolutionary responses to recent climate change*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669.

ODS Argentina. (2024). *Impacto del cambio climático en los recursos hídricos*.

La Voz del Interior. (2025). *Cómo se prepara Córdoba para mitigar el impacto del cambio climático*.

Municipalidad de Córdoba. (2024). *La Municipalidad presentó el primer Plan Local de Acción Climática de la ciudad de Córdoba*.

De la Casa, A. C., & Nasello, O. B. (2015, diciembre). *Análisis periódico de las condiciones hidrológicas en la provincia de Córdoba, Argentina*. *Anales AFA*, 26(4), 170–176.

Lopez, E. & Pintos, G. & Corral, M. & Rodriguez, A. (2021). *Vulnerabilidad Hídrica del Gran Córdoba ante escenarios de sequías y análisis de alternativas de provisión de agua*. Conicet.

Gonzalez, R. et al (2019). *Monitoreo y modelado hidrodinámico del embalse San Roque, provincia de Córdoba*. FCEYFN.

Resco, P. (2023, 3 de abril). *Con 1,5 grados más, el caudal del Guadalquivir bajaría un 17%*. *Diario Córdoba*.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 298 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Andres, I. (2020). *Urbanización de un loteo en la ciudad de Chazón*. Universidad Católica de Córdoba [Tesis].

Puyol, A. & Villa, M. (s.f). *Principios y Fundamentos de la hidrología superficial*.

Vélez, M. (2000). *Hidrología para ingenieros*.

Del Pilar, A. & Mario, K. (2019). *Análisis comparativo de los métodos Racional modificado Témez, Hidrogramas unitarios SCS, Clark y Snyder en la obtención de caudales máximos para las subcuencas Cañad y Alto Chancay Lambayeque – Cuenca Chancay Lambayeque*

Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*.

Moran, W. (s.f). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*.

Sánchez, J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Pub.

Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*.

Ganancias, F. (2010). *MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA*, Mención en Recursos Hídricos. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ingeniería., 2010.

Rossmann, L. A., & Simon, M. (2022). *SWMM 5.2 user's manual* (EPA/600/R-22/XXX). U.S. Environmental Protection Agency.

Caamaño Nelli, G., & Dasso, C. M. (2003). *Lluvias de diseño: conceptos, técnicas y experiencias*. Editorial Universitas.

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 299 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Caamaño Nelli, G., Colladon, L., Dasso, C. M., García, C. M., Catalini, C. G., Rico, A. F., & otros. (2010). *Desarrollo y aplicaciones sobre lluvias de diseño en Argentina*. Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida.

Weber, J. F. (2015). *Estimación de los parámetros del modelo de infiltración de Philip para áreas permeables del ejido urbano de la ciudad de Córdoba, Argentina*. Aqua-LAC, 7(1), 39–48.

Weber, J. F. (2014). *Parámetros del modelo de pérdidas CN-SCS para áreas permeables de la ciudad de Córdoba, Argentina*. Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, Argentina.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.

Sirohi, S. (2025). *Hydraulic modeling for flood risk assessment and mitigation*. *Journal of Water Resource Engineering and Pollution Studies*, 10(1), 43–62. Mantech Publications.

Díaz Buelvas, A. J., López De La Cruz, J., Gutiérrez Pérez, J. A., & Orozco Medina, I. (2025). *Impacto de las inundaciones fluviales asociadas a eventos extremos de precipitación en zonas urbanas: caso de estudio arroyo Las Liebres de la ciudad de León, Guanajuato*. *Acta Universitaria*, 35, e3300. <https://doi.org/10.15174/au.2025.4267>

Nguyen, N. A., Chu, V. T., Nguyen, L. H., Ha, A. T., & Nguyen, T. H. (2025). *Streamflow simulation in the Cau River Basin, Northeast Vietnam, using SWAT-based hydrological modelling*. *Geographies*, 5(3), 41. <https://doi.org/10.3390/geographies5030041>

Liao, Y., Wang, Z., Yu, H., Gao, W., Zeng, Z., Li, X., & Lai, C. (2025). *Accelerating urban flood inundation simulation under spatio-temporally varying rainstorms using ConvLSTM deep*

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 300 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



learning model. Water Resources Research, 61, e2025WR040433.
<https://doi.org/10.1029/2025WR040433>

Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, 4(5), 1392-1410. <https://doi.org/10.3390/rs4051392>

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 301 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CÓRDOBA
Universidad Jesuita

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código: TF FDP-2025	
Revisó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Emisión: 15 de diciembre de 2025	
Autorizó: Ingenieros Fontana y Ganancias	Revisión: 02	Página 302 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ANEXO 1: TABLAS

Caracterización de subcuencas: determinación de CN

Subcuenca (SWMM)	Subcuenca (CAD)	Area	Area calle			Area Final		% de calle	Longitud de cauce principal		Ancho de cuenca (Width)	ΔH	%	CN ponderado	S	Ia	TC [min]	LAG
		[m2]	Longitud [m]	Ancho [m]	Area [m2]	[m2]	[ha]	[%]	[m]	[pies]	[m]	[m]					[min]	[min]
S1	A1	663,7	100	7	700	1363,7	0,136	51,3	12	39,4	55,3	0,12		94,1	15,91	3,181	1,99	1,19
S2	A2	4299,3	160	7	1120	5419,3	0,542	20,7	63	206,7	68,2	0,63		91,7	23,13	4,626	4,25	2,55
S3	A3	2467,6	132	3,5	462	2929,6	0,293	15,8	25	82,0	98,7	0,25		91,3	24,32	4,864	3,34	2,00
S4	A4	261,5	28	7	196	457,5	0,046	42,8	22	72,2	11,9	0,22		93,4	17,87	3,574	2,59	1,55
S5	B1	4089,9	185	7	1295	5384,9	0,538	24,0	25	82,0	163,6	0,25		91,9	22,32	4,463	3,14	1,88
S6	B2	1834,9	132	3,5	462	2296,9	0,230	20,1	25	82,0	73,4	0,25		91,6	23,26	4,653	3,23	1,94
S7	B3	1848,6	87	7	609	2457,6	0,246	24,8	26	85,3	71,1	0,26		92,0	22,14	4,428	3,16	1,90

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 303 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S8	B4	3120,0	62	3,5	217	3337,0	0,334	6,5	56	183,7	55,7	0,56		90,5	26,60	5,320	4,52	2,71
S9	B5	2909,7	97	3,5	339,5	3249,2	0,325	10,4	28	91,9	103,9	0,28		90,8	25,63	5,125	3,58	2,15
S10	B6	260,2	64	3,5	224	484,2	0,048	46,3	10	32,8	26,0	0,1		93,7	17,08	3,415	1,98	1,19
S11	B7	1008,8	59	3,5	206,5	1215,3	0,122	17,0	26	85,3	38,8	0,26		91,4	24,02	4,805	3,35	2,01
S12	B8	936,4	58	3,5	203	1139,4	0,114	17,8	25	82,0	37,5	0,25		91,4	23,82	4,765	3,29	1,97
S13	B9	330,6	55	3,5	192,5	523,1	0,052	36,8	14	45,9	23,6	0,14		92,9	19,28	3,857	2,38	1,43
S14	B10	305,0	58	3,5	203	508,0	0,051	40,0	12	39,4	25,4	0,12		93,2	18,54	3,708	2,21	1,33
S15	C1	3791,3	180	7	1260	5051,3	0,505	24,9	24	78,7	158,0	0,24		92,0	22,10	4,420	3,08	1,85
S16	C2	4592,8	162	3,5	567	5159,8	0,516	11,0	29	95,1	158,4	0,29		90,9	25,49	5,098	3,60	2,16
S17	C3	283,3	65	3,5	227,5	510,8	0,051	44,5	11	36,1	25,8	0,11		93,6	17,47	3,495	2,07	1,24
S18	C4	178,4	33	3,5	115,5	293,9	0,029	39,3	19	62,3	9,4	0,19		93,1	18,70	3,739	2,55	1,53
S19	C5	1807,2	66	3,5	231	2038,2	0,204	11,3	24	78,7	75,3	0,24		90,9	25,41	5,081	3,40	2,04
S20	C6	141,7	33	3,5	115,5	257,2	0,026	44,9	17	55,8	8,3	0,17		93,6	17,39	3,478	2,35	1,41
S21	C7	1703,6	85	7	595	2298,6	0,230	25,9	26	85,3	65,5	0,26		92,1	21,87	4,375	3,13	1,88
S22	C8	118,9	35	7	245	363,9	0,036	67,3	16	52,5	7,4	0,16		95,4	12,28	2,457	1,81	1,09
S23	C9	905,4	57	3,5	199,5	1104,9	0,110	18,1	20	65,6	45,3	0,2		91,4	23,76	4,753	3,07	1,84
S24	C10	289,3	63	3,5	220,5	509,8	0,051	43,2	11	36,1	26,3	0,11		93,5	17,77	3,555	2,09	1,26
S25	C11	1105,2	58	7	406	1511,2	0,151	26,9	29	95,1	38,1	0,29		92,1	21,64	4,328	3,21	1,93
S26	C12	213,4	35	3,5	122,5	335,9	0,034	36,5	21	68,9	10,2	0,21		92,9	19,36	3,872	2,70	1,62

