



**Universidad Nacional
de San Martín**

Proyecto Final Integrador

Ingeniería Ambiental

Escuela de Hábitat y Sostenibilidad

Diseño de un sistema de drenaje sostenible para la gestión de agua pluvial en la cuenca Radio Antiguo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Estudiante: Paz Estévez Ercasi

Legajo N° CYT - 9020

Tutor: Ing. Maximiliano Schwerdtfeger

Co-tutora: Ing. Yésica Gisela Zuñiga

Fecha: Agosto 2024



Agradecimientos

A mis tutores Maximiliano y Yésica, por la confianza y dedicación. Gracias por haberme acompañado en este proceso y transmitirme su pasión.

A mi familia, por su amor, incondicionalidad y apoyo constante. Sin ustedes este logro no hubiera sido posible.

A mi red, que me acompaña en cada momento. A las amistades de siempre y, sobre todo, a los que se incorporaron a mi vida gracias a esta etapa. Son de lo más valioso de este camino.

Por último, a la UNSAM, por ser mi segunda casa y haberme dado ese sentido de pertenencia que hace que estemos orgullosos de habernos formado en esta institución. Gracias a la educación pública, gratuita y de calidad por darme la oportunidad de convertirme en una profesional.



Índice

Resumen Ejecutivo.....	7
Capítulo 1: Introducción.....	8
1.1. Aspectos preliminares.....	8
1.2. Objetivos del proyecto.....	10
1.3. Factibilidad y justificación.....	11
Capítulo 2: Metodología.....	16
Capítulo 3: Marco teórico.....	18
3.1. Problemática del drenaje urbano.....	18
3.1.1. Aspectos hidrológicos básicos.....	18
3.1.2. Hidrología urbana.....	18
3.1.3. Calidad de agua.....	20
3.2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable.....	22
3.2.1. Beneficios.....	25
3.2.2. Funciones.....	26
3.2.3. Pilares de diseño.....	27
3.3. Clasificación de SUDS.....	28
3.4. Tipologías de SUDS.....	30
3.5. Modelación en SWMM.....	49
3.5.1. Introducción.....	49
3.5.2. Modelo conceptual.....	49
3.5.3. Hidrología.....	50
Precipitación.....	50
Infiltración.....	51
Escorrentía Superficial.....	52
3.5.4. Hidráulica.....	53
Modelo Hidráulico SWMM.....	53
Análisis Onda Dinámica.....	54
Geometrías de los Conductos.....	54
Elementos Hidráulicos.....	54
3.5.5. Low Impact Development Controls.....	55
3.5.6. Conclusiones.....	57
3.6. Marco Normativo.....	57
3.6.1. Ambiental.....	57
3.6.2. SUDS.....	58
3.6.3. Vuelco y calidad de agua pluvial.....	60
Capítulo 4: Diagnóstico.....	62
4.1. Definición de ubicación.....	62
4.1.1. Aspectos Preliminares.....	62
4.1.2. Criterios.....	62
4.1.3. Selección de ubicación.....	65
4.1.4. Inicio y Fin.....	66
4.2. Descripción del área.....	67



4.2.1. Cuenca Radio Antiguo.....	67
4.2.2. San Telmo.....	72
4.2.3. Zona de intervención.....	74
4.2.4. Aspectos de relevancia socioambiental.....	78
4.3. Sistema de Desagües Pluviales.....	79
4.3.1. Cámaras reguladoras.....	82
4.3.2. Conductos de tormenta y sistema de desagüe.....	84
4.3.3. Bocas de tormenta.....	86
4.3.4. Funcionamiento.....	86
4.3.5. Situación actual.....	87
4.4. Otros servicios.....	91
4.5. Calidad de agua.....	92
4.6. Modelo hidrológico actual.....	94
4.6.1. Generalidades del Modelo.....	94
4.6.2. Datos y diseño del Modelo.....	95
4.6.3. Validación del Modelo.....	98
Modificaciones.....	98
Comparación.....	99
4.6.4. Resultados.....	102
4.7. Modelo hidrodinámico actual.....	107
4.7.1. Datos y diseño del Modelo.....	107
4.7.2. Validación del Modelo.....	110
Modificaciones.....	110
Comparación.....	111
4.7.3. Resultados.....	117
4.8. Conclusiones.....	121
Capítulo 5: Diseño del Proyecto.....	123
5.1. Proyecto Urbanístico y Selección de Alternativas.....	123
5.1.1. Interferencias.....	123
5.1.2. Geometría de elementos de calle.....	124
5.1.3. Alternativas iniciales.....	127
5.1.4. Preselección y criterios.....	128
5.1.5. Alternativas.....	130
5.2. Proyecto Técnico: Memoria de Cálculo.....	134
5.2.1. Consideraciones iniciales.....	134
5.2.2. Cañería de drenaje.....	138
5.2.3. Cañería subsidiaria.....	141
5.2.4. Alternativa 1: cuneta verde.....	145
5.2.5. Alternativa 2: zanja de infiltración.....	147
5.2.6. Alternativa 3: área de biorretención.....	150
5.2.7. Resultados.....	154
5.3. Proyecto Técnico: Selección de Alternativa.....	161
5.3.1. Hidráulica e hidrología.....	161



5.3.2. Calidad de agua.....	162
5.3.3. Especificaciones constructivas.....	163
5.4. Sistema de riego.....	164
Capítulo 6: Estudio de Impacto Ambiental.....	169
6.1. Objetivos y Alcance.....	169
6.2. Metodología.....	169
6.2.1. Marco Teórico.....	169
6.2.2. Línea de Base Ambiental.....	169
6.2.3. Matriz de aspectos e impactos ambientales.....	169
6.2.4. Plan de Mitigación y de Gestión Ambiental.....	170
6.3. Marco Legal.....	170
6.3.1. Normativa Nacional.....	170
6.3.2. Normativa de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.....	172
6.4. Descripción del proyecto.....	175
6.4.1. Descripción general.....	175
6.4.2. Etapas del proyecto.....	175
6.4.2.1. Construcción.....	175
6.4.2.2. Operación.....	178
6.4.2.3. Desafectación.....	179
6.5. Línea de Base Ambiental.....	179
6.5.1. Área de Influencia.....	179
6.5.2. Medio físico.....	182
6.5.2.1. Clima.....	182
6.5.2.2. Aire.....	184
6.5.2.3. Geología y Geomorfología.....	187
6.5.2.4. Edafología.....	190
6.5.2.5. Hidrogeología.....	190
6.5.2.6. Hidrología Superficial.....	192
6.5.3. Medio biótico.....	194
6.5.3.1. Marco Biorregional.....	194
6.5.3.2. Flora.....	194
6.5.3.3. Fauna.....	195
6.5.3.4. Espacios Verdes.....	195
6.5.4. Medio socioeconómico.....	196
6.5.4.1. Población.....	196
6.5.4.2. Usos del suelo.....	196
6.5.4.3. Red vial y tránsito.....	198
6.5.4.4. Servicios.....	198
6.5.4.5. Centros de salud, educación y seguridad.....	199
6.6. Identificación y evaluación de impactos.....	201
6.6.1. Acciones del proyecto.....	201
6.6.2. Factores ambientales.....	202
6.6.3. Metodología de evaluación.....	202



6.6.4. Matriz de impactos.....	205
6.6.5. Descripción de impactos.....	208
6.6.5.1. Construcción.....	208
6.6.5.2. Operación.....	209
6.6.5.3. Desafectación.....	209
6.7. Análisis de Riesgos.....	210
6.8. Plan de Mitigación.....	212
6.9. Plan de Gestión Ambiental.....	215
6.9.1. Objetivos.....	215
6.9.2. Programa de protección ambiental.....	216
6.9.3. Monitoreo ambiental.....	217
6.9.4. Programa de auditoría ambiental.....	218
6.9.5. Programa de capacitación y difusión ambiental.....	218
6.9.6. Programa de seguridad e higiene laboral.....	218
6.9.7. Programa de contingencias.....	219
6.9.8. Programa de desafectación y abandono.....	219
6.10. Conclusiones.....	219
Capítulo 7: Cómputo y Presupuesto.....	221
7.1. Inversión inicial.....	221
7.2. Operación.....	225
7.3. Costo total.....	227
Capítulo 8: Planos.....	228
Capítulo 9: Conclusiones.....	229
Capítulo 10: Bibliografía.....	231
Capítulo 11: Anexo.....	235

Resumen Ejecutivo

El proyecto presentado se enfoca en la gestión del agua pluvial urbana en la cuenca Radio Antiguo, específicamente en la Av. San Juan, barrio de San Telmo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, mediante la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). La creciente urbanización ha alterado significativamente el ciclo hidrológico natural debido a la impermeabilización del suelo y la reducción de vegetación, lo que ha llevado a problemas como inundaciones y deterioro de la calidad del agua. Este proyecto busca abordar estos desafíos con soluciones innovadoras y de bajo impacto, ofreciendo una respuesta integral a la necesidad de una gestión más eficiente y sostenible del agua pluvial.

En primera instancia, se desarrolló un marco teórico que explica los diferentes conceptos abordados en el documento, incluyendo los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, la modelación en SWMM y las ecuaciones que rigen el modelo, así como el marco normativo aplicable.

Se seleccionó la ubicación del proyecto en base a distintos criterios y luego se llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo de la situación actual del área de estudio, analizando la hidrología e hidrodinámica de la cuenca y las características del sistema de desagües. El rasgo distintivo de la cuenca Radio Antiguo es la existencia de un sistema unitario pluvio-cloacal proyectado en 1870, el cual fue desarrollado en el análisis. Utilizando el software SWMM de la EPA, se realizó un modelo que describe las condiciones hídricas y el flujo de agua en la cuenca, el cual fue validado y ajustado para simular exitosamente los caudales, evaluando la infiltración, el pico de escorrentía, las pendientes, las rugosidades y el balance hidrológico del sistema existente. Este análisis permitió identificar que, aunque no se presentan inundaciones bajo las condiciones de lluvia de diseño, los conductos operan a su máxima capacidad, lo que podría llevar a problemas futuros.

Posteriormente, se consideraron tres alternativas de SUDS: cuneta verde, zanja de infiltración y área de biorretención. Una vez diseñadas las alternativas las mismas fueron evaluadas mediante el programa SWMM. La simulación indicó que el área de biorretención ofrece el mejor rendimiento, reduciendo el pico de escorrentía en un 18% y la escorrentía total en un 16% con un aumento del 10% del área permeable, mejorando además la calidad del agua mediante la remoción de contaminantes. Se incluyó también una ciclovía unidireccional adyacente al sistema de drenaje para promover la movilidad sostenible, y se diseñó un sistema de riego y un pozo de captación de agua subterránea.

Se realizó un Estudio de Impacto Ambiental que consideró las fases de construcción, operación y desafectación del proyecto. Este estudio identificó que los impactos negativos más significativos ocurren durante la fase de construcción, siendo transitorios y confinados al área del proyecto. Sin embargo, se espera que una vez en operación, el proyecto genere beneficios duraderos, como la mejora de la calidad de vida urbana, la mitigación del cambio climático y la reducción del riesgo hídrico.

Finalmente, se llevó a cabo el cómputo y presupuesto de la obra, que incluye tanto los costos de inversión inicial como los de operación y mantenimiento. A pesar de la considerable inversión inicial, los costos de operación son bajos, lo que garantiza la viabilidad económica del proyecto a largo plazo. Además, se desarrollaron planos detallados para la selección de alternativas, implementación del sistema de biorretención y ciclovía, y demás elementos hidráulicos. Se concluyó que el proyecto es viable desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental.

Capítulo 1: Introducción

1.1. Aspectos preliminares

El agua cumple un rol fundamental en la preservación del ambiente, siendo un recurso vital para la supervivencia de todos los seres vivos. Además de ser esencial para la hidratación y el desarrollo de la vida, también juega un papel crucial en la conservación de los ecosistemas, la sustentabilidad agrícola y la generación de energía sostenible.

El ciclo hidrológico se presenta como un proceso complejo de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrosfera. Se trata de un equilibrio que involucra cambios en el estado físico del agua en distintas fases, siendo las principales la evapotranspiración, la condensación, la precipitación, la infiltración y el transporte o escorrentía (Sánchez San Román, 2001). Durante este ciclo, parte de la precipitación es detenida por la vegetación, mientras que la parte restante, según sus características, se infiltra para recargar el acuífero o se transforma en flujos de escorrentía superficial y subsuperficial que posibilitan la formación de cuerpos de agua (Pérez Hurtado, 2020).

La fuerte tendencia de crecimiento de las ciudades ha generado una interrupción del ciclo natural del agua, al punto que en zonas de urbanización consolidada - debido a la baja cobertura vegetal y a la alta impermeabilización del terreno - el 90% de las precipitaciones pueden transformarse en escorrentía superficial (Fundación Conama, 2018). Dentro de las causas de la alteración del ciclo hidrológico en zonas urbanas se encuentran (i) los cambios en la morfología hidrológica natural, lo que incluye la eliminación de vegetación natural y el aumento excesivo de las superficies impermeabilizadas sobre el suelo original, (ii) la sobreexplotación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas y (iii) una infraestructura pluvial deficiente, insuficiente y con poco mantenimiento. Esto tiene como resultado (i) una menor infiltración de agua al subsuelo, (ii) un menor tiempo de concentración y mayor caudal pico, así como mayores volúmenes de escorrentía y menores tiempos de respuesta, y (iii) una menor evapotranspiración debido a la falta de vegetación y arbolado. Otros efectos son el arrastre de contaminantes de superficies urbanas, la erosión y el impacto a ecosistemas, una menor recarga de los acuíferos y el desaprovechamiento del agua de lluvia, lo que implica una mayor probabilidad de escasez, y una red pluvial colapsada que conlleva a inundaciones (Fegan & Schwerdtfeger, 2022).

El drenaje actual de las ciudades está diseñado para transportar las aguas de lluvia de un punto a otro, modificando sustancialmente las condiciones de su manejo al no tener en cuenta el ciclo natural del agua, lo que deriva en las consecuencias anteriormente nombradas. Para evitar la inundación urbana se implementan colectores como medidas estructurales. Sin embargo, su nivel de vulnerabilidad se incrementa en épocas de lluvias intensas, cuando la capacidad de los sumideros se ve superada por el volumen de agua de escorrentía superficial. Estos sistemas convencionales captan, transportan y descargan las aguas recogidas en los cuerpos receptores. Las áreas de drenaje consideradas al momento de realizar este tipo de diseño en muchos casos aumentaron, debido al crecimiento de las ciudades, lo que conlleva a la insuficiencia de este tipo de sistemas (Pérez Hurtado, 2020). Asimismo, las aguas de escorrentía en este tipo de sistemas se encuentran contaminadas mediante el transporte urbano de los mismos, ya que no fueron diseñadas para esta problemática. Por otro lado, los sistemas unitarios de agua cloacal y pluvial se ven desbordados lo que genera descargas directas al medio natural (Fundación Conama, 2018).



En este marco, se destacan tres problemas principales relacionados con el sistema convencional de drenaje urbano: la falta de servicio al ciudadano, los riesgos de inundación y la contaminación difusa (Fundación Conama, 2018). En otras palabras se trata del desbordamiento de los sistemas de tratamiento – unitarios en este caso –, las consecuencias del proceso de urbanización (mayores volúmenes de escorrentía y caudales pico) y la contaminación de las escorrentías urbanas (Perales Momparler, 2019). En adición, el potencial incremento en la intensidad máxima de las precipitaciones por efecto del cambio climático supone un ulterior desafío para los sistemas de drenaje urbano (Olivares-Cerpa et al., 2022).

La contaminación difusa proviene del agua que escurre sobre el suelo producto de la lluvia, siendo este el mecanismo a través del cual ocurre el transporte de contaminantes de fuentes no puntuales de superficies urbanas, que generan una disminución en la calidad del agua, hacia los cuerpos de agua receptores (Bravo-Inclán et al., 2013). El origen de este tipo de contaminación es variado, incluyendo residuos animales urbanos, residuos sólidos urbanos, el tráfico, erosión del pavimento, fachadas, cubiertas y tejados, jardinería, obras y superficies no desarrolladas. Los contaminantes transportados, por su parte, son sedimentos, aceites, grasas, hidrocarburos, fertilizantes, herbicidas, materia orgánica, metales pesados, partículas sólidas, bacterias, virus, nutrientes y patógenos (Perales Momparler, 2019). Los primeros minutos de los eventos de precipitación son aquellos que contienen la mayor carga contaminante, al arrastrar los contaminantes presentes en las superficies urbanas. La calidad del agua pluvial varía en función del material a través del cual fluye (Brignoli, 2017), por lo que la dificultad en determinar la misma radica en el hecho de que se encuentra completamente asociada a la localidad, o hasta al barrio, de estudio.

En la actualidad se cuenta con una gestión centralizada del agua pluvial urbana, que implica un enfoque desagregado con un alto consumo energético, baja calidad de las aguas mientras alto volumen de las mismas y desbordamientos de las redes de drenaje (Perales Momparler, 2019). Esto exige modificaciones en la gestión actual de aguas pluviales hacia orientaciones más flexibles y adaptables (Fundación Conama, 2018), incluyendo una gestión descentralizada y enfoques integrados que permitan resolver esta problemática de forma sostenible y holística.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) constituyen una alternativa para abarcar los desafíos mencionados aportando, además, beneficios a nivel ambiental, social, energético y económico. Asimismo, pueden contribuir a mejorar la resiliencia de los sistemas de drenaje frente a inundaciones y a controlar la contaminación difusa (Olivares-Cerpa et al., 2022; Bravo-Inclán et al., 2013). Se alinea dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, principalmente con el ODS 6 - *Agua Limpia y Saneamiento*: al absorber los contaminantes del agua y laminar las escorrentías mejorando la calidad de las aguas vertidas al cuerpo receptor, y el ODS 11 - *Ciudades y Comunidades Sostenibles*: al implementar una gestión integrada del recurso hídrico mejorando la hidrología de las ciudades y promoviendo una urbanización sostenible que reduzca a su vez los riesgos de inundación y proporcione zonas verdes (Naciones Unidas, 2018).

Estos sistemas son *“técnicas de gestión de aguas pluviales y planeamiento urbano que buscan reproducir y/o restituir los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico (...) integrando estratégicamente elementos de control de escorrentía en el paisaje urbano”* (Fundación Conama, 2018). Se plantean como alternativas de bajo impacto ambiental, permitiendo reducir los volúmenes de escorrentía superficial y los caudales pico. Se basan en la consideración del agua de lluvia como un recurso y están enfocados en realizar un manejo más eficiente de la misma, empezando por su captación, realizando la depuración adecuada y reinsertándolas en la naturaleza o dándoles un reúso en las actividades humanas (Fegan & Schwerdtfeger, 2022).

El objetivo de los SUDS es minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y la calidad de las aguas, maximizando las oportunidades de servicio de los ciudadanos y la



biodiversidad urbana. Se retienen y atenúan los caudales pico y se reduce la carga contaminante del medio receptor mediante vegetación, filtración y sedimentación, lo cual conlleva a la reducción de la necesidad de tratamiento del agua. Por otro lado, retiene y trata el volumen correspondiente a los primeros minutos de precipitación, por lo que reduce notablemente la contaminación de las aguas pluviales causada por el arrastre de los contaminantes urbanos del primer período de lluvia lo cual implica un importante beneficio ambiental. A su vez, gracias a la implementación de estos sistemas, se mejora la calidad del aire, así como se disminuyen las áreas impermeables y se aprovechan áreas urbanas para la creación de espacios verdes.

Bajo la denominación SUDS se encuentran sistemas e infraestructuras como alcorques, zanjas y depósitos de infiltración, pavimentos permeables, drenes filtrantes, áreas de biorretención, cunetas vegetadas, estanques o humedales artificiales, techos verdes, franjas filtrantes, aljibes y depósitos de aprovechamiento (Fundación Conama, 2018).

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) no ha sido ajena a los procesos descritos anteriormente. La localidad tiene una gran cobertura de desagües pluviales, sin embargo los problemas de contaminación e inundaciones existen y se trabaja para generar una alternativa sustentable para mitigar no solo los fenómenos hidráulicos sino las problemáticas ambientales vinculadas. La Ciudad se encuentra atravesada por doce cuencas, dentro de las cuales se encuentra la cuenca Radio Antiguo, la cual representa aproximadamente el 8% de la ciudad. Se localiza en la zona Este de la Ciudad y se extiende a través de los barrios de Almagro (parcialmente), Balvanera, Boedo (parcialmente), Constitución (casi en su totalidad), Montserrat, Parque Patricios (parcialmente), Puerto Madero, Recoleta, Retiro, San Cristóbal (parcialmente), San Nicolás y San Telmo. Dicha cuenca está conformada por tres arroyos que desembocan en el Río de la Plata y abarca 2.400 ha aproximadamente. El rasgo distintivo del área de estudio es que cuenta con desagües construidos a partir de 1869 que consisten de un sistema combinado pluviocloacal que descarga el caudal base en una cloaca interceptora afluente de la cloaca máxima (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). Es la única cuenca de la Ciudad que cuenta con un sistema unitario, el cual se encuentra frecuentemente desbordado generando las implicancias ambientales señaladas. A su vez, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires posee un déficit de espacios verdes, contando con 6 m² por habitantes, mientras que las recomendaciones de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) estipulan un mínimo necesario de entre 15 y 20 m² por habitantes (Corti et al., 2020).

1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto es diseñar un sistema de drenaje sostenible que contribuya, a nivel local, a mitigar los efectos de las escorrentías urbanas e inundaciones que afectan a la población, al mismo tiempo que reduce la contaminación generada por las mismas. Para esto, se propone la utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) de distintos tipos para el manejo y tratamiento de las aguas pluviales en la cuenca Radio Antiguo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Este proyecto se plantea como una medida complementaria para abordar y minimizar los impactos negativos de las inundaciones y la gestión inadecuada de aguas pluviales en el área de estudio.



Dentro de los objetivos específicos se propone:

- Realizar de un modelo hidrológico e hidrodinámico para el diagnóstico del sistema en el sistema SWMM
- Ejecutar un análisis de alternativas de distintos SUDS mediante la modelación en SWMM
- Evaluar los efectos de la implementación de estos sistemas
- Elaborar la ingeniería básica del proyecto

1.3. Factibilidad y justificación

Justificación y pertinencia

Los cambios en el uso de suelo y el desarrollo urbanístico tienen como resultado una mayor impermeabilización del suelo, lo cual en última instancia provoca inundaciones y arrastre de contaminantes que tienen como destino los cuerpos de agua receptores (véase punto 1.1). A nivel global se están implementando sistemas de gestión de aguas pluviales no convencionales acordes con el desarrollo sostenible, entre los cuales se destacan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Se trata de una solución desde la ingeniería a un problema ambiental, social e hidráulico. A su vez, la calidad del agua pluvial se presenta como una problemática de creciente interés, por lo que este tipo de sistemas pueden dar una respuesta factible sin la necesidad de recurrir a tecnologías de mayor inversión y dificultad de implementación.

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) ha presentado afectaciones por la gestión del agua pluvial, sea inundaciones como falta de control en la calidad del mismo. A su vez, la falta de espacio verde público y arbolado urbano es una problemática ambiental en la Ciudad. En consecuencia, los SUDS presentan un nuevo enfoque para abordar estas problemáticas.