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 304 de 341
<p>DOCUMENTO CONTROLADO</p> <p>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</p> <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S27	D1	15870,6	165	7	1155	17025,6	1,703	6,8	205	672,6	77,4	2,05		90,5	26,53	5,306	6,66	4,00
S28	D2	6748,6	117	7	819	7567,6	0,757	10,8	67	219,8	100,7	0,67		90,9	25,53	5,107	4,64	2,78
S29	D3	2543,3	114	3,5	399	2942,3	0,294	13,6	54	177,2	47,1	0,54		91,1	24,86	4,972	4,27	2,56
S30	D4	24636,7	446	7	3122	27758,7	2,776	11,2	93	305,1	264,9	0,93		90,9	25,43	5,086	5,10	3,06
S31	D5	6502,5	126	3,5	441	6943,5	0,694	6,4	80	262,5	81,3	0,8		90,5	26,64	5,328	5,04	3,02
S32	D6	7106,4	121	7	847	7953,4	0,795	10,6	96	315,0	74,0	0,96		76,6	77,78	15,557	11,27	6,76
S281	D7	10787,1	20	7	140	10927,1	1,093	1,3	150	492,2	71,9	1,5		74,3	87,82	17,565	14,02	8,41
S33	E1	3110,3	114	3,5	399	3509,3	0,351	11,4	66	216,5	47,1	0,66		90,9	25,40	5,080	4,60	2,76
S34	E2	7698,1	217	7	1519	9217,1	0,922	16,5	55	180,5	140,0	0,55		91,3	24,15	4,830	4,20	2,52
S35	E3	3465,9	110	7	770	4235,9	0,424	18,2	73	239,5	47,5	0,73		91,5	23,73	4,747	4,52	2,71
S36	E4	5406,7	216	7	1512	6918,7	0,692	21,9	39	128,0	138,6	0,39		91,7	22,84	4,569	3,65	2,19
S37	F1	4610,4	223	7	1561	6171,4	0,617	25,3	30	98,4	153,7	0,3		92,0	22,02	4,403	3,29	1,97
S38	F2	501,3	78	7	546	1047,3	0,105	52,1	18	59,1	27,8	0,18		94,2	15,72	3,145	2,23	1,34
S39	F3	6561,3	190	7	1330	7891,3	0,789	16,9	25	82,0	262,5	0,25		91,3	24,06	4,811	3,31	1,99
S40	F4	3197,1	130	3,5	455	3652,1	0,365	12,5	30	98,4	106,6	0,3		91,0	25,13	5,026	3,60	2,16
S41	F5	5632,3	143	7	1001	6633,3	0,663	15,1	85	278,9	66,3	0,85		91,2	24,49	4,897	4,84	2,90
S42	F6	2874,0	160	7	1120	3994,0	0,399	28,0	39	128,0	73,7	0,39		92,2	21,36	4,272	3,48	2,09
S43	F7	2375,7	93	3,5	325,5	2701,2	0,270	12,1	61	200,1	38,9	0,61		91,0	25,23	5,046	4,47	2,68
S44	G1	804,8	63	7	441	1245,8	0,125	35,4	28	91,9	28,7	0,28		92,8	19,61	3,923	2,97	1,78

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 305 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S45	G2	3251,8	130	3,5	455	3706,8	0,371	12,3	36	118,1	90,3	0,36		91,0	25,18	5,035	3,81	2,29
S46	G3	1185,0	61	7	427	1612,0	0,161	26,5	26	85,3	45,6	0,26		92,1	21,73	4,346	3,12	1,87
S47	G4	936,3	77	3,5	269,5	1205,8	0,121	22,4	25	82,0	37,5	0,25		91,8	22,72	4,545	3,18	1,91
S48	G5	2593,4	82	7	574	3167,4	0,317	18,1	22	72,2	117,9	0,22		91,4	23,75	4,750	3,16	1,89
S49	G6	651,1	67	3,5	234,5	885,6	0,089	26,5	20	65,6	32,6	0,2		92,1	21,73	4,346	2,88	1,73
S50	H1	7538,9	291	7	2037	9575,9	0,958	21,3	37	121,4	203,8	0,37		91,7	22,98	4,597	3,61	2,16
S51	H2	339,9	77	3,5	269,5	609,4	0,061	44,2	11	36,1	30,9	0,11		93,5	17,55	3,509	2,07	1,24
S52	H3	5994,3	197	3,5	689,5	6683,8	0,668	10,3	30	98,4	199,8	0,3		90,8	25,66	5,132	3,66	2,19
S53	H4	384,0	73	3,5	255,5	639,5	0,064	40,0	13	42,7	29,5	0,13		93,2	18,54	3,709	2,27	1,36
S54	I1	326,4	73	3,5	255,5	581,9	0,058	43,9	11	36,1	29,7	0,11		93,5	17,62	3,524	2,08	1,25
S55	I2	5667,6	192	3,5	672	6339,6	0,634	10,6	30	98,4	188,9	0,3		90,8	25,59	5,118	3,65	2,19
S56	I3	6017,8	246	7	1722	7739,8	0,774	22,2	28	91,9	214,9	0,28		91,8	22,75	4,550	3,29	1,98
S57	I4	330,4	74	3,5	259	589,4	0,059	43,9	11	36,1	30,0	0,11		93,5	17,61	3,523	2,08	1,25
S58	J1	596,7	67	3,5	234,5	831,2	0,083	28,2	17	55,8	35,1	0,17		92,3	21,32	4,264	2,71	1,63
S59	J2	1825,0	77	3,5	269,5	2094,5	0,209	12,9	31	101,7	58,9	0,31		91,0	25,03	5,006	3,63	2,18
S60	J3	1419,8	92	3,5	322	1741,8	0,174	18,5	25	82,0	56,8	0,25		91,5	23,66	4,732	3,27	1,96
S61	J4	584,8	66	3,5	231	815,8	0,082	28,3	15	49,2	39,0	0,15		92,3	21,29	4,259	2,61	1,56
S62	K1	402,7	69	3,5	241,5	644,2	0,064	37,5	8	26,2	50,3	0,08		93,0	19,12	3,824	2,00	1,20
S63	K2	1960,0	92	3,5	322	2282,0	0,228	14,1	28	91,9	70,0	0,28		91,1	24,73	4,945	3,49	2,09

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 306 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S64	K3	1651,3	78	3,5	273	1924,3	0,192	14,2	27	88,6	61,2	0,27		91,1	24,71	4,942	3,45	2,07
-----	----	--------	----	-----	-----	--------	-------	------	----	------	------	------	--	------	-------	-------	------	------

S65	K4	437,0	63	3,5	220,5	657,5	0,066	33,5	16	52,5	27,3	0,16		92,7	20,05	4,010	2,55	1,53
S66	L1	5992,6	215	3,5	752,5	6745,1	0,675	11,2	29	95,1	206,6	0,29		90,9	25,45	5,090	3,60	2,16
S67	L2	545,6	67	3,5	234,5	780,1	0,078	30,1	18	59,1	30,3	0,18		92,4	20,88	4,175	2,72	1,63
S68	L3	2817,6	91	7	637	3454,6	0,345	18,4	29	95,1	97,2	0,29		91,5	23,67	4,734	3,42	2,05
S69	L4	294,6	64	3,5	224	518,6	0,052	43,2	10	32,8	29,5	0,1		93,5	17,79	3,557	2,04	1,22
S70	L5	2042,4	51	3,5	178,5	2220,9	0,222	8,0	26	85,3	78,6	0,26		90,6	26,22	5,244	3,56	2,13
S71	L6	7768,9	170	3,5	595	8363,9	0,836	7,1	47	154,2	165,3	0,47		90,6	26,45	5,290	4,27	2,56
S72	L7	1054,5	86	3,5	301	1355,5	0,136	22,2	11	36,1	95,9	0,11		91,8	22,76	4,552	2,49	1,49
S73	M1	357,4	64	3,5	224	581,4	0,058	38,5	12	39,4	29,8	0,12		93,1	18,88	3,775	2,24	1,34
S74	M2	2367,2	123	7	861	3228,2	0,323	26,7	24	78,7	98,6	0,24		92,1	21,69	4,337	3,04	1,82
S75	M3	1829,9	52	3,5	182	2011,9	0,201	9,0	34	111,6	53,8	0,34		90,7	25,97	5,194	3,83	2,30
S76	M4	3443,3	88	3,5	308	3751,3	0,375	8,2	32	105,0	107,6	0,32		90,7	26,18	5,235	3,78	2,27
S77	M5	3041,0	154	3,5	539	3580,0	0,358	15,1	25	82,0	121,6	0,25		91,2	24,50	4,899	3,35	2,01