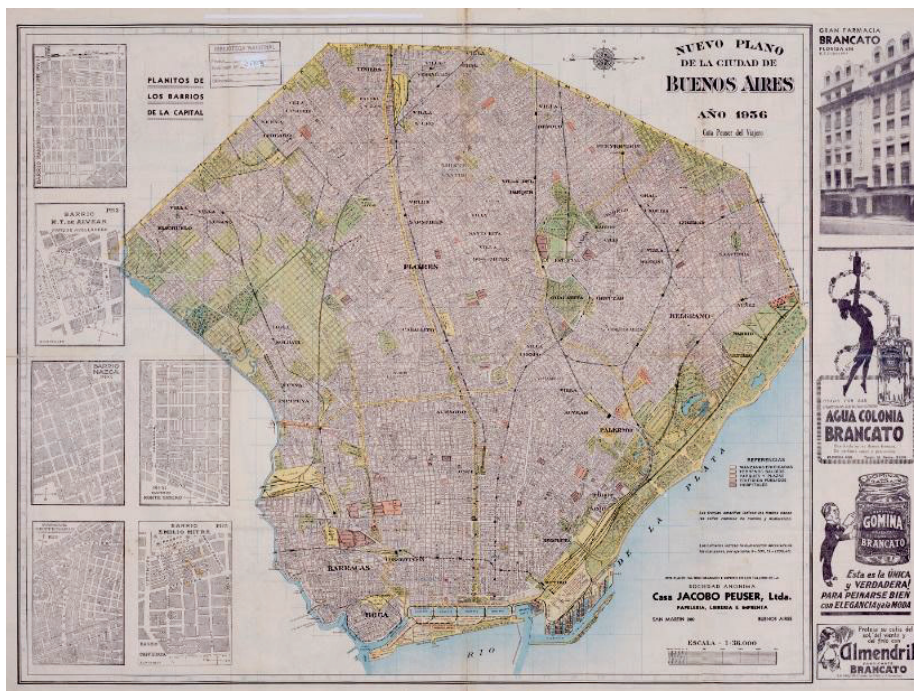
Como se ha señalado, estos sistemas surgen como respuesta a un fenómeno ineludible: el vertiginoso crecimiento demográfico y la consiguiente expansión urbana a lo largo de los años. Desde principios del siglo XX hasta la actualidad, la población de CABA ha experimentado un ascenso significativo, evidenciando un incremento exponencial que ha transformado la geografía y la dinámica de la ciudad. De hecho, en 1855 la Ciudad contaba con 95,000 habitantes; incrementando a 1,500,000 en 1914; 3,045,369 de habitantes en 1950, alcanzando los 3,121,707 habitantes en el censo del año 2022 (Ministerio de Desarrollo Urbano del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009; Prieto, 2018; Censo, 2022). Este crecimiento desmedido ha dado lugar a una alarmante impermeabilización del terreno, observable a través de las imágenes a continuación que ilustran cómo la ocupación del suelo ha evolucionado con el transcurso del tiempo, disminuyendo progresivamente el espacio verde. Esta impermeabilización progresiva exacerbó las problemáticas asociadas, desde inundaciones recurrentes hasta cambios drásticos en el uso del suelo y la contaminación ambiental.



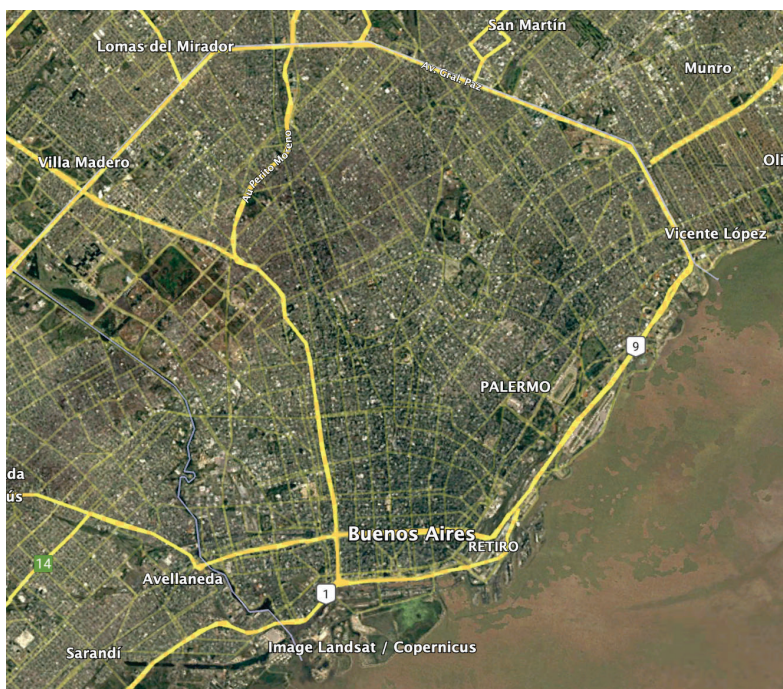
Fuente: [H. Montheil](#) (1898).



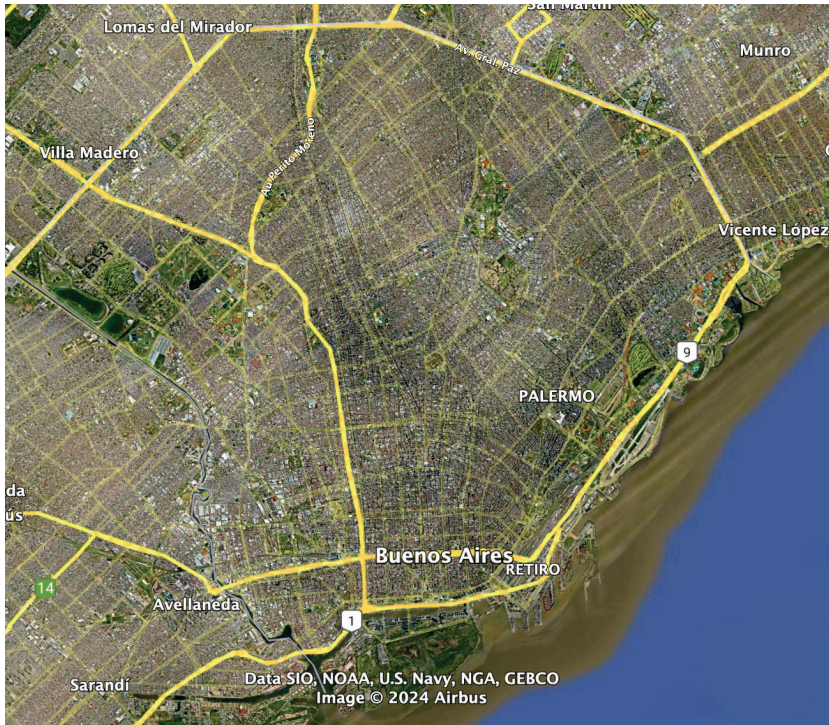
Fuente: J. Peuser (1912).



Fuente: J. Peuser (1936).



Fuente: Google Earth (1984).



Fuente: Google Earth (2024).

El Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA) ha llevado a cabo trabajos con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, siendo una línea de trabajo dentro de la Dirección General de Hidráulica. El presente proyecto se encuadra dentro de las necesidades e intereses de dicha Dirección. De este modo, se trata de un trabajo conjunto y alineado con los proyectos realizados desde el GCBA. De hecho, la Ciudad en su Código de Planeamiento Urbano ha incorporado Compromisos Ambientales entre los cuales se destaca la prevención del efecto isla de calor, la prevención del riesgo hídrico y la ralentización del agua de lluvia captada (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2019). Al tratarse de una ciudad completamente urbanizada, en la cual no es posible incorporar los SUDS como infraestructura pluvial de base para el planeamiento urbano, una de las aplicaciones prioritarias es también la mitigación de los efectos del cambio climático en relación a los eventos extremos de precipitación.

A su vez, se trata de la única cuenca de la Ciudad de Buenos Aires que cuenta con un sistema unitario pluvio-cloacal. Por lo que la implementación de SUDS tiene mayores consecuencias ambientales, no solo al disminuir el caudal pico y el volumen de escorrentía sino al reducir la sobrecarga del sistema que genera descargas directas al Río de la Plata de agua pluvial con efluente cloacal diluido. La cuenca Radio Antiguo, y el barrio de San Telmo en particular, es una zona particularmente urbana y con alta afluencia de turistas. Además, presenta pocos o nulos espacios verdes. Por estas características es un área de interés para el GCBA y se presenta factible para este tipo de intervenciones.

Por último, se trata de una temática reciente que se encuentra principalmente atendida en países desarrollados, con bibliografía y modelos internacionales que no terminan de ser completamente adaptables al presente contexto. Por este motivo, se plantea un proyecto de SUDS basado en un diagnóstico y modelo preciso que busca adaptarlo a la realidad de CABA y a los materiales y conocimientos disponibles, evaluando las necesidades locales. Así, el impacto podrá ser ampliado a otras problemáticas en distintas áreas de la Ciudad.



Alcance y limitaciones

En el siguiente documento se presenta la ingeniería básica y evaluación a nivel de prefactibilidad del proyecto en cuestión, enfocando en la modelación hidrológica e hidrodinámica, evaluación del sistema y análisis de alternativas mediante el software utilizado. El marco de referencia es el perímetro de la cuenca Radio Antiguo dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, específicamente en la Av. San Juan entre 9 de Julio y Paseo Colón.

El alcance del proyecto estuvo condicionado por los siguientes aspectos:

- El enfoque y los lineamientos establecidos para la realización del Proyecto Final Integrador en el marco de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín.
- La disponibilidad de información de base: estudios antecedentes, datos topográficos e hidrográficos, entrevistas con actores clave, entre otros.
- Criterios profesionales utilizados comúnmente y adoptados por el GCBA.

El presente trabajo no contempla instancias de participación con vecinos y frentistas, actores clave al momento de determinar la viabilidad del proyecto. A su vez, para el predimensionamiento de las alternativas y adopción de índices de mitigación de contaminación se utilizaron guías de diseño realizadas en otras regiones del mundo, adaptándolas a las condiciones locales con el objetivo de generar mejores recomendaciones. Por último, no se han realizado cateos para evaluar interferencias.

Cabe destacar que el proyecto no dará solución definitiva a la problemática socio-ambiental relacionada, sino que se deberá enmarcar dentro de una estrategia global para el manejo de la hidrología urbana de la cuenca Radio Antiguo. Sin embargo, se presenta como una primera acción orientada hacia una gestión integral del agua pluvial.



Capítulo 2: Metodología

La metodología utilizada para el presente proyecto permitió realizar un diagnóstico y destacar los aspectos fundamentales de la problemática y evaluarlos a partir de criterios técnicos para poder seleccionar la mejor alternativa y realizar el diseño del proyecto en cuestión. El proyecto se desarrolló en etapas.

Etapas I

En esta etapa se realizó el análisis de la estructura del proyecto, así como se ajustaron los objetivos, justificación y pertinencia del trabajo. Esta fase consistió del estudio de la temática, mediante abundante bibliografía, la cual incluyó artículos especializados, sitios web, manuales, proyectos ejecutivos y trabajos finales de estudios de grado y posgrado. Asimismo, se analizaron planos, informes técnicos, normativa/marco regulatorio y se realizaron entrevistas con profesionales especializados en el área. Con dicha información se fue elaborando el marco teórico y conceptual del proyecto, afianzando los conocimientos y volcándolos en dicho capítulo a los fines de contextualizar a los receptores del presente trabajo.