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 307 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S78	M6	324,2	68	3,5	238	562,2	0,056	42,3	11	36,1	29,5	0,11		93,4	17,99	3,598	2,11	1,27
S79	N1	340,9	61	3,5	213,5	554,4	0,055	38,5	12	39,4	28,4	0,12		93,1	18,88	3,776	2,24	1,34
S80	N2	2340,3	103	3,5	360,5	2700,8	0,270	13,3	27	88,6	86,7	0,27		91,1	24,91	4,983	3,47	2,08
S81	N3	2363,7	106	7	742	3105,7	0,311	23,9	27	88,6	87,5	0,27		91,9	22,35	4,471	3,22	1,93
S82	N4	268,1	56	3,5	196	464,1	0,046	42,2	9	29,5	29,8	0,09		93,4	18,01	3,602	1,99	1,19
S83	O1	221,9	68	3,5	238	459,9	0,046	51,8	8	26,2	27,7	0,08		94,1	15,81	3,162	1,75	1,05
S84	O2	2065,6	76	3,5	266	2331,6	0,233	11,4	28	91,9	73,8	0,28		90,9	25,39	5,078	3,56	2,13
S85	O3	2882,0	127	3,5	231	3113,0	0,311	7,4	30	98,4	96,1	0,3		90,6	26,37	5,275	3,73	2,24
S86	O4	3105,3	129	7	903	4008,3	0,401	22,5	30	98,4	103,5	0,3		91,8	22,68	4,536	3,35	2,01
S87	O5	323,7	74	3,5	259	582,7	0,058	44,4	11	36,1	29,4	0,11		93,6	17,50	3,499	2,07	1,24
S88	O6	1839,5	66	3,5	231	2070,5	0,207	11,2	23	75,5	80,0	0,23		90,9	25,45	5,090	3,36	2,01
S89	P1	3699,6	152	3,5	532	4231,6	0,423	12,6	30	98,4	123,3	0,3		91,0	25,10	5,021	3,60	2,16
S90	P2	2278,0	120	7	840	3118,0	0,312	26,9	24	78,7	94,9	0,24		92,2	21,62	4,324	3,03	1,82
S91	P3	356,0	62	3,5	217	573,0	0,057	37,9	13	42,7	27,4	0,13		93,0	19,03	3,806	2,31	1,39
S92	P4	1835,9	52	3,5	182	2017,9	0,202	9,0	33	108,3	55,6	0,33		90,7	25,98	5,196	3,80	2,28
S93	P5	2837,1	93,5	3,5	327,25	3164,4	0,316	10,3	27	88,6	105,1	0,27		90,8	25,65	5,130	3,54	2,13

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 308 de 341
<p align="center">DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S94	P6	302,0	67	3,5	234,5	536,5	0,054	43,7	11	36,1	27,5	0,11		93,5	17,67	3,533	2,08	1,25
S95	Q1	313,6	67	3,5	234,5	548,1	0,055	42,8	11	36,1	28,5	0,11		93,4	17,88	3,577	2,10	1,26
S96	Q2	2793,6	127	3,5	444,5	3238,1	0,324	13,7	30	98,4	93,1	0,3		91,1	24,82	4,964	3,57	2,14
S97	Q3	2090,1	79	3,5	276,5	2366,6	0,237	11,7	29	95,1	72,1	0,29		90,9	25,32	5,064	3,59	2,15
S98	Q4	2714,8	133	7	931	3645,8	0,365	25,5	22	72,2	123,4	0,22		92,0	21,96	4,392	2,99	1,79
S99	Q5	2258,1	63	3,5	220,5	2478,6	0,248	8,9	31	101,7	72,8	0,31		90,7	26,01	5,202	3,73	2,24
S100	Q6	357,1	72	3,5	252	609,1	0,061	41,4	12	39,4	29,8	0,12		93,3	18,21	3,642	2,19	1,31
S101	R1	317,5	62	3,5	217	534,5	0,053	40,6	11	36,1	28,9	0,11		93,2	18,39	3,678	2,14	1,29
S102	R2	2071,3	92	3,5	322	2393,3	0,239	13,5	28	91,9	74,0	0,28		91,1	24,89	4,977	3,51	2,10
S103	R3	307,9	62	3,5	217	524,9	0,052	41,3	11	36,1	28,0	0,11		93,3	18,22	3,644	2,13	1,28
S104	R4	2011,5	92	7	644	2655,5	0,266	24,3	26	85,3	77,4	0,26		91,9	22,27	4,453	3,17	1,90
S105	S1	330,5	63	3,5	220,5	551,0	0,055	40,0	12	39,4	27,5	0,12		93,2	18,53	3,706	2,21	1,33
S106	S2	2463,5	105	7	735	3198,5	0,320	23,0	27	88,6	91,2	0,27		91,8	22,57	4,515	3,24	1,94
S107	S3	296,2	63	3,5	220,5	516,7	0,052	42,7	10	32,8	29,6	0,1		93,4	17,91	3,581	2,04	1,23
S108	S4	2284,2	105	3,5	367,5	2651,7	0,265	13,9	26	85,3	87,9	0,26		91,1	24,79	4,958	3,42	2,05
S109	T1	311,8	62	3,5	217	528,8	0,053	41,0	11	36,1	28,3	0,11		93,3	18,29	3,658	2,14	1,28

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 309 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S110	T2	2240,1	93	7	651	2891,1	0,289	22,5	29	95,1	77,2	0,29		91,8	22,68	4,537	3,32	1,99
S111	T3	2042,7	93	3,5	325,5	2368,2	0,237	13,7	27	88,6	75,7	0,27		91,1	24,82	4,963	3,46	2,08
S112	T4	336,7	63	3,5	220,5	557,2	0,056	39,6	12	39,4	28,1	0,12		93,2	18,63	3,726	2,22	1,33
S113	U1	2956,2	92	3,5	322	3278,2	0,328	9,8	74	242,8	39,9	0,74		90,8	25,78	5,156	4,81	2,89
S114	U2	2976,8	160	7	1120	4096,8	0,410	27,3	38	124,7	78,3	0,38		92,2	21,53	4,305	3,47	2,08
S115	U3	2906,7	160	3,5	560	3466,7	0,347	16,2	38	124,7	76,5	0,38		91,3	24,23	4,845	3,77	2,26
S116	U4	1453,4	47	3,5	164,5	1617,9	0,162	10,2	74	242,8	19,6	0,74		90,8	25,69	5,139	4,80	2,88
S282	U5	1455,6	45	3,5	157,5	1613,1	0,161	9,8	74	242,8	19,7	0,74		90,8	25,79	5,159	4,81	2,89
S117	V1	1033,1	47	3,5	164,5	1197,6	0,120	13,7	32	105,0	32,3	0,32		91,1	24,82	4,964	3,64	2,19
S118	V2	411,8	72	7	504	915,8	0,092	55,0	12	39,4	34,3	0,12		94,4	15,06	3,012	1,91	1,15
S119	V3	1026,2	47	3,5	164,5	1190,7	0,119	13,8	32	105,0	32,1	0,32		91,1	24,80	4,960	3,64	2,18
S120	V4	410,6	72	3,5	252	662,6	0,066	38,0	13	42,7	31,6	0,13		93,0	18,99	3,799	2,31	1,38
S283	V5	1034,7	45	3,5	157,5	1192,2	0,119	13,2	32	105,0	32,3	0,32		91,1	24,95	4,989	3,66	2,19
S284	V6	1027,1	45	3,5	157,5	1184,6	0,118	13,3	32	105,0	32,1	0,32		91,1	24,93	4,985	3,65	2,19
S121	W1	889,8	47	3,5	164,5	1054,3	0,105	15,6	28	91,9	31,8	0,28		91,2	24,36	4,872	3,45	2,07
S122	W2	334,3	60	7	420	754,3	0,075	55,7	12	39,4	27,9	0,12		94,5	14,91	2,983	1,90	1,14

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 310 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S123	W3	885,2	47	3,5	164,5	1049,7	0,105	15,7	27	88,6	32,8	0,27		91,3	24,34	4,869	3,42	2,05
S124	W4	359,6	60	3,5	210	569,6	0,057	36,9	13	42,7	27,7	0,13		92,9	19,27	3,853	2,33	1,40
S285	W5	891,5	45	3,5	157,5	1049,0	0,105	15,0	28	91,9	31,8	0,28		91,2	24,51	4,901	3,47	2,08
S286	W6	889,9	45	3,5	157,5	1047,4	0,105	15,0	27	88,6	33,0	0,27		91,2	24,50	4,900	3,43	2,06
S125	X1	808,7	47	3,5	164,5	973,2	0,097	16,9	25	82,0	32,3	0,25		91,4	24,04	4,809	3,31	1,99
S126	X2	346,2	60	7	420	766,2	0,077	54,8	13	42,7	26,6	0,13		94,4	15,11	3,022	1,96	1,18

S127	X3	293,0	57	3,5	199,5	492,5	0,049	40,5	13	42,7	22,5	0,13		93,2	18,41	3,683	2,26	1,35
S128	X4	947,4	50	3,5	175	1122,4	0,112	15,6	29	95,1	32,7	0,29		91,2	24,36	4,873	3,49	2,09
S287	X5	808,7	45	3,5	157,5	966,2	0,097	16,3	25	82,0	32,3	0,25		91,3	24,19	4,838	3,32	1,99
S288	X6	1068,4	50	3,5	175	1243,4	0,124	14,1	29	95,1	36,8	0,29		91,1	24,74	4,947	3,53	2,12
S129	Y1	2640,5	117	7	819	3459,5	0,346	23,7	30	98,4	88,0	0,3		91,9	22,41	4,481	3,33	2,00
S130	Y2	349,4	66	7	462	811,4	0,081	56,9	12	39,4	29,1	0,12		94,6	14,63	2,925	1,87	1,12
S131	Y3	674,8	63	3,5	220,5	895,3	0,090	24,6	20	65,6	33,7	0,2		92,0	22,18	4,435	2,92	1,75
S132	Y4	2225,6	105	3,5	367,5	2593,1	0,259	14,2	28	91,9	79,5	0,28		91,1	24,71	4,942	3,49	2,09

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 311 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S133	Z1	322,5	72	7	504	826,5	0,083	61,0	11	36,1	29,3	0,11		94,9	13,71	2,742	1,75	1,05
S134	Z2	2907,1	78	3,5	273	3180,1	0,318	8,6	37	121,4	78,6	0,37		90,7	26,08	5,217	3,94	2,36
S135	Z3	2823,6	124	3,5	434	3257,6	0,326	13,3	30	98,4	94,1	0,3		91,1	24,92	4,984	3,58	2,15
S136	Z4	4744,2	195	7	1365	6109,2	0,611	22,3	30	98,4	158,1	0,3		91,8	22,73	4,545	3,36	2,02
S137	Z5	3140,1	111	3,5	388,5	3528,6	0,353	11,0	27	88,6	116,3	0,27		90,9	25,49	5,097	3,53	2,12
S138	Z6	328,3	58	7	406	734,3	0,073	55,3	13	42,7	25,3	0,13		94,4	15,00	3,000	1,95	1,17
S139	2A1	929,8	67	3,5	234,5	1164,3	0,116	20,1	12	39,4	77,5	0,12		91,6	23,26	4,652	2,59	1,56
S140	2A2	1455,3	65	7	455	1910,3	0,191	23,8	31	101,7	46,9	0,31		91,9	22,37	4,474	3,36	2,01
S141	2A3	1232,9	71	3,5	248,5	1481,4	0,148	16,8	36	118,1	34,2	0,36		91,3	24,08	4,815	3,69	2,22
S142	2B1	2847,9	146	3,5	511	3358,9	0,336	15,2	29	95,1	98,2	0,29		91,2	24,46	4,891	3,50	2,10
S143	2B2	1187,3	57	7	399	1586,3	0,159	25,2	30	98,4	39,6	0,3		92,0	22,05	4,410	3,29	1,97
S144	2B3	1950,1	125	3,5	437,5	2387,6	0,239	18,3	29	95,1	67,2	0,29		91,5	23,70	4,740	3,42	2,05
S145	2B4	1078,0	62	3,5	217	1295,0	0,129	16,8	20	65,6	53,9	0,2		91,3	24,08	4,816	3,10	1,86
S146	2C1	2650,8	146	3,5	511	3161,8	0,316	16,2	28	91,9	94,7	0,28		91,3	24,23	4,845	3,44	2,06
S147	2C2	1217,9	57	7	399	1616,9	0,162	24,7	30	98,4	40,6	0,3		92,0	22,16	4,433	3,30	1,98
S148	2C3	2289,9	146	3,5	511	2800,9	0,280	18,2	25	82,0	91,6	0,25		91,5	23,72	4,744	3,28	1,97

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 312 de 341
<p>DOCUMENTO CONTROLADO</p> <p>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</p> <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S149	2C4	1230,9	57	3,5	199,5	1430,4	0,143	13,9	30	98,4	41,0	0,3		91,1	24,77	4,953	3,57	2,14
S150	2D1	5198,2	190	3,5	665	5863,2	0,586	11,3	25	82,0	207,9	0,25		90,9	25,41	5,081	3,44	2,06
S151	2D2	426,9	54	7	378	804,9	0,080	47,0	17	55,8	25,1	0,17		93,8	16,91	3,383	2,30	1,38
S152	2D3	5797,1	276	7	1932	7729,1	0,773	25,0	25	82,0	231,9	0,25		92,0	22,09	4,418	3,12	1,87
S153	2D4	348,3	64	3,5	224	572,3	0,057	39,1	13	42,7	26,8	0,13		93,1	18,73	3,747	2,28	1,37
S154	2E1	3832,4	178	3,5	623	4455,4	0,446	14,0	25	82,0	153,3	0,25		91,1	24,76	4,951	3,38	2,03
S155	2E2	382,9	62	7	434	816,9	0,082	53,1	14	45,9	27,3	0,14		94,3	15,49	3,099	2,04	1,23
S156	2E3	4252,2	130	7	910	5162,2	0,516	17,6	29	95,1	146,6	0,29		91,4	23,87	4,774	3,44	2,06
S157	2E4	4400,4	212	7	1484	5884,4	0,588	25,2	25	82,0	176,0	0,25		92,0	22,03	4,407	3,11	1,87
S158	2E5	3639,8	130	3,5	455	4094,8	0,409	11,1	26	85,3	140,0	0,26		90,9	25,46	5,092	3,48	2,09
S159	2E6	374,6	64	3,5	224	598,6	0,060	37,4	14	45,9	26,8	0,14		93,0	19,14	3,827	2,37	1,42
S160	2F1	3499,7	122	7	854	4353,7	0,435	19,6	28	91,9	125,0	0,28		91,6	23,39	4,677	3,36	2,01
S161	2F2	370,0	62	7	434	804,0	0,080	54,0	14	45,9	26,4	0,14		94,3	15,30	3,060	2,03	1,22
S162	2F3	3728,5	178	3,5	623	4351,5	0,435	14,3	25	82,0	149,1	0,25		91,1	24,68	4,935	3,37	2,02
S163	2F4	3649,2	178	7	1246	4895,2	0,490	25,5	25	82,0	146,0	0,25		92,0	21,98	4,396	3,11	1,86
S164	2F5	3487,1	175	3,5	612,5	4099,6	0,410	14,9	29	95,1	120,2	0,29		91,2	24,52	4,905	3,51	2,10

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 313 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S165	2F6	383,3	68	3,5	238	621,3	0,062	38,3	14	45,9	27,4	0,14		93,1	18,93	3,786	2,35	1,41
S166	2G1	409,4	77	3,5	269,5	678,9	0,068	39,7	12	39,4	34,1	0,12		93,2	18,60	3,721	2,22	1,33
S167	2G2	4506,0	150	7	1050	5556,0	0,556	18,9	34	111,6	132,5	0,34		91,5	23,56	4,712	3,58	2,15
S168	2G3	373,4	77	3,5	269,5	642,9	0,064	41,9	11	36,1	33,9	0,11		93,4	18,08	3,617	2,12	1,27
S169	2G4	4525,4	150	3,5	525	5050,4	0,505	10,4	34	111,6	133,1	0,34		90,8	25,64	5,128	3,79	2,28
S170	2H1	1041,9	72	3,5	252	1293,9	0,129	19,5	34	111,6	30,6	0,34		91,6	23,42	4,684	3,56	2,14
S171	2H2	3789,9	150	3,5	525	4314,9	0,431	12,2	30	98,4	126,3	0,3		91,0	25,20	5,041	3,61	2,17
S172	2H3	351,7	65	3,5	227,5	579,2	0,058	39,3	12	39,4	29,3	0,12		93,1	18,70	3,740	2,23	1,34
S173	2H4	2792,8	108	3,5	378	3170,8	0,317	11,9	32	105,0	87,3	0,32		91,0	25,26	5,053	3,69	2,21
S174	2I1	366,0	68	3,5	238	604,0	0,060	39,4	14	45,9	26,1	0,14		93,2	18,67	3,734	2,33	1,40
S175	2I2	5611,2	257	7	1799	7410,2	0,741	24,3	25	82,0	224,4	0,25		91,9	22,26	4,452	3,13	1,88
S176	2I3	5739,4	217	3,5	759,5	6498,9	0,650	11,7	28	91,9	205,0	0,28		90,9	25,32	5,064	3,55	2,13
S177	2I4	367,5	58	7	406	773,5	0,077	52,5	14	45,9	26,3	0,14		94,2	15,64	3,128	2,06	1,23
S178	2J1	2243,0	95	3,5	332,5	2575,5	0,258	12,9	29	95,1	77,3	0,29		91,0	25,02	5,004	3,56	2,13
S179	2J2	98,6	64	3,5	224	322,6	0,032	69,4	14	45,9	7,0	0,14		95,6	11,81	2,363	1,69	1,01
S180	2J3	2325,2	101	7	707	3032,2	0,303	23,3	29	95,1	80,2	0,29		91,9	22,49	4,498	3,30	1,98