Luego, se procedió a realizar el diagnóstico. El mismo consiste en la descripción del área de estudio, así como del sistema de desagües pluviales de la Cuenca mediante un análisis desde la construcción hasta la actualidad. Posteriormente se procedió a realizar el modelo hidrológico de la cuenca. Para esto se buscó información sobre el régimen de precipitaciones del área, variables climatológicas, topografía, cobertura de la red de drenaje y la situación de los conductos. Asimismo, se realizó la delimitación de cuencas y subcuencas que componen el sistema, el cálculo de las áreas de drenaje, el coeficiente de escorrentía y tasa de infiltración. Con la información recopilada y producida se procedió a realizar una primera modelación en el software SWMM desarrollado por la EPA, evaluando y analizando los resultados obtenidos. En esta etapa se elaboraron mapas temáticos mediante la herramienta QGIS.

El modelo de trabajo llevado a cabo para la realización del modelo hidrológico e hidrodinámico fue el siguiente: se partió de la exportación del modelo existente en el software MIKE de la empresa danesa DHI y se comparó la situación del modelo con archivos en QGIS y Autocad con información de la cuenca a los fines de complementar, y eventualmente actualizar, el código. Dicha información fue brindada por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Se tomó una lluvia de diseño y se cargaron en SWMM los parámetros faltantes. Se partió de la base del código e información del software MIKE y se fueron realizando los cálculos necesarios para adaptar el modelo al diseño deseado y a las facilidades y condiciones impuestas por el propio SWMM. Se realizaron análisis de sensibilidad de parámetros y corridas con distintos marcos conceptuales y ecuaciones que describen el sistema.

Una vez logrado el modelo y efectuadas las corridas con éxitos se procedió a una etapa de validación del modelo. Esta etapa se realizó seleccionando subcuencas, conductos y calles en la zona de interés y comparando sus resultados con aquellos obtenidos de una corrida análoga con el software MIKE –información brindada por el GCBA–. Este proceso fue iterativo, realizando los ajustes necesarios hasta llegar a un error aceptable.



Etapla II

Una vez analizada la situación actual, se procedió a analizar el área de intervención seleccionada según los criterios utilizados por el GCBA. Posteriormente, se establecieron los criterios de diseño y se realizó el planteo conceptual de las posibles soluciones en términos urbanísticos para contar con una preselección de las mismas. Se seleccionó la alternativa del proyecto urbano luego de análisis propios e incorporación de criterios utilizados por el GCBA.

Luego, se procedió a diseñar el proyecto en términos hidráulicos y ambientales. Se incorporaron los datos de entrada, definiendo parámetros de diseño, para realizar la modelación de las alternativas deseadas. Se realizó la memoria de cálculo del sistema. Se realizaron modelos discretizados para evaluar la sensibilidad de los parámetros y poder lograr un diseño apto a los objetivos deseados. Se evaluaron los resultados y con dicha información se seleccionaron las tipologías de SUDS aplicadas. Se consultaron diversas fuentes y manuales de ingeniería para proceder a realizar el dimensionamiento del sistema seleccionado. De esta forma, se realizó el diseño del mismo y se comprobó la alternativa elegida mediante una nueva modelación en el software MIKE. Se evaluó la mitigación de contaminantes del agua pluvial mediante coeficientes de reducción de la carga contaminante presentes en bibliografía.

Etapla III

En esta última etapa, se realizó el Estudio de Impacto Ambiental. El mismo incluyó una Línea de Base Ambiental completa del sistema. Se realizó la descripción del proyecto y se analizaron los potenciales impactos ambientales. Luego, se incorporó un Plan de Gestión Ambiental tanto de obra como de operación. Se procedió a realizar los planos mediante el software de diseño AutoCAD. Una vez finalizados los mismos, se realizó el cómputo y el presupuesto del proyecto. Para lograr este objetivo se estuvo en contacto con distintos proveedores y profesionales de la temática. Por último, se realizaron las conclusiones del proyecto y se llevaron a cabo ajustes del capítulo 1 y 2. Se realizó una revisión integral del documento.



Capítulo 3: Marco teórico

3.1. Problemática del drenaje urbano

3.1.1. Aspectos hidrológicos básicos

La Gestión Integral del Recurso Hídrico se define como un “proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Global Water Partnership, 2012). Se trata de un enfoque holístico y sostenible para la administración y conservación de los recursos hídricos en una determinada región hidrográfica. La gestión integral busca equilibrar las necesidades y prioridades de los diferentes usuarios del agua, promoviendo la eficiencia en su uso, la protección de la calidad del agua y la preservación de los ecosistemas acuáticos. El objetivo es garantizar la disponibilidad y sustentabilidad del agua a largo plazo. La implementación de SUDS se alinea con los principios de la Gestión Integral de Recursos Hídricos al considerar el agua de lluvia como un recurso valioso en lugar de un problema a ser eliminado rápidamente. La integración de enfoques de gestión integral de los recursos hídricos dentro de la evaluación y gestión ambiental de los SUDS es un aspecto relevante a ser tenido en cuenta desde el ámbito de la ingeniería ambiental.

Una cuenca hidrográfica se define como un área delimitada por las divisorias de aguas, donde los arroyos y ríos convergen hacia una misma desembocadura, generalmente un mar. En el enfoque integrado de gestión de los recursos hídricos, es necesario coordinar las actividades humanas que demandan agua, determinan los usos del suelo y generan desechos relacionados con el agua. La gestión de los recursos hídricos se lleva a cabo a nivel de la cuenca hidrográfica o de la cuenca fluvial, que se considera la unidad lógica para este propósito. La cuenca hidrográfica ofrece numerosas ventajas para la planificación estratégica (Pérez Hurtado, 2020).

El ciclo hidrológico se puede definir como un modelo conceptual que describe el almacenamiento y circulación del agua entre la biósfera, atmósfera, litósfera e hidrósfera (Sánchez San Román, 2001). En ambientes urbanos, dicho ciclo es modificado debido a los impactos que genera la urbanización en el ambiente y a la necesidad de proveer servicios relacionados con el agua a su población, incluyéndose tanto el abastecimiento de agua, como el manejo de aguas residuales y pluviales (Pérez Hurtado, 2020). De esta forma, el ciclo hidrológico del agua es más complejo en las ciudades, comprendiendo una serie de etapas interconectadas que conforman el ciclo urbano del agua.

3.1.2. Hidrología urbana

La urbanización reduce la permeabilidad del terreno, reemplazando áreas de infiltración libre por superficies impermeabilizadas, así como aumenta la escorrentía superficial (Woods Ballard et al., 2015). En la figura 1 y 2 se ilustran los impactos en el ciclo hidrológico debido a la urbanización. Los principales cambios que ocasiona la urbanización en el ciclo del agua incluye la eliminación de patrones de drenaje de la vegetación, la pérdida de depresiones que almacenan temporalmente agua de escorrentía, la pérdida de la capacidad de absorción de agua pluvial del suelo. Se trata de los mismos elementos del ciclo hidrológico con una proporción diferente: reducida intercepción del agua de lluvia por falta de arbolado, mayor

precipitación y escurrimiento superficial, menor evapotranspiración e incremento de la frecuencia del escurrimiento superficial (UNESCO, 2004).

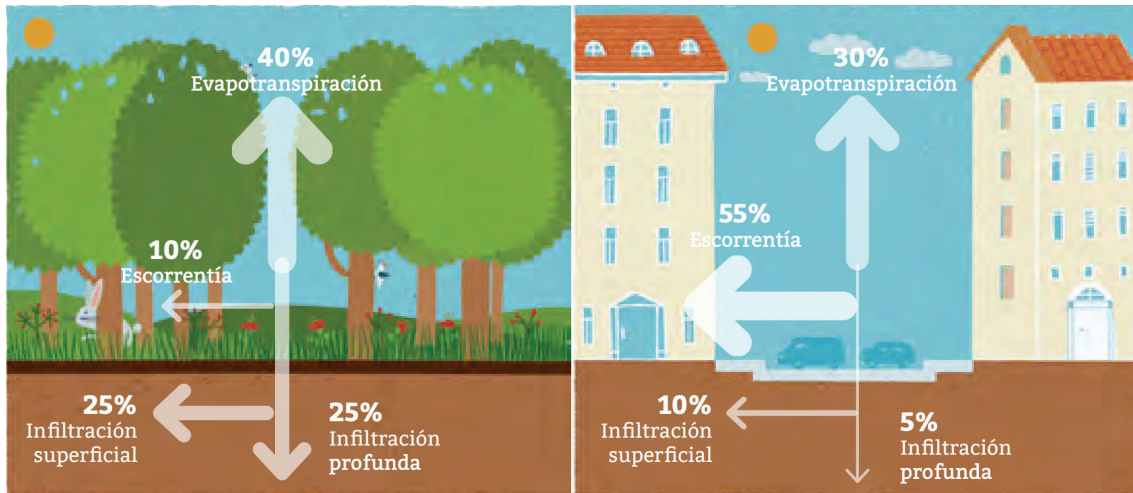


Figura N° 1. Cambios producidos en la hidrología local por el desarrollo urbano. Fuente: Ballester-Olmos y Anguís et al. (2015).

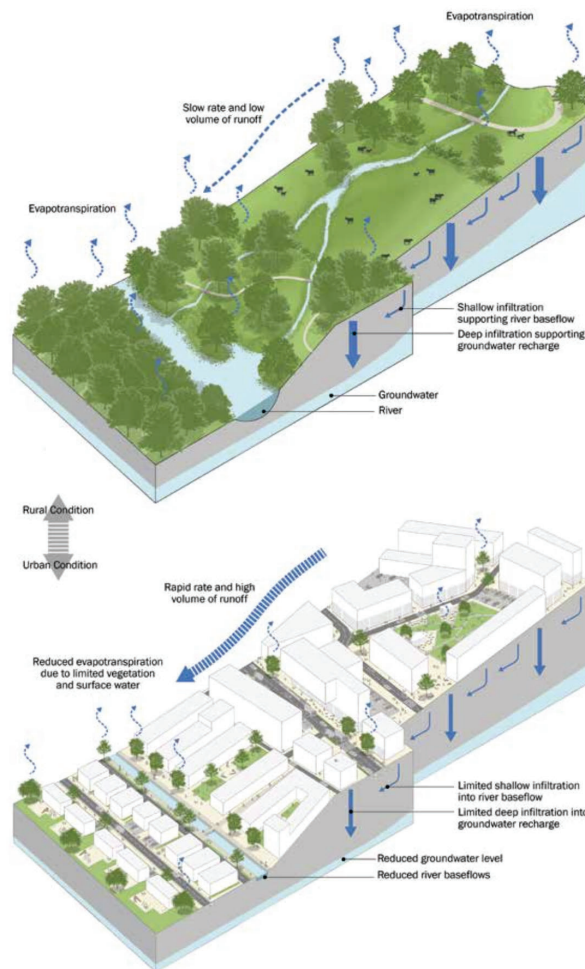


Imagen N° 2. Impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico natural (urban condition vs rural condition). Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



El ciclo urbano del agua inicia con el suministro de agua potable a las áreas urbanas, donde se captura, trata y distribuye el agua desde fuentes naturales. Luego se pasa al abastecimiento agrícola, industrial y urbano, donde el agua se utiliza en los hogares, industrias y comercios para una variedad de actividades diarias, para convertirse, una vez utilizada, en aguas residuales. Estas últimas son recolectadas y transportadas mediante redes de saneamiento y drenaje a plantas de tratamiento especializadas, donde se someten a procesos para eliminar contaminantes y recuperar su calidad antes de ser devueltas al ambiente. Además, las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas para usos no potables, como el riego, y los recursos valiosos pueden ser recuperados. La gestión de las aguas pluviales es esencial en el ciclo urbano del agua, y se desarrolla mediante la recolección y gestión de las aguas de lluvia a través de sistemas de drenaje y tecnologías sostenibles.