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 314 de 341
<p>DOCUMENTO CONTROLADO</p> <p>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</p> <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S181	2J4	249,5	66	3,5	231	480,5	0,048	48,1	12	39,4	20,8	0,12		93,8	16,66	3,331	2,05	1,23
S182	2K1	4147,3	162	3,5	567	4714,3	0,471	12,0	29	95,1	143,0	0,29		91,0	25,24	5,047	3,58	2,15
S183	2K2	354,3	62	3,5	217	571,3	0,057	38,0	13	42,7	27,3	0,13		93,0	19,01	3,801	2,31	1,38
S184	2K3	4055,4	163	7	1141	5196,4	0,520	22,0	28	91,9	144,8	0,28		91,8	22,82	4,564	3,30	1,98
S185	2K4	343,5	64	3,5	224	567,5	0,057	39,5	12	39,4	28,6	0,12		93,2	18,66	3,731	2,22	1,33
S186	2L1	2652,0	122	3,5	427	3079,0	0,308	13,9	26	85,3	102,0	0,26		91,1	24,79	4,957	3,42	2,05
S187	2L2	291,7	60	3,5	210	501,7	0,050	41,9	11	36,1	26,5	0,11		93,3	18,10	3,620	2,12	1,27
S188	2L3	2657,3	122	3,5	427	3084,3	0,308	13,8	26	85,3	102,2	0,26		91,1	24,79	4,958	3,42	2,05
S189	2L4	364,0	60	3,5	210	574,0	0,057	36,6	14	45,9	26,0	0,14		92,9	19,33	3,867	2,39	1,43
S190	2M1	2671,4	124	3,5	434	3105,4	0,311	14,0	26	85,3	102,7	0,26		91,1	24,76	4,952	3,42	2,05
S191	2M2	399,2	60	3,5	210	609,2	0,061	34,5	15	49,2	26,6	0,15		92,8	19,83	3,966	2,48	1,49

S192	2M3	2708,9	124	3,5	434	3142,9	0,314	13,8	26	85,3	104,2	0,26		91,1	24,80	4,960	3,42	2,05
S193	2M4	360,8	60	3,5	210	570,8	0,057	36,8	14	45,9	25,8	0,14		92,9	19,28	3,857	2,38	1,43
S194	2N1	3708,2	162	3,5	567	4275,2	0,428	13,3	26	85,3	142,6	0,26		91,1	24,93	4,987	3,43	2,06

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 315 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S195	2N2	305,2	60	3,5	210	515,2	0,052	40,8	12	39,4	25,4	0,12		93,3	18,35	3,671	2,20	1,32
S196	2N3	3782,6	162	3,5	567	4349,6	0,435	13,0	26	85,3	145,5	0,26		91,0	24,99	4,998	3,44	2,06
S197	2N4	311,8	58	3,5	203	514,8	0,051	39,4	12	39,4	26,0	0,12		93,2	18,67	3,733	2,22	1,33
S198	2O1	1010,1	60	3,5	210	1220,1	0,122	17,2	11	36,1	91,8	0,11		91,4	23,97	4,794	2,58	1,55
S199	2O2	2399,3	96	3,5	336	2735,3	0,274	12,3	25	82,0	96,0	0,25		91,0	25,17	5,035	3,42	2,05
S200	2O3	752,5	48	3,5	168	920,5	0,092	18,3	8	26,2	94,1	0,08		91,5	23,72	4,743	2,33	1,40
S201	2P1	4400,7	112	3,5	392	4792,7	0,479	8,2	31	101,7	142,0	0,31		90,7	26,19	5,237	3,75	2,25
S202	2P2	1565,3	56	3,5	196	1761,3	0,176	11,1	27	88,6	58,0	0,27		90,9	25,46	5,092	3,52	2,11
S203	2Q1	1520,1	56	3,5	196	1716,1	0,172	11,4	30	98,4	50,7	0,3		90,9	25,39	5,077	3,63	2,18
S204	2Q2	8150,0	202	3,5	707	8857,0	0,886	8,0	29	95,1	281,0	0,29		90,6	26,23	5,247	3,68	2,21
S205	2Q3	1824,3	67	3,5	234,5	2058,8	0,206	11,4	34	111,6	53,7	0,34		90,9	25,39	5,079	3,77	2,26
S206	2R1	1939,8	67	3,5	234,5	2174,3	0,217	10,8	64	210,0	30,3	0,64		90,9	25,54	5,108	4,58	2,75
S207	2R2	3205,4	122	3,5	427	3632,4	0,363	11,8	63	206,7	50,9	0,63		90,9	25,30	5,061	4,52	2,71
S208	2R3	1903,8	70	3,5	245	2148,8	0,215	11,4	64	210,0	29,7	0,64		90,9	25,39	5,078	4,56	2,73
S209	2S1	4503,4	84	7	588	5091,4	0,509	11,5	113	370,8	39,9	1,13		90,9	25,35	5,071	5,40	3,24
S210	2S2	4064,6	118	3,5	413	4477,6	0,448	9,2	87	285,4	46,7	0,87		90,7	25,93	5,185	5,07	3,04

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 316 de 341
<p>DOCUMENTO CONTROLADO</p> <p>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</p> <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S211	2T1	269,5	63	3,5	220,5	490,0	0,049	45,0	10	32,8	27,0	0,1		93,6	17,37	3,474	2,00	1,20
S212	2T2	3242,3	134	7	938	4180,3	0,418	22,4	29	95,1	111,8	0,29		91,8	22,70	4,541	3,32	1,99
S213	2T3	2162,5	97	3,5	339,5	2502,0	0,250	13,6	24	78,7	90,1	0,24		91,1	24,86	4,972	3,35	2,01
S214	2T4	1429,0	55	3,5	192,5	1621,5	0,162	11,9	26	85,3	55,0	0,26		90,9	25,28	5,055	3,47	2,08
S215	2T5	1604,1	58	3,5	203	1807,1	0,181	11,2	30	98,4	53,5	0,3		90,9	25,43	5,086	3,63	2,18
S216	2T6	5935,4	110	3,5	385	6320,4	0,632	6,1	53	173,9	112,0	0,53		90,5	26,70	5,340	4,46	2,68
S217	2T7	6043,7	262	3,5	917	6960,7	0,696	13,2	26	85,3	232,5	0,26		91,1	24,96	4,991	3,44	2,06
S218	2U1	367,9	64	3,5	224	591,9	0,059	37,8	13	42,7	28,3	0,13		93,0	19,04	3,807	2,31	1,39
S219	2U2	3728,4	135	3,5	472,5	4200,9	0,420	11,2	30	98,4	124,3	0,3		90,9	25,43	5,086	3,63	2,18
S220	2U3	9014,6	382	7	2674	11688,6	1,169	22,9	30	98,4	300,5	0,3		91,8	22,60	4,520	3,35	2,01
S221	2U4	4181,7	146	3,5	511	4692,7	0,469	10,9	26	85,3	160,8	0,26		90,9	25,52	5,103	3,49	2,09
S222	2U5	282,7	61	3,5	213,5	496,2	0,050	43,0	11	36,1	25,7	0,11		93,4	17,83	3,565	2,10	1,26
S223	2V1	322,8	62	3,5	217	539,8	0,054	40,2	11	36,1	29,3	0,11		93,2	18,48	3,697	2,15	1,29
S224	2V2	5365,5	241	3,5	843,5	6209,0	0,621	13,6	25	82,0	214,6	0,25		91,1	24,85	4,971	3,39	2,03
S225	2V3	5462,8	184	7	1288	6750,8	0,675	19,1	30	98,4	182,1	0,3		91,5	23,52	4,703	3,44	2,06
S226	2V4	336,2	60	3,5	210	546,2	0,055	38,4	12	39,4	28,0	0,12		93,1	18,90	3,779	2,24	1,35

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 317 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S227	2W1	7132,4	160	3,5	560	7692,4	0,769	7,3	48	157,5	148,6	0,48		90,6	26,41	5,282	4,30	2,58
S228	2X1	3121,4	66	3,5	231	3352,4	0,335	6,9	48	157,5	65,0	0,48		90,6	26,50	5,301	4,31	2,58
S229	2Y1	298,3	58	3,5	203	501,3	0,050	40,5	11	36,1	27,1	0,11		93,2	18,42	3,683	2,15	1,29
S230	2Y2	2299,1	112	3,5	392	2691,1	0,269	14,6	25	82,0	92,0	0,25		91,2	24,61	4,923	3,36	2,02
S231	2Y3	2609,4	132	3,5	462	3071,4	0,307	15,0	28	91,9	93,2	0,28		91,2	24,50	4,900	3,47	2,08
S232	2Y4	592,2	52	3,5	182	774,2	0,077	23,5	27	88,6	21,9	0,27		91,9	22,45	4,489	3,23	1,94
S233	2Z1	312,0	60	3,5	210	522,0	0,052	40,2	11	36,1	28,4	0,11		93,2	18,48	3,696	2,15	1,29
S234	2Z2	1791,9	82	3,5	287	2078,9	0,208	13,8	27	88,6	66,4	0,27		91,1	24,80	4,960	3,46	2,08
S235	2Z3	1867,8	82	3,5	287	2154,8	0,215	13,3	28	91,9	66,7	0,28		91,1	24,92	4,984	3,51	2,11
S236	2Z4	343,1	58	3,5	203	546,1	0,055	37,2	11	36,1	31,2	0,11		93,0	19,20	3,839	2,21	1,33
S237	3A1	316,7	60	3,5	210	526,7	0,053	39,9	11	36,1	28,8	0,11		93,2	18,56	3,713	2,16	1,29
S238	3A2	1650,5	82	3,5	287	1937,5	0,194	14,8	28	91,9	58,9	0,28		91,2	24,55	4,911	3,47	2,08
S239	3A3	1602,9	74	3,5	259	1861,9	0,186	13,9	28	91,9	57,2	0,28		91,1	24,78	4,955	3,50	2,10
S240	3A4	594,5	68	3,5	238	832,5	0,083	28,6	20	65,6	29,7	0,2		92,3	21,23	4,246	2,84	1,70
S241	3B1	1408,0	97	3,5	339,5	1747,5	0,175	19,4	25	82,0	56,3	0,25		91,6	23,43	4,686	3,25	1,95
S242	3B2	1150,8	62	3,5	217	1367,8	0,137	15,9	28	91,9	41,1	0,28		91,3	24,30	4,860	3,45	2,07