Los vínculos existentes entre las distintas etapas del ciclo urbano del agua puede dar lugar a impactos negativos, así como pueden utilizarse de forma sinérgica logrando efectos positivos y maximizando los múltiples beneficios para las intervenciones que se decidan en distintas partes del ciclo (Ballester-Olmos y Anguís et al., 2015, #51).

Estos cambios que las ciudades ejercen sobre la hidrología local conllevan a la implementación de infraestructura que busca reducir la cantidad de agua que escurre por la superficie de las calles, y disminuir en consecuencia la posibilidad de accidentes y de generación de inundaciones. Hasta el momento se ha realizado de forma tradicional promoviendo la rápida evacuación de las aguas de lluvia por medio de la red pluvial o de alcantarillado, donde el agua entra a través del sumidero y se conduce mediante tuberías fuera del casco urbano. Los sistemas de alcantarillas suelen ser de dos tipos: sistemas unitarios, donde se combinan las aguas pluviales con las aguas residuales, o sistemas separados donde las aguas residuales domésticas e industriales son conducidas a plantas depuradoras mientras que por una red diferente las aguas pluviales son conducidas al cuerpo acuático receptor (Ballester-Olmos y Anguís et al., 2015).

3.1.3. Calidad de agua

Es necesario destacar que a medida que el agua superficial de escorrentía fluye sobre una superficie desarrollada de una cuenca, moviliza sedimentos, residuos y una amplia gama de contaminantes relacionados con las actividades humanas. Sin intervención, estos elementos eventualmente fluyen hacia los cuerpos de agua receptores, representando un riesgo para el ambiente y la salud pública. Las cañerías tradicionales se encuentran diseñadas de forma que los sedimentos se mantengan en suspensión, para evitar la acumulación dentro del mismo, pero transfiriendo la contaminación asociada directamente a las aguas receptoras (Woods Ballard et al., 2015).

El origen de la contaminación de la escorrentía urbana es variado y proviene de muchos tipos de fuentes y ubicaciones, es por eso que se la conoce como “contaminación difusa” (Bravo-Inclán et al., 2013). A su vez, existe una gran variabilidad en la concentración de los contaminantes, por lo que no es posible contar con una caracterización estándar de la calidad del agua urbana ya que se encuentra completamente asociada al área de estudio (Brignoli, 2017). Las áreas sin tráfico suelen estar menos contaminadas, y los niveles de contaminación tienden a aumentar con la intensidad del tráfico (especialmente la frecuencia de maniobras y los movimientos de camiones) y con mayores riesgos de derrames y contaminantes del proceso en actividades comerciales y/o industriales. Los datos de contaminación del escurrimiento son altamente variables y dificultosos de generalizar (Maza et al., 2005).



El impacto general del área en la calidad del agua urbana depende de los siguientes factores:

- Los tipos de contaminantes en el sitio, ya que estos tienen diferentes efectos en el medio receptor. Se cuenta con múltiples fuentes de contaminación de áreas impermeables, siendo los contaminantes típicos los hidrocarburos, metales pesados, sedimentos, fósforo, nitrógeno, aceites, grasas, fertilizantes, herbicidas, materia orgánica, partículas sólidas, bacterias, virus, nutrientes y patógenos.
- Las concentraciones pico de contaminantes en el escurrimiento del sitio, ya que pueden causar toxicidad aguda (a corto plazo) en las aguas receptoras.
- La carga total de contaminantes que se transportará en el escurrimiento del sitio hacia el medio receptor, ya que esto puede causar contaminación crónica (a largo plazo) y deterioro gradual debido a la acumulación de contaminantes.

Durante las etapas iniciales de un evento de lluvia suele ocurrir un pico de concentración de contaminantes, antes de que el sistema pluvial alcance su punto máximo. Es posible obtener una alta concentración de contaminantes para eventos de lluvia relativamente pequeños, ya que no es necesario un alto caudal para generar el arrastre de los contaminantes urbanos. Por eso es importante gestionar de manera efectiva también los eventos de lluvia pequeños y frecuentes.

Este fenómeno, denominado "*first flush*", consiste en el flujo de agua causado por lluvias que en su comienzo "barren" los techos, calles, veredas y jardines y generan la escorrentía que luego ingresa en la red de desagües pluviales. Entre los primeros 15 a 30 minutos de la tormenta este flujo arrastra y/o diluye la mayor proporción de contaminantes que presenta la escorrentía total. La naturaleza del fenómeno del lavado de superficies expuestas explica que la máxima concentración de contaminantes se suele producir normalmente antes de que se manifieste el pico de la tormenta (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). Este comportamiento se puede observar en la figura 3, donde se indica cómo varía la concentración de los contaminantes (en rojo) y la carga acumulada de contaminantes (en verdes) presentes en los sedimentos transportados en un evento de lluvia en función del tiempo, en comparación con el caudal (en azul). Se destaca el pico inicial de contaminantes poco después del inicio de la lluvia, y luego un segundo pico posterior que coincide con un aumento en el caudal a medida que el escurrimiento de las zonas más distantes de la cuenca llegan al sistema. Si bien los distintos contaminantes pueden mostrar diferentes patrones de escurrimiento, todos los contaminantes presentes en las superficies urbanas muestran altas concentraciones iniciales.

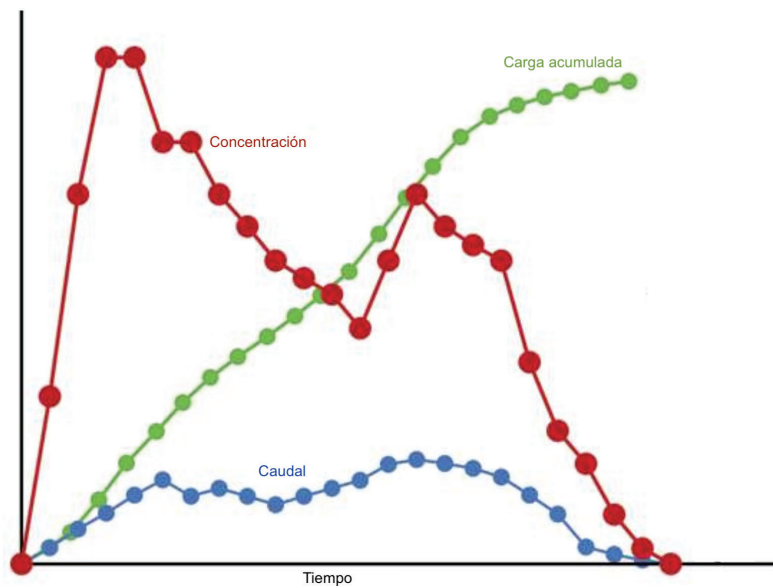


Imagen N° 3. Relación entre el caudal de la escorrentía (azul), los picos de concentración (rojo) y la carga contaminante total (verde) en un evento de lluvia. Fuente: adaptado de Woods Ballard et al. (2015).

Es importante diseñar sistemas de drenaje para proteger tanto las aguas superficiales como las subterráneas, lo cual ayuda a garantizar que la descarga de agua pluvial cumpla con los estándares ambientales de calidad de agua y con los requisitos de la legislación ambiental pertinente (Woods Ballard et al., 2015).

3.2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable

Tradicionalmente, la gestión de agua pluvial en zonas urbanas estuvo asociada al manejo de riesgos de inundaciones, enfocado principalmente en reducir los niveles existentes de daño por las mismas y proteger a la salud pública. Una estrategia integrada para el manejo de riesgo de inundaciones requiere el uso de medidas tanto estructurales como no estructurales. Las primeras refieren a la construcción de medidas estructurales de ingeniería “pesada” como puede ser canales aliviadores o alcantarillados. Se trata del modo habitual de manejo de inundaciones mediante el control del flujo de agua por construcción de infraestructura. Si bien pueden ser altamente efectivas, las medidas convencionales transfieren el riesgo de inundación desde un lugar a otro y presentan altos costos de inversión. Las medidas no estructurales, frecuentemente denominadas “soluciones blandas”, no requieren de la construcción de infraestructura física, por lo que suelen ser menos costosas y su implementación es más rápida. Se basan en el buen conocimiento de los peligros de la zona y de los sistemas de pronóstico. Dentro de estas medidas se pueden encontrar la planificación urbana, los sistemas de alerta temprana, regulación del uso de suelo y legislación (Castrillón Ocampo, 2014).

Frente a la situación descrita anteriormente, se busca establecer una serie de procedimientos y técnicas que logren beneficios claros y tangibles, como es la disminución del riesgo de inundación pero también la protección del ambiente, la revegetación de áreas urbanas y el establecimiento de una provisión alternativa de agua (Ballester-Olmos y Anguís et al., 2015). De este modo, en la actualidad los objetivos de la gestión del agua pluvial y del drenaje urbano incluyen el enfoque holístico de manejo de inundaciones, así como también la minimización de la erosión del suelo y los problemas de sedimentación, la protección de la calidad del ambiente

reduciendo la contaminación en la cuenca y la minimización de la polución de las aguas receptoras, entre otros. En línea con esta visión, como medida tanto estructural como no estructural¹ necesaria para el manejo de las inundaciones, se destacan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable (SUDS), los cuales se presentan como un complemento de los sistemas de drenaje convencional (Castrillón Ocampo, 2014).

Estos sistemas implementan un control de la lluvia para reducir la escorrentía superficial y la cantidad de contaminantes que ingresan a los sistemas de drenaje convencional. Como se puede observar en las figuras 4 y 5, con el establecimiento de las ciudades y el crecimiento de las urbanizaciones, se alteró el ciclo hidrológico natural. Los sistemas de drenaje convencionales son diseñados para transportar agua lo más rápido posible, generando grandes caudales en períodos cortos de tiempo y aumentando la probabilidad que se produzcan inundaciones (Pérez Hurtado, 2020; Castrillón Ocampo, 2014). La incorporación de SUDS dentro de la gestión del agua pluvial en las grandes ciudades tiene como objetivo generar una situación hidrológica más cercana al ciclo natural pre-urbanización.

La filosofía de los SUDS se basa en la reproducción del ciclo hidrológico natural en los espacios urbanos, intentando dar soluciones que no incrementen la problemática aguas abajo, tanto en cantidad como en calidad. A diferencia del enfoque tradicional cuya gestión de las aguas de lluvia se centra en la cantidad, dirigiendo el agua fuera de la ciudad lo más rápido posible (Ballester-Olmos y Anguís et al., 2015).

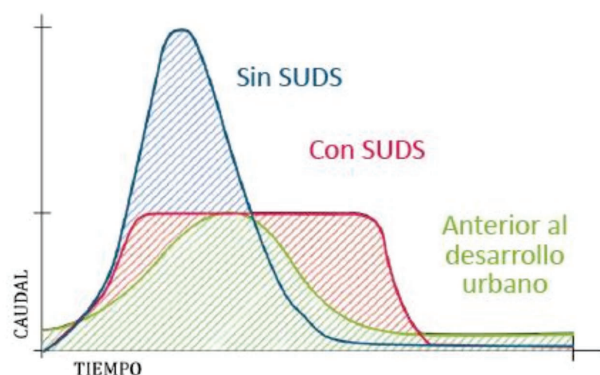


Imagen N° 4. Impacto de los SUDS y de la urbanización en picos de caudales de escurrimiento. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

¹ En el presente proyecto se desarrollarán únicamente medidas estructurales. Las medidas no estructurales de SUDS incluyen programas educativos y de participación ciudadana, legislación y normativas, limpieza frecuente de superficies, control de conexiones ilegales (Pérez Hurtado, 2020; Perales Momparler, 2019).

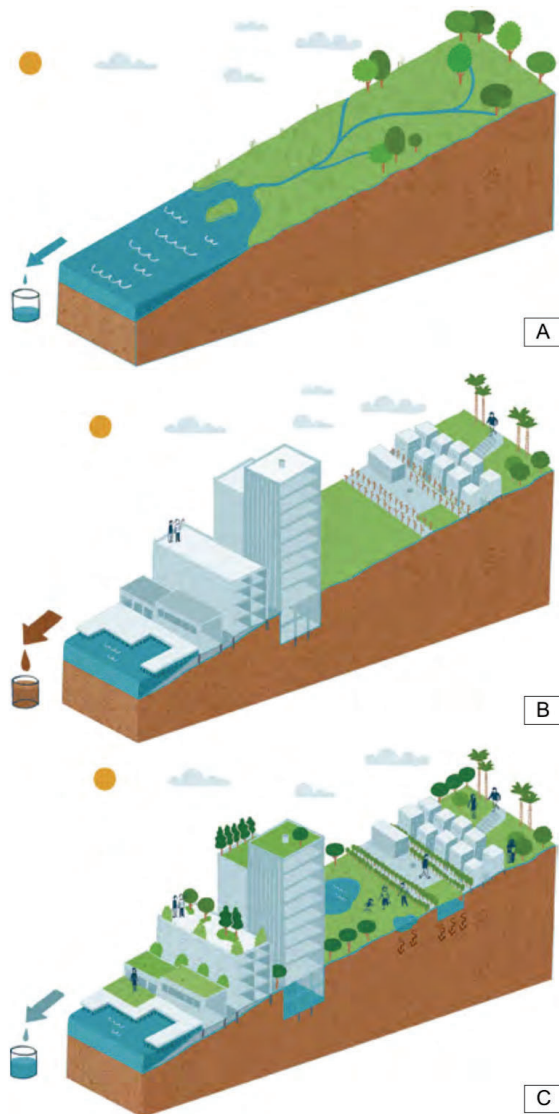


Imagen N° 5. Comparación del comportamiento de una cuenca en su situación natural (A), una vez urbanizada de forma tradicional (B) y con implementación de SUDS en el área urbana (C). Fuente: Ballester-Olmos y Anguís et al. (2015).

Este tipo de sistemas tienen distintas nomenclaturas: son conocidos en Reino Unido como *Sustainable (Urban) Drainage Systems (SuDS)*; en Estados Unidos se cuenta con los *Low Impact Development (LID)*, *Green Infrastructure (GI)* y *Best Management Practices (BMPs)* - estos últimos junto con Malasia y Alemania, entre otros -; y en Australia y Nueva Zelanda se conocen como *Water Sensitive Urban Design (WSUD)* (Perales Momparler, 2019). En general, tanto en Europa como en Latinoamérica este tipo de tecnologías y medidas son conocidas como SUDS, que hace referencia en diferentes escalas, tanto regionales como locales, al restablecimiento del ciclo hidrológico natural previo a acciones antrópicas, con el objetivo de minimizar el impacto en términos de cantidad y calidad de la escorrentía urbana (Pérez Hurtado, 2020). En el presente



trabajo se adoptó la denominación de los Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) ya que es la denominación utilizada por el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires².

La filosofía de los sistemas de drenaje urbano sostenible es maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos de la escorrentía superficial de áreas urbanizadas (Woods Ballard et al., 2015, #19). La finalidad de dichos sistemas es la captación de la escorrentía superficial generada luego de un evento de lluvia, para luego ser almacenada, filtrada, reutilizada o infiltrada al terreno, generando una reducción de los volúmenes del agua y de la carga contaminante de la misma. Se busca reducir la descarga de las aguas pluviales a los sistemas convencionales para generar un diseño con menores dimensiones y extensiones. Para los sistemas de conductos ya existentes, reduce la sobrecarga del sistema y, en los sistemas pluvio cloacal - como es el caso de estudio -, reduce los caudales de ingreso de agua pluvial y en consecuencia el vertimiento al cuerpo de agua (Pérez Hurtado, 2020). Se trata de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión inteligente del agua pluvial.

Como se ha indicado, el objetivo principal de los SUDS es imitar los procesos hidrológicos naturales. Diseñados adecuadamente, los SUDS permiten (Castrillón Ocampo, 2014):

- Reducir las tasas de escurrimiento, lo que disminuye el riesgo de inundaciones.
- Reducir los volúmenes adicionales de escurrimiento que tienden a aumentar con la urbanización y que pueden incrementar el riesgo de inundaciones y deterioro de la calidad de los cuerpos receptores.
- Reducir las concentraciones de contaminantes en el agua de escurrimiento, con lo que se protege la calidad de los cuerpos receptores.

En relación a este punto (véase sección 3.1.3 para mayor información) es necesario destacar que los Sistemas de Drenaje Sostenible brindan la oportunidad de capturar y tratar la escorrentía al interceptar, filtrar y degradar los contaminantes, y al reducir el volumen de escorrentía potencialmente contaminada (Woods Ballard et al., 2015).

3.2.1. Beneficios

Entre los beneficios que presentan los SUDS, se destacan (Woods Ballard et al., 2015) :

- Proteger a las personas y a las propiedades del aumento del riesgo de inundaciones resultante de las áreas desarrolladas.
- Proteger la calidad de las aguas subterráneas y superficiales de la escorrentía contaminada proveniente del transporte de contaminantes en áreas urbanas.
- Proteger los regímenes naturales de flujo (y, por ende, la morfología y la ecología asociada) en ríos, lagos y arroyos.
- Apoyar los hábitats naturales locales y los ecosistemas mediante la promoción de una mayor biodiversidad y la conexión de los hábitats y espacios de convivencia dentro de la ciudad, y mejorar así la calidad del paisaje urbano.
- Mejorar la calidad y humedad del suelo y recargar los acuíferos subterráneos.
- Crear zonas urbanas que integren los espacios acuáticos y áreas verdes con el entorno construido. Lo cual intenta reducir el efecto urbano de “isla de calor” que se produce en las ciudades.
- Mejorar la comprensión de las personas sobre cómo se gestiona y utiliza la escorrentía proveniente de su desarrollo, y los beneficios de enfoques más sostenibles.

² Véase Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (GCBA), n.d. <https://buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/manualdedisenourbano/paisaje-urbano-verde/sistema-urbano-de-drenaje-sostenible-suds>. Fecha de acceso: agosto 2023.



- Ofrecer infraestructuras rentables que utilicen menos recursos naturales y tengan una huella de carbono durante toda su vida útil más pequeña que los sistemas de drenaje convencionales.
- Apoyar la creación de áreas urbanas que sean más capaces de hacer frente a los cambios climáticos, ofreciendo resiliencia.

Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento en la frecuencia de eventos extremos, tales como sequías e inundaciones. Se espera que el aumento de la intensidad de los eventos de lluvia lleve a un incremento de la escorrentía, lo cual en un área urbana conlleva a todas las problemáticas abordadas anteriormente. Los SUDS pueden soportar los excedentes del agua pluvial del sistema de conductos convencional ya que se encuentran diseñados para soportar lluvias más severas. El exceso de escorrentía puede ser fácilmente transportado desde el sistema de drenaje hasta rutas de transporte y zonas de almacenamiento. Estos sistemas pueden ser diseñados para ofrecer una capacidad más flexible y tienden a contar con un potencial de mejora a un costo razonable en comparación con los sistemas convencionales de drenaje subterráneo. En adición, la mayoría de los SUDS utilizan menos recursos y energía que los sistemas tradicionales de drenaje, a su vez de actuar como un sumidero de carbono cuando se utilizan (Woods Ballard et al., 2015).

3.2.2. Funciones

Los procesos y funciones especiales que se asocian a este tipo de sistemas se presentan a continuación. Un mismo SUDS puede otorgar dos o más funciones, ya que las mismas no son independientes sino que se pueden desarrollar en forma simultánea (Woods Ballard et al. 2015; Fegan & Schwerdtfeger, 2022).

- Detención: almacenamiento temporal del agua pluvial para posterior descarga lentamente y reducción del caudal pico. Atenuación y ralentización del flujo superficial previo a su transporte aguas abajo.
- Retención: captación directa de la escorrentía *in situ* y recolección para su posterior aprovechamiento, tras la sedimentación de sólidos en suspensión.
- Filtración: retención de las partículas presentes en el agua pluvial a través de un medio poroso, sustrato o vegetación.
- Infiltración: movimiento vertical de la escorrentía a través del sustrato, contribuyendo a la recarga del acuífero. Se incluyen frecuentemente zonas de almacenamiento temporal para dar respuesta a las escorrentías antes de la lenta liberación al suelo.
- Tratamiento: procesos biológicos de fitorremediación o colonias bacterianas para metabolizar, remover y degradar contaminantes presentes en el agua urbana.

En adición, hay sistemas cuya función principal es el transporte para la transferencia de la escorrentía superficial de un sitio a otro, tal como sucede con el sistema de drenaje convencional. Existen también sistemas de superficie permeable: son superficies estructurales que permiten la penetración del agua, disminuyendo la proporción de la escorrentía transportada hacia los sistemas de drenaje.

Los SUDS no deben ser pensados como un componente individual, sino como un sistema interconectado diseñado para manejar y tratar de la mejor forma posible el agua de superficie. En este contexto se introduce el concepto de tren de tratamiento o cadena de drenaje sostenible. Si bien el presente proyecto contempla el diseño de SUDS en un área de intervención puntual, idealmente podría formar parte de un proyecto integral, no solo a nivel barrial sino a nivel cuenca, que contemple la incorporación de una cadena de tratamiento. Se trata del uso de una secuencia de componentes con una función específica que, en conjunto, hacen a la gestión integral del agua pluvial (Woods Ballard et al. 2015; Pérez Hurtado, 2020; Perales Momparler, 2019).

Asociado a dicho concepto, existe lo que se conoce como cadena de gestión: es decir las distintas etapas para lograr una gestión urbana del drenaje sostenible eficiente. La cadena presenta los siguientes niveles: (i) prevención, que incluye campañas de concientización, educación y formación; (ii) una gestión en origen, controlando la cantidad y calidad del agua; (iii) luego una gestión en el entorno urbano, es decir aplicado a áreas mayores y teniendo en consideración el valor recreativo y la comodidad; y por último (iv) la gestión en cuencas, es decir en grandes áreas que requieren mayores espacios y que tienen en consideración la biodiversidad. El número de niveles de la cadena de tratamiento se da en función de las características de la cuenca de drenaje y la sensibilidad del medio receptor (Fegan & Schwerdtfeger, 2022 y Perales Momparler, 2019).

3.2.3. Pilares de diseño

El objetivo principal del diseño de SUDS es obtener el máximo beneficio de la escorrentía superficial. Para lograr la sostenibilidad deseada, se debe garantizar un apropiado diseño, construcción y mantenimiento de cada uno de los elementos que la conforman. Los cuatro pilares para el diseño de SUDS se presentan a continuación.

Tabla N° 1. Pilares de diseño de SUDS

Cantidad del agua	Control de la cantidad de escorrentía para reducir el riesgo de inundación y mantener y proteger el ciclo natural del agua. Limitar los volúmenes y caudales pico.
Calidad del agua	Manejar la calidad del agua urbana para prevenir y/o reducir la contaminación del medio receptor.
Biodiversidad	Crear y generar mejores espacios verdes que ayuden a promover y proteger la naturaleza.
Social	Obtener otros valores añadidos para el confort urbano y la amenidad paisajística. Crear y generar espacios más agradables y habitables para el ciudadano.

Fuente: adaptado de Woods Ballard et al. (2015); Pérez Hurtado (2020); Fegan & Schwerdtfeger (2022).