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 318 de 341
<p>DOCUMENTO CONTROLADO</p> <p>CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL</p> <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>			



S243	3B3	1042,9	110	7	770	1812,9	0,181	42,5	28	91,9	37,2	0,28		93,4	17,96	3,591	2,79	1,67
S244	3B4	1395,2	62	3,5	217	1612,2	0,161	13,5	25	82,0	55,8	0,25		91,1	24,89	4,977	3,39	2,03
S245	VA1	4128,15	50	3,5	175	4303,15	0,430	4,1	98	321,5	42,1	0,6	0,6	75,0	84,77	16,955	15,39	9,23
S246	VB1	1898,17	48	3,5	168	2066,17	0,207	8,1	91	298,6	20,9	0,6	0,7	76,0	80,42	16,085	13,98	8,39
S247	VB2	1871,66	94	3,5	329	2200,66	0,220	15,0	61	200,1	30,7	0,6	1,0	77,6	73,37	14,674	9,52	5,71
S248	VC1	890,27	140	3,5	490	1380,27	0,138	35,5	13	42,7	68,5	0,4	3,1	82,5	53,80	10,761	2,72	1,63
S249	VC2	489,62	34	3,5	119	608,62	0,061	19,6	39	128,0	12,6	0,8	2,1	78,7	68,78	13,755	5,51	3,31
S250	VC3	818,4	124	3,5	434	1252,4	0,125	34,7	14	45,9	58,5	0,8	5,7	82,3	54,56	10,913	2,06	1,24
S251	VC4	1223,8	34	3,5	119	1342,8	0,134	8,9	88	288,7	13,9	1	1,1	76,1	79,65	15,931	10,47	6,28
S252	VD1	851,56	108	3,5	378	1229,56	0,123	30,7	17	55,8	50,1	0,4	2,4	81,4	58,12	11,625	3,56	2,14
S253	VD2	2094,52	94	3,5	329	2423,52	0,242	13,6	50	164,1	41,9	0,4	0,8	77,3	74,77	14,954	10,08	6,05
S254	VD3	579,88	88	3,5	308	887,88	0,089	34,7	13	42,7	44,6	0,4	3,1	82,3	54,53	10,906	2,75	1,65
S255	VE1	1433,51	56	3,5	196	1629,51	0,163	12,0	39	128,0	36,8	0,4	1,0	76,9	76,36	15,271	8,38	5,03
S256	VE2	740,93	96	3,5	336	1076,93	0,108	31,2	13	42,7	57,0	0,4	3,1	81,5	57,70	11,541	2,86	1,72
S257	VF1	2047,74	64	3,5	224	2271,74	0,227	9,9	19	62,3	107,8	0,4	2,1	76,4	78,61	15,721	4,81	2,89
S258	VG1	1630	38	3,5	133	1763	0,176	7,5	64	210,0	25,5	0,2	0,3	75,8	81,05	16,209	18,37	11,02

S259	VH1	1711,21	36	3,5	126	1837,21	0,184	6,9	26	85,3	65,8	0,6	2,3	75,6	81,77	16,355	5,19	3,11
S260	VI1	760,47	36	3,5	126	886,47	0,089	14,2	31	101,7	24,5	0,6	1,9	77,4	74,12	14,824	5,58	3,35
S261	VI2	1063,69	76	3,5	266	1329,69	0,133	20,0	17	55,8	62,6	0,6	3,5	78,8	68,33	13,666	3,26	1,96
S262	VI3	720,06	28	3,5	98	818,06	0,082	12,0	16	52,5	45,0	0,8	5,0	76,9	76,41	15,281	2,91	1,74

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 319 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



S263	VJ1	3625,8	95	7	665	4290,8	0,429	15,5	40	131,2	90,6	1	2,5	77,7	72,82	14,563	5,23	3,14
S289	VJ2	3450	65	7	455	3905	0,391	11,7	70	229,7	49,3	1	1,4	76,8	76,74	15,349	8,49	5,10
S290	VJ3	3871	0	0	0	3871	0,387	0,0	50	164,1	77,4	0,4	0,8	74,0	89,24	17,849	11,40	6,84
S264	VK1	5935,34	92	3,5	322	6257,34	0,626	5,1	142	465,9	41,8	1	0,7	75,2	83,61	16,722	15,88	9,53
S265	VL1	1874,25	36	3,5	126	2000,25	0,200	6,3	67	219,8	28,0	0,8	1,2	75,5	82,37	16,474	9,64	5,78
S266	VM1	1570,17	72	3,5	252	1822,17	0,182	13,8	70	229,7	22,4	0,8	1,1	77,3	74,51	14,902	9,30	5,58
S267	VN1	3394,19	160	3,5	560	3954,19	0,395	14,2	148	485,6	22,9	1,2	0,8	77,4	74,17	14,834	13,78	8,27
S268	VO1	1848	30	7	210	2058	0,206	10,2	148	485,6	12,5	0,8	0,5	76,4	78,25	15,650	17,52	10,51
S269	VP1	904,51	130	3,5	455	1359,51	0,136	33,5	62	203,4	14,6	0,4	0,6	82,0	55,63	11,127	9,73	5,84
S291	VQ1	5497,13	80	7	560	6057,13	0,606	9,2	120	393,7	45,8	0,6	0,5	76,2	79,25	15,850	17,26	10,36
S292	VR1	3139,83	50	3,5	175	3314,83	0,331	5,3	40	131,2	78,5	0,6	1,5	75,3	83,47	16,693	7,43	4,46
S293	VR2	21108,24	410	3,5	1435	22543,24	2,254	6,4	60	196,9	351,8	2	3,3	75,5	82,30	16,460	5,58	3,35
S294	VR3	18236,23	310	3,5	1085	19321,23	1,932	5,6	62	203,4	294,1	1,6	2,6	75,3	83,10	16,621	6,44	3,87

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo		Código:	
Revisó:		Emisión:	
Autorizó:		Revisión:	Página 320 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA			



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CÓRDOBA
Universidad Jesuita

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 321 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Curvas H-A Lagunas:

Laguna 1	
H [m]	A [m2]
0	127
0,2	422,28
0,4	688,45
0,6	889,02
0,8	1088,45
1	1259
1,2	1356,32
1,4	1410,2
1,6	1484,6
1,8	1528,34

Laguna 2	
H	A [m2]
0	114
0,2	449,55
0,4	1024,93
0,6	1482,27
0,8	2047,5
1	2943,5

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 322 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Laguna 3	
H [m]	A [m2]
0	22,77
0,2	473,63
0,4	1136,43
0,6	1797,98
0,8	2176,31
1	2445
1,2	2570,8
1,4	2634,82

Laguna 4	
H [m]	A [m2]
0	14,84
0,2	207,1
0,4	422,62
0,6	675,2

Laguna 5	
H [m]	A [m2]
0	102,5
0,2	390,72
0,4	759,78

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 323 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Laguna 6	
H [m]	A [m2]
0	121,96
0,2	688,62
0,4	969,2

Laguna 7	
H [m]	A [m2]
0	3,16
0,2	57,4
0,4	168,27
0,6	364,7
0,8	541,85
1	702,96
1,2	815,98
1,4	906,84
1,6	975,78
1,8	1077,45

Laguna 8	
H [m]	A [m2]
0	19,4
0,1	60,25

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 324 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Laguna 9	
H [m]	A [m2]
0	10,6
0,1	25,4
0,2	57,72

Laguna 10	
H [m]	A [m2]
0	87,6
0,2	319,6
0,4	525,4
0,6	737,8
0,8	937,8
1	1129,94

Laguna 11	
H [m]	A [m2]
0	400
0.2	434
0.4	469
0.6	505
0.8	543
1	582
1.2	622
1.4	663

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 325 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Lluvia RN:

Hietogramas de lluvias a partir de Redes Neuronales: 2 años de proyección					
2- (Limite inf.)			2 (Medio)		
Tiempo [min]	P [mm]		Tiempo [min]	P [mm]	
30,0	2,80		30,0	6,08	
60,0	11,43		60,0	24,84	
90,0	5,36		90,0	11,66	
120,0	2,10		120,0	4,56	
150,0	0,93		150,0	2,03	
180,0	0,70		180,0	1,52	

Hietogramas de lluvias a partir de Redes Neuronales: 25 años de proyección					
25- (Limite inf.)			25 (Medio)		
Tiempo [min]	P [mm]		Tiempo [min]	P [mm]	
30,0	6,97		30,0	10,73	
60,0	28,47		60,0	43,81	
90,0	13,37		90,0	20,56	
120,0	5,23		120,0	8,05	
150,0	2,32		150,0	3,58	
180,0	1,74		180,0	2,68	

Resultados para 2 años de proyección:

Límite inferior:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 326 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C79	400.000	3.500	0.121
C271	341.565	3.500	0.114
C67	585.468	3.500	0.106
C66	558.582	3.500	0.103
C69	625.590	3.500	0.103
C39	461.422	3.500	0.099
C68	602.044	3.500	0.098
C232	154.753	3.500	0.097
C29	176.776	3.500	0.095
C38	281.654	3.500	0.094
C37	243.348	3.500	0.093
C164	62.215	3.500	0.091
C236	245.475	3.500	0.080

Valor medio:

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	534.133	3.500	0.165
C271	521.931	3.500	0.137
C236	884.610	3.500	0.133
C39	915.088	3.500	0.131
C164	150.547	3.500	0.130
C67	910.443	3.500	0.127
C38	577.531	3.500	0.126
C69	995.685	3.500	0.126
C37	501.931	3.500	0.125
C297	278.201	3.500	0.123
C66	853.344	3.500	0.123

Límite superior:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 327 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	638.755	3.500	0.180
C236	1026.699	3.500	0.143
C271	553.653	3.500	0.140
C39	997.913	3.500	0.136
C164	167.944	3.500	0.136
C38	632.016	3.500	0.131
C37	549.651	3.500	0.130
C297	312.675	3.500	0.129
C67	903.080	3.500	0.127
C69	1008.721	3.500	0.126
C66	832.274	3.500	0.122

Resultados para 25 años de proyección:

Límite inferior:

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	694.231	3.500	0.187
C271	642.233	3.500	0.150
C236	1100.525	3.500	0.147
C39	1079.428	3.500	0.141
C164	175.987	3.500	0.139
C38	677.016	3.500	0.135
C37	587.758	3.500	0.134
C297	292.575	3.500	0.126
C67	894.882	3.500	0.126
C29	339.174	3.500	0.124
C66	855.637	3.500	0.123
C69	953.234	3.500	0.123
C319	1656.815	3.500	0.122

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 328 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Storage Unit	Average Volume 1000 m³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	0.272	14.4	0.0	100.0	0.697	37.0	0	03:36	5.75
LR2	0.272	7.0	0.0	29.0	1.437	37.0	0	02:01	448.37
LR3	0.230	6.6	0.0	100.0	0.816	23.6	0	03:36	9.92
LR4	0.034	9.5	0.0	15.4	0.209	58.8	0	01:31	604.99
LR5	0.014	5.5	0.0	85.3	0.094	37.6	0	03:35	5.54
LR6	0.077	6.1	0.0	4.0	0.611	48.1	0	01:38	1671.82
LR7	0.504	37.1	0.0	26.9	1.161	85.3	0	01:37	495.83
LR8	0.002	2.8	0.0	0.8	0.041	48.6	0	01:30	844.15
LR9	0.001	2.7	0.0	0.9	0.027	50.0	0	01:12	642.51
LR10	0.272	23.5	0.0	43.7	0.654	56.7	0	01:33	361.55
LR11	0.000	0.1	0.0	100.2	0.015	1.7	0	02:05	2.60

Valor medio:

Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C232	1755.411	3.500	0.293
C297	1313.172	3.500	0.254
C236	2515.531	3.500	0.218
C271	1160.048	3.500	0.198
C39	1959.491	3.500	0.187
C38	1345.380	3.500	0.186
C29	818.857	3.500	0.186
C37	1187.396	3.500	0.186
C164	287.784	3.500	0.175
C319	3379.430	3.500	0.169
C317	3379.430	3.500	0.162
C258	1383.075	3.500	0.155
C81	655.853	3.500	0.154
C69	1470.503	3.500	0.150
C67	1301.660	3.500	0.150
C33	1050.881	3.500	0.149

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:
Revisó:	Emisión:
Autorizó:	Revisión:
Página 329 de 341	
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	



Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	0.600	31.8	0.0	88.7	1.173	62.2	0	03:38	6.55
LR2	0.302	7.8	0.0	18.2	2.430	62.6	0	02:02	646.44
LR3	0.553	16.0	0.0	99.4	1.441	41.6	0	03:40	11.64
LR4	0.034	9.7	0.0	9.8	0.224	63.1	0	01:30	1733.85
LR5	0.018	7.4	0.0	48.0	0.162	64.8	0	02:43	21.51
LR6	0.084	6.6	0.0	2.4	0.923	72.7	0	01:32	3567.55
LR7	0.510	37.5	0.0	15.8	1.191	87.5	0	01:31	1124.71
LR8	0.002	2.8	0.0	0.5	0.058	68.4	0	01:17	1154.87
LR9	0.002	2.8	0.0	0.5	0.029	52.0	0	01:42	1160.32
LR10	0.274	23.7	0.0	27.2	0.675	58.4	0	01:31	799.56
LR11	0.002	0.2	0.0	100.1	0.031	3.5	0	02:32	2.64

Límite superior:

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 330 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Street Conduit	Peak Flow LPS	Max Spread m	Max Depth m
C297	2632.073	3.500	0.355
C232	2433.789	3.500	0.342
C29	2632.825	3.500	0.326
C271	2949.148	3.500	0.311
C37	3285.664	3.500	0.304
C38	3468.230	3.500	0.293
C81	2220.003	3.500	0.275
C39	4184.081	3.500	0.269
C32	2688.100	3.500	0.263
C236	3498.815	3.500	0.256
C33	3090.875	3.500	0.249
C261	1931.504	3.500	0.235
C258	2731.504	3.500	0.214
C319	5293.144	3.500	0.210
C164	417.234	3.500	0.209
C62	1402.803	3.500	0.203
C35	2441.983	3.500	0.201
C317	5293.144	3.500	0.200
C67	1994.330	3.500	0.183
C69	2209.518	3.500	0.181
C56	1681.063	3.500	0.178
C259	2331.504	3.500	0.177

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 331 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	1.058	56.1	0.0	74.3	1.730	91.7	0	03:40	7.11
LR2	0.354	9.1	0.0	12.9	3.826	98.6	0	02:04	803.56
LR3	1.001	28.9	0.0	88.6	2.163	62.4	0	03:36	24.76
LR4	0.035	9.9	0.0	6.9	0.239	67.1	0	01:30	3051.23
LR5	0.023	9.1	0.0	30.0	0.250	100.0	0	02:27	43.51
LR6	0.093	7.4	0.0	1.6	1.191	93.9	0	01:31	5253.24
LR7	0.520	38.2	0.0	10.9	1.206	88.6	0	01:31	1506.17
LR8	0.003	3.1	0.0	0.3	0.078	91.4	0	01:06	1807.42
LR9	0.002	2.9	0.0	0.3	0.032	58.1	0	01:04	2949.42
LR10	0.276	23.9	0.0	18.7	0.685	59.3	0	01:31	1061.96
LR11	0.004	0.4	0.0	100.1	0.051	5.8	0	02:35	2.69

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 332 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Lluvia 31/12/2023:

Hietograma:

Lluvia 31/12/2023					
Time	Duración [min]	Duración [h]	Precip. Rate. (mm/h)	Precip. Accum (mm)	Hietograma (mm)
10:24 p. m.	0	0	0	0	0
10:29 p. m.	5	0,08	16,79	2,79	2,79
10:34 p. m.	10	0,17	81	13,49	10,7
10:39 p. m.	15	0,25	126,01	22,91	9,42
10:44 p. m.	20	0,33	120,6	29,69	6,78
10:49 p. m.	25	0,42	99,01	38,4	8,71
10:54 p. m.	30	0,50	94,79	40,21	1,81
10:59 p. m.	35	0,58	49,2	43,21	3
11:04 p. m.	40	0,67	32,99	45,69	2,48
11:09 p. m.	45	0,75	32,99	46,51	0,82
11:14 p. m.	50	0,83	19,81	46,51	0
11:19 p. m.	55	0,92	4,8	46,51	0
11:24 p. m.	60	1,00	1,8	46,81	0,3

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 333 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



11:29 p. m.	65	1,08	1,8	46,81	0
11:34 p. m.	70	1,17	1,8	46,81	0
11:39 p. m.	75	1,25	0	46,81	0
11:44 p. m.	80	1,33	1,19	46,99	0,18
11:49 p. m.	85	1,42	1,19	46,99	0
11:54 p. m.	90	1,50	1,19	46,99	0
11:59 p. m.	95	1,58	0	46,99	0
12:04 a. m.	100	1,67	0	0	0
12:09 a. m.	105	1,75	1,8	0,3	0,3
12:14 a. m.	110	1,83	3	0,51	0,21
12:19 a. m.	115	1,92	4,8	0,79	0,28
12:24 a. m.	120	2,00	8,99	1,8	1,01
12:29 a. m.	125	2,08	8,99	2,31	0,51
12:34 a. m.	130	2,17	8,99	2,59	0,28
12:39 a. m.	135	2,25	4,8	2,79	0,2
12:44 a. m.	140	2,33	3	3,1	0,31
12:49 a. m.	145	2,42	3	3,1	0