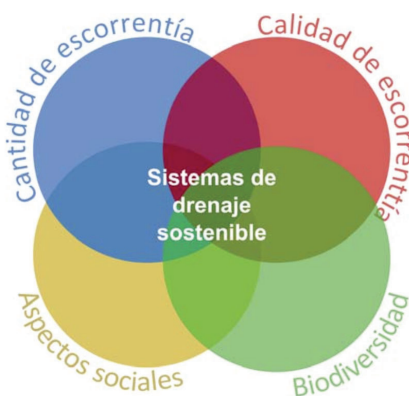


Imagen N° 6. Pilares de los SUDS. Fuente: Perales Momparler (2019).

Es necesario destacar que los criterios no son independientes el uno del otro, ya que múltiples sistemas incorporan más de un pilar en simultáneo.

3.3. Clasificación de SUDS

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible incluyen un conjunto de tecnologías y medidas estructurales que se pueden agrupar de acuerdo a distintos criterios. Por su utilidad se destaca la clasificación según su función (tabla 2), las cuales fueron desarrolladas en el apartado 3.2.2 y se distinguen por su naturaleza mecánica o biológica. Los sistemas de detención se basan en mecanismos físicos, mientras que los sistemas de tratamiento utilizan procesos biológicos. A medida que se avanza en las cinco funciones, se observa un cambio gradual en la proporción de características mecánicas y biológicas. La retención se inclina más hacia lo mecánico, mientras que la infiltración se enfoca más en los procesos biológicos. Esta transición gradual refleja una progresión desde un sistema mecánico hacia un enfoque centrado en los procesos biológicos para llevar a cabo las distintas funciones.

Tabla N° 2. Clasificación de SUDS de acuerdo a su función

Sistema	Función				
	Detención	Retención	Filtración	Infiltración	Tratamiento
Alcorques de infiltración	Secundaria			Principal	
Zanjas de infiltración			Secundaria	Principal	
Depósitos de infiltración	Secundaria			Principal	
Pozos de infiltración		Secundaria		Principal	
Pavimentos permeables	Secundaria		Principal		
Drenes filtrantes	Secundaria		Principal		
Sistemas de biorretención				Secundaria	Principal
Cunetas verdes				Secundaria	Principal
Humedales artificiales y estanques	Secundaria				Principal
Techos verdes	Secundaria	Principal			
Aljibes / Depósitos	Secundaria	Principal			
Franjas filtrantes		Principal			Secundaria
Balsa de detención	Principal			Secundaria	

Fuente: adaptado de Fegan & Schwerdtfeger (2022) y Perales Momparler (2019).

Se presenta también en la imagen 7 una clasificación según la localización de los SUDS, es decir si se ubican en una fase de captación, transporte o almacenamiento. La clasificación de los SUDS según su ubicación permite comprender mejor cómo se integran en el sistema de drenaje urbano y cómo contribuyen a la sostenibilidad hídrica. Al comprender su ubicación dentro del ciclo hidrológico, se puede diseñar e implementar soluciones adecuadas para mejorar la resiliencia y sostenibilidad del sistema de drenaje en entornos urbanos.

En primer lugar, los SUDS de captación se diseñan para interceptar y recolectar el agua de lluvia en el punto de origen, evitando que se convierta en escorrentía superficial. Su objetivo

principal es reducir el volumen de agua que ingresa al sistema de drenaje convencional y minimizar los problemas de inundaciones. En segundo lugar, los SUDS de transporte se enfocan en gestionar el flujo de agua desde los puntos de captación hacia las zonas de almacenamiento o descarga. Su propósito es garantizar el transporte eficiente y controlado del agua de lluvia, minimizando el riesgo de inundaciones y evitando la sobrecarga de los sistemas de alcantarillado. Por último, los SUDS de almacenamiento se centran en retener temporalmente el agua de lluvia para su posterior liberación controlada o reutilización. Su objetivo es regular el flujo de agua de lluvia, liberándola gradualmente para evitar inundaciones y facilitando su aprovechamiento en usos no potables, como riego o recarga de acuíferos.

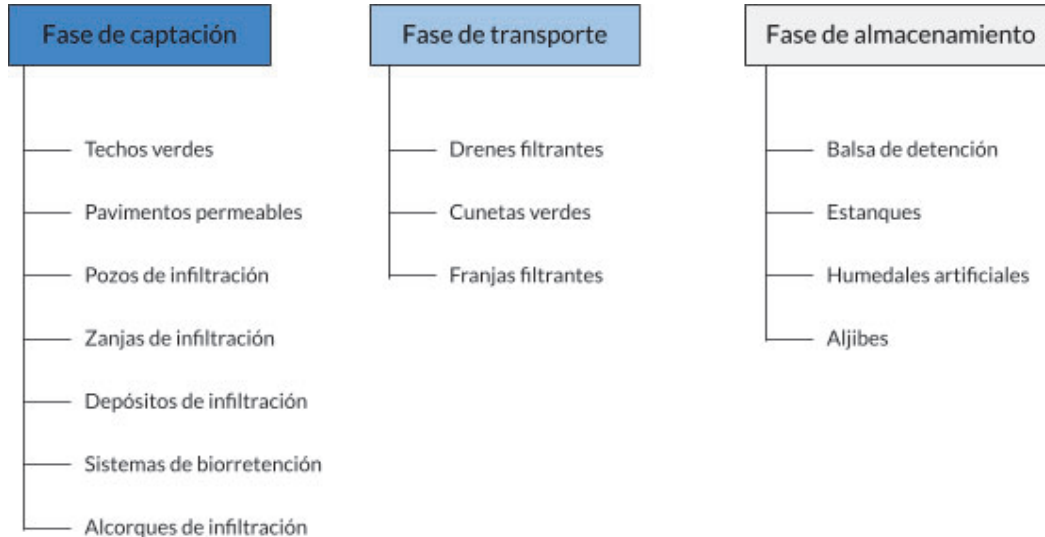


Imagen N° 7. Clasificación de SUDS según su localización. Fuente: adaptado de Fegan & Schwerdtfeger (2022).

Las distintas tipologías de SUDS se pueden analizar teniendo en consideración sus efectos: el posterior aprovechamiento de agua, la reducción del caudal pico, la reducción del volumen de la escorrentía, el costo de construcción, el costo de mantenimiento, los impactos positivos en el ambiente y el paisaje urbano, el control en la contaminación – mejora en la calidad del agua urbana – y el aislamiento del edificio en el caso que aplique. Esto se puede volcar en un gráfico de la siguiente forma.

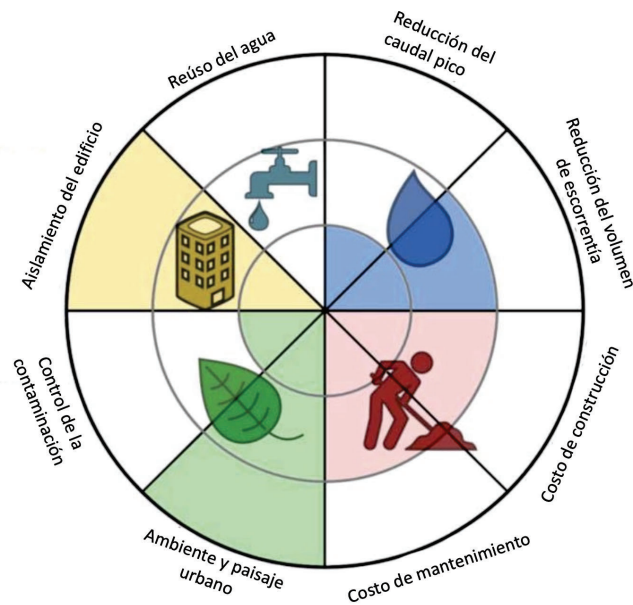


Imagen N° 8. Análisis del efecto para distintas tipologías de SUDS. Fuente: adaptado de Perales Momparler (2019).

De acuerdo a las necesidades del ambiente a aplicar el proyecto se seleccionarán los tipos de SUDS que se estimen más adecuados según su función principal y la fase en la cual se aplican.

3.4. Tipologías de SUDS

A continuación se realiza una sintética descripción de las tipologías más comunes de SUDS (Perales Momparler, 2019 y Woods Ballard et al., 2015).

1. Aljibes y depósitos de aprovechamiento

Los sistemas de aprovechamiento de agua consisten en almacenar el agua de lluvia de techados y superficies impermeables para utilizar dentro y alrededor de las viviendas. El agua almacenada se utiliza con fines no potables, como lavado o riego. Existen sistemas de aprovechamiento por gravedad, como mediante bombas o compuestos.

Los aljibes son el tipo más simple y común de infraestructura para el aprovechamiento de agua de lluvia. Son pequeños sistemas diseñados para capturar y almacenar el agua de lluvia que corre por los techados y entra en el depósito tras bajar por los canalones (imagen 9). Su principal impacto es el reúso de agua (imagen 10).

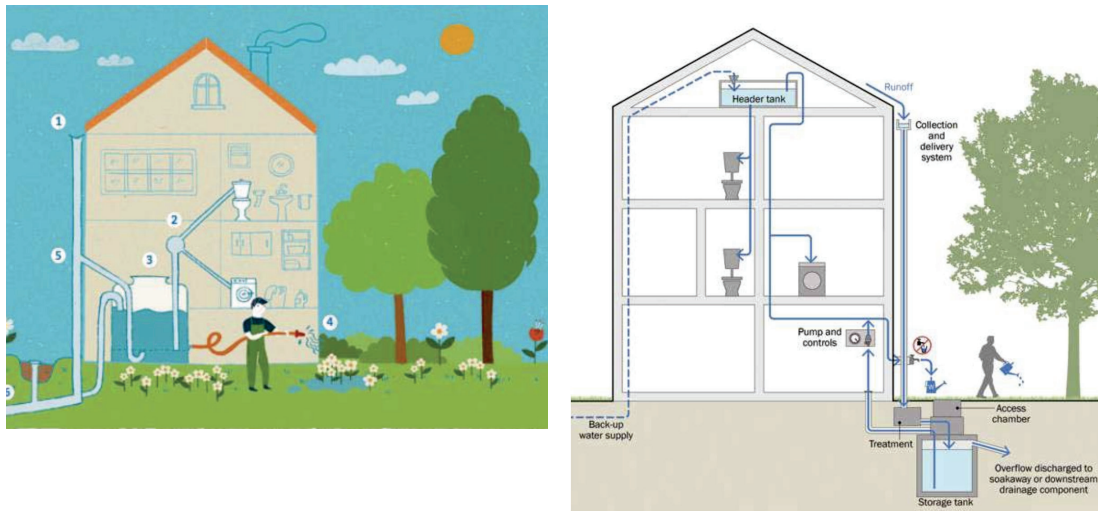


Imagen N° 9. Ejemplo de aljibe y tanque de aprovechamiento de agua

Fuente: Ballester-Olmos y Anguís et al. (2015).

Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

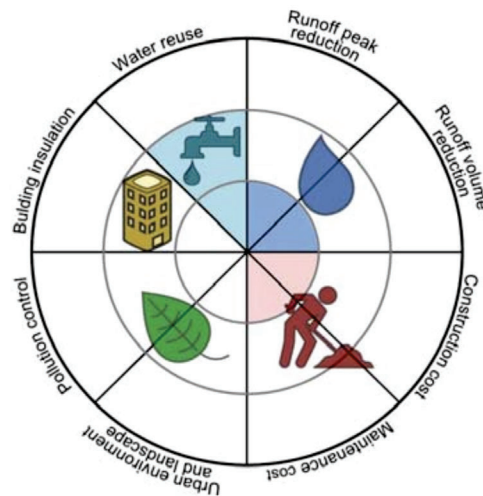


Imagen N° 10. Efecto de tanque de aprovechamiento. Fuente: Perales Momparler (2019).