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 334 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



12:54 a. m.	150	2,50	3	3,3	0,2
12:59 a. m.	155	2,58	3	3,61	0,31
1:04 a. m.	160	2,67	3	3,61	0
1:09 a. m.	165	2,75	1,8	3,61	0
1:14 a. m.	170	2,83	1,19	3,81	0,2
1:19 a. m.	175	2,92	1,19	3,81	0
1:24 a. m.	180	3,00	1,19	3,81	0
1:29 a. m.	185	3,08	0	3,81	0
1:34 a. m.	190	3,17	0	3,81	0
1:39 a. m.	195	3,25	0	3,81	0
1:44 a. m.	200	3,33	1,8	4,09	0,28
1:49 a. m.	205	3,42	3	4,29	0,2
1:54 a. m.	210	3,50	3	4,6	0,31
1:59 a. m.	215	3,58	6,6	5,41	0,81
2:04 a. m.	220	3,67	7,8	5,89	0,48
2:09 a. m.	225	3,75	7,8	6,4	0,51
2:14 a. m.	230	3,83	7,8	7,11	0,71
2:19 a. m.	235	3,92	8,99	7,9	0,79
2:24 a. m.	240	4,00	8,99	8,41	0,51
2:29 a. m.	245	4,08	7,8	8,41	0
2:34 a. m.	250	4,17	4,8	8,71	0,3
2:39 a. m.	255	4,25	1,8	8,71	0
2:44 a. m.	260	4,33	1,8	8,71	0
2:49 a. m.	265	4,42	0	8,71	0
2:54 a. m.	270	4,50	0	8,71	0
2:59 a. m.	275	4,58	0	8,71	0
3:04 a. m.	280	4,67	0	8,71	0
3:09 a. m.	285	4,75	0	8,71	0
3:14 a. m.	290	4,83	0	8,71	0
3:19 a. m.	295	4,92	1,19	8,89	0,18

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 335 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3:24 a. m.	300	5,00	3	9,19	0,3
3:29 a. m.	305	5,08	4,19	9,4	0,21
3:34 a. m.	310	5,17	3	9,4	0
3:39 a. m.	315	5,25	1,8	9,7	0,3
3:44 a. m.	320	5,33	4,8	10,21	0,51
3:49 a. m.	325	5,42	5,99	10,69	0,48
3:54 a. m.	330	5,50	8,99	11,71	1,02
3:59 a. m.	335	5,58	10,8	12,5	0,79
4:04 a. m.	340	5,67	10,8	13,21	0,71
4:09 a. m.	345	5,75	8,99	13,69	0,48
4:14 a. m.	350	5,83	7,19	14	0,31
4:19 a. m.	355	5,92	4,8	14,2	0,2
4:24 a. m.	360	6,00	5,99	14,71	0,51
4:29 a. m.	365	6,08	6,6	15,29	0,58
4:34 a. m.	370	6,17	6,6	15,49	0,2
4:39 a. m.	375	6,25	5,99	16	0,51
4:44 a. m.	380	6,33	5,99	16,51	0,51
4:49 a. m.	385	6,42	5,99	16,79	0,28
4:54 a. m.	390	6,50	4,8	17,3	0,51
4:59 a. m.	395	6,58	5,99	17,81	0,51
5:04 a. m.	400	6,67	6,6	18,29	0,48
5:09 a. m.	405	6,75	6,6	18,8	0,51
5:14 a. m.	410	6,83	8,99	19,81	1,01
5:19 a. m.	415	6,92	8,99	20,09	0,28
5:24 a. m.	420	7,00	7,8	20,29	0,2
5:29 a. m.	425	7,08	4,8	20,6	0,31
5:34 a. m.	430	7,17	3	20,6	0
5:39 a. m.	435	7,25	3	20,8	0,2
5:44 a. m.	440	7,33	3	21,11	0,31
5:49 a. m.	445	7,42	3,61	21,41	0,3
5:54 a. m.	450	7,50	3,61	21,59	0,18

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 336 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



5:59 a. m.	455	7,58	3	21,89	0,3
6:04 a. m.	460	7,67	4,19	22,1	0,21
6:09 a. m.	465	7,75	4,8	22,4	0,3
6:14 a. m.	470	7,83	3	22,61	0,21
6:19 a. m.	475	7,92	3	22,61	0
6:24 a. m.	480	8,00	1,19	22,61	0
6:29 a. m.	485	8,08	1,8	22,91	0,3
6:34 a. m.	490	8,17	1,8	22,91	0
6:39 a. m.	495	8,25	1,8	22,91	0

Resultados de comportamientos de lagunas:

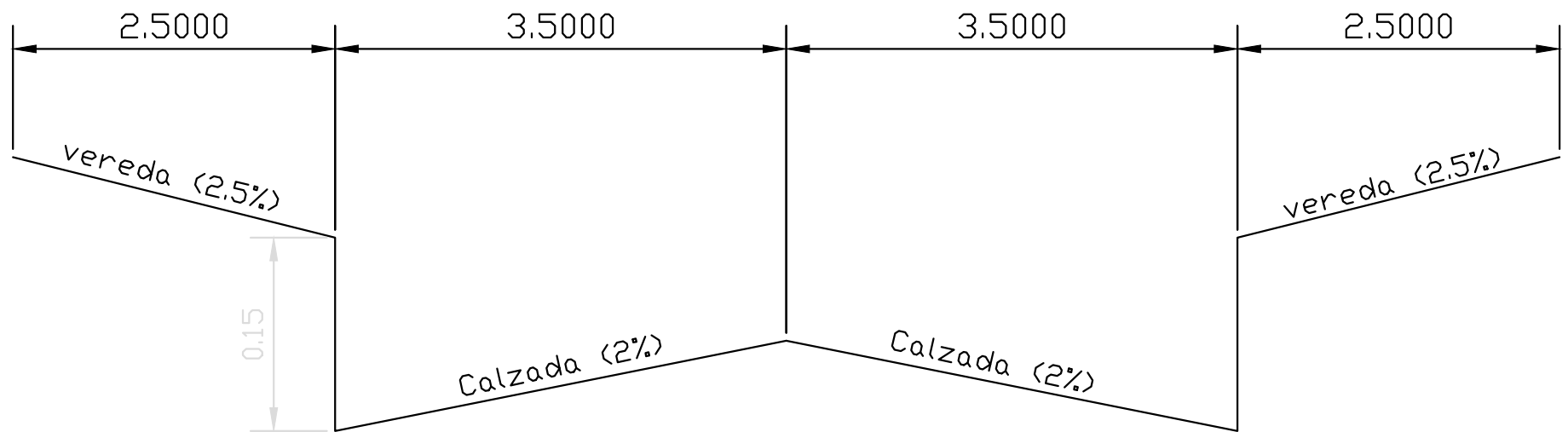
Storage Unit	Average Volume 1000 m ³	Average Percent Full	Evaporation Loss %	Exfiltration Loss %	Maximum Volume 1000 m ³	Maximum Percent Full	Day of Maximum Volume	Hour of Maximum Volume	Maximum Outflow LPS
LR1	0.008	0.4	0.0	100.0	0.051	2.7	0	01:05	1.92
LR2	0.103	2.7	0.0	100.0	0.346	8.9	0	07:57	6.16
LR3	0.008	0.2	0.0	100.0	0.053	1.5	0	01:09	2.33
LR4	0.033	9.2	0.0	97.2	0.117	32.9	0	07:14	3.16
LR5	0.000	0.0	0.0	100.0	0.000	0.0	0	06:56	0.18
LR6	0.076	6.0	0.0	41.9	0.333	26.2	0	00:34	241.12
LR7	0.082	6.0	0.0	100.0	0.223	16.4	0	08:00	2.89
LR8	0.003	3.0	0.0	7.6	0.028	33.2	0	00:20	228.74
LR9	0.002	3.1	0.0	7.4	0.017	31.3	0	00:31	309.67
LR10	0.038	3.3	0.0	100.0	0.136	11.8	0	08:00	2.58
LR11	0.000	0.0	0.0	100.0	0.000	0.0	0	00:21	2.44


Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 337 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ANEXO 2: PLANOS

Elaboró: Funes Deluigi, Ignacio - Pedrueza, Lorenzo	Código:	
Revisó:	Emisión:	
Autorizó:	Revisión:	Página 338 de 341
DOCUMENTO CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA FACULTAD DE INGENIERÍA	
Escala: 1:50	Título del plano: DETALLE DE LA CALZADA	N° Plano: 1
Trabajo Final de Grado Funes Deluigi Ignacio y Pedrueza Lorenzo		