2. Alcorques de infiltración

Están compuestos por un árbol con suelo estructural alrededor de este, aportando mayor espacio para las raíces y pudiendo ser transitado (imagen 11). Su objetivo principal es la captación mediante el almacenamiento temporal de escorrentía. Estos sistemas proveen distintos beneficios para la gestión del agua pluvial: promueven la evapotranspiración, captación del agua y aumento de la infiltración en el suelo, y fitorremediación. Requiere de una distancia mínima de 1 metro al nivel freático, en caso de no ser posible o en suelos impermeables el sistema incluye una cañería de drenaje.

Los árboles pueden ser incorporados a una amplia variedad de otros componentes de SUDS para mejorar su rendimiento.

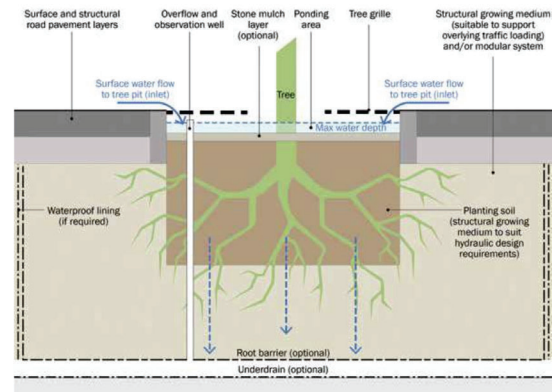


Imagen N° 11. Ejemplo de alcorque de infiltración

Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022)

Fuente: Woods Ballard et al. (2015)

3. Techos verdes

Los techos verdes o cubiertas vegetadas son una azotea con plantas que filtra, absorbe y retiene o detiene la lluvia que cae sobre ella. Incluye una capa de tierra con vegetación sobre una membrana impermeabilizante y puede incluir otras capas como una barrera de raíces, sistema de drenaje y riego (imagen 12). Generalmente no se recomienda su instalación en techados con una inclinación mayor al 25% y se deben realizar los cálculos estructurales pertinentes según la tipología edilicia para asegurar la correcta implementación del sistema. Este tipo de sistemas ayudan a retener y absorber el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía superficial y el volumen de agua que ingresa al sistema de drenaje. Sus principales efectos son a nivel edilicio y en el ambiente y paisaje urbano (imagen 13).

Los techos verdes se suelen clasificar en extensivos e intensivos (imagen 14). Los primeros son un tapiz vegetal con un sustrato de bajo espesor (entre 3 y 20 cm), no transitables y no aportan cargas elevadas al edificio. La vegetación es sencilla y requiere poco mantenimiento. La Universidad Nacional de San Martín cuenta con un techo verde de este tipo en sus instalaciones. Por otro lado, las cubiertas vegetadas intensivas, también conocidas como jardines de techo, cuentan con un sustrato de espesor superior a los 20 cm y se diseñan para albergar espacios verdes dentro de la ciudad. Así, suelen ser transitables y presentan vegetación variada.



Imagen N° 12. Ejemplo de funcionamiento de techo verde. Fuente: Perales Momparler (2019).

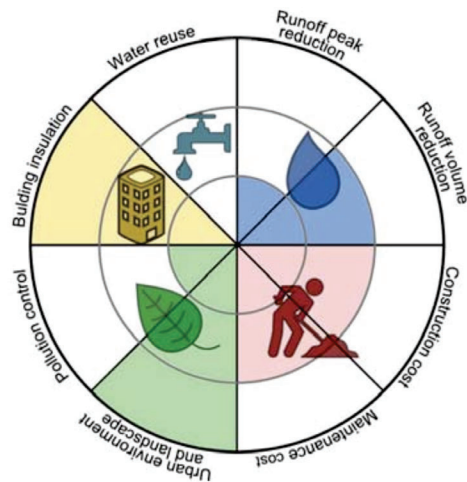


Imagen N° 13. Efectos de techo verde Fuente: Woods Ballard et al. (2015)



Imagen N° 14. Ejemplo de techo verde extensivo (izq.) e intensivo accesible (der.) Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

4. Pozos de infiltración

Un pozo de infiltración es una estructura subterránea de almacenamiento temporal del agua cuya única salida es la infiltración al terreno (imagen 15). Puede estar revestido o formado por un material permeable, y suelen construirse con unidades geocelulares impermeabilizadas por geotextil. Otros suelen construirse con anillos de hormigón prefabricados. Estos sistemas suelen tener una profundidad de entre 1 y 3 metros. Se puede incluir un caño perforado para distribuir el agua a través del pozo, así como un caño vertical de inspección. Existen pozos de infiltración lineales, los cuales pueden mantenerse más superficiales y generar una distribución homogénea en el área de infiltración. El principal efecto de los pozos de infiltración es la reducción del caudal pico y del volumen de la escorrentía (imagen 17).

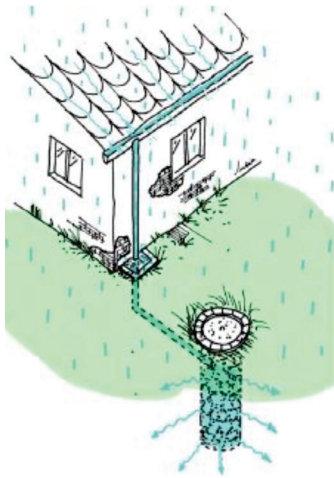
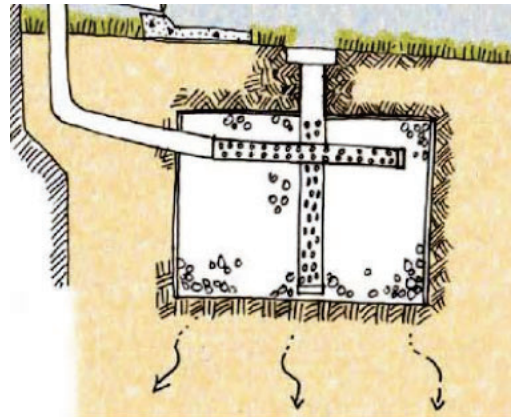


Imagen N° 15. Ejemplo de pozo de infiltración

Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).



Fuente: Perales Momparler (2019).

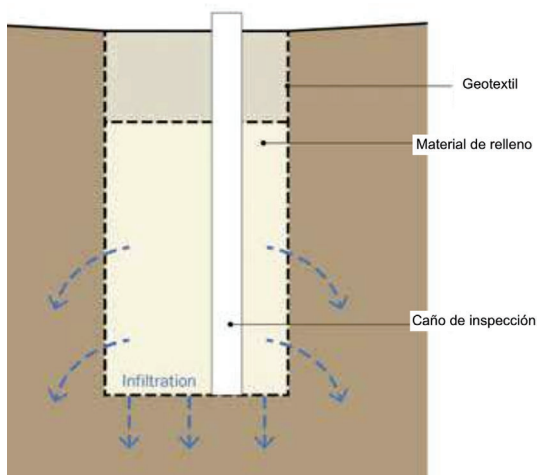


Imagen N° 16. Ejemplo de funcionamiento de pozo de infiltración. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

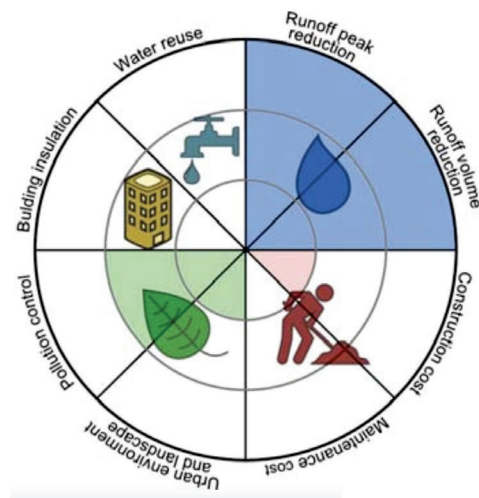


Imagen N° 17. Efectos de pozo de infiltración. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

5. Balsas de infiltración

Las balsas de infiltración son depresiones del terreno poco profundas con un fondo plano, que se utilizan para recoger el agua de lluvia, generando una sedimentación de las partículas en suspensión (imagen 18 y 19). El agua urbana se deposita en estas lagunas temporales y posteriormente se infiltra. La eliminación de contaminantes se da tanto por sedimentación como procesos fisicoquímicos y biológicos de filtración, absorción y adsorción. Requiere de un moderado costo de construcción y genera una reducción del caudal pico y control de la contaminación.

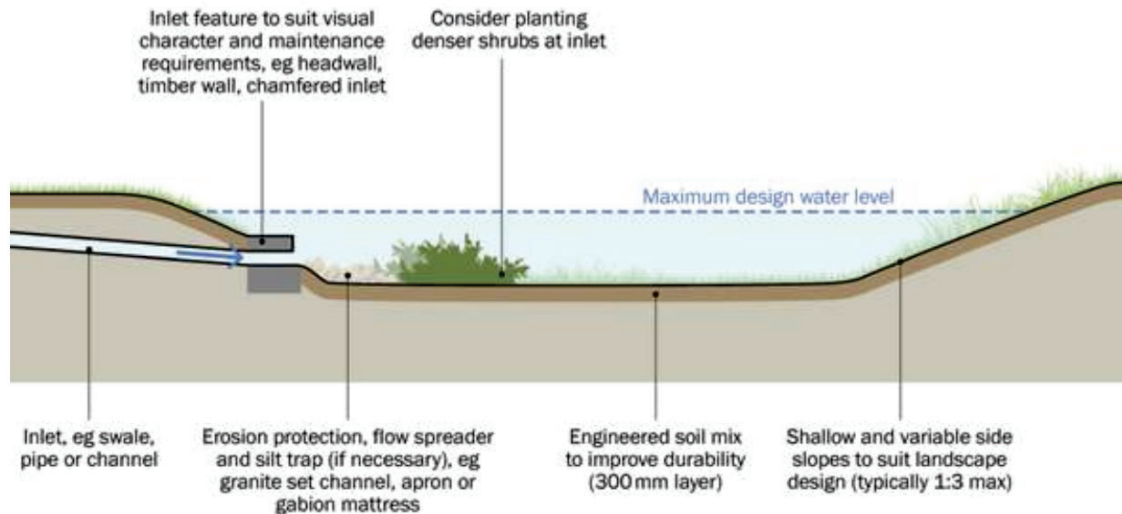


Imagen N° 18. Ejemplo de funcionamiento de balsa de infiltración. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



Imagen N° 19. Ejemplo de balsa de infiltración.
Fuente: Perales Momparler (2019).

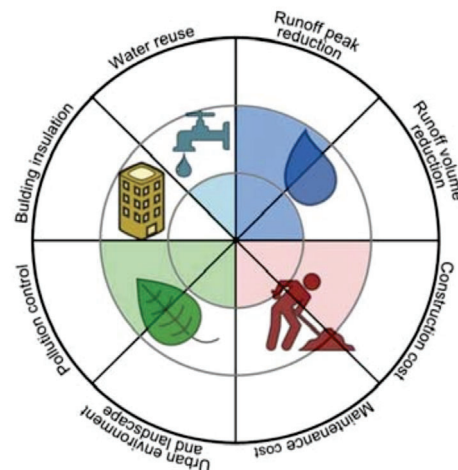


Imagen N° 20. Efectos de balsa de infiltración.
Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

6. Depósitos de infiltración

Similar a los casos anteriores, el objetivo principal es la captación e infiltración al terreno. Son sistemas grandes y poco profundos que se encuentran típicamente contruidos utilizando unidades geocelulares con estructuras modulares de plástico con una gran proporción de huecos que se aprovecha para crear una estructura de infiltración al subsuelo, pudiendo soportar carga de tráfico. Se suelen utilizar debajo de estacionamientos o patios de juegos (imagen 21). Debe haber una distancia mínima de 1 metro entre la base del sistema y el nivel freático. Su función principal es la reducción del caudal pico y cuentan con altos costos de construcción (imagen 22).



Imagen N° 21. Ejemplo de depósito de infiltración
Fuente: Perales Momparler (2019).

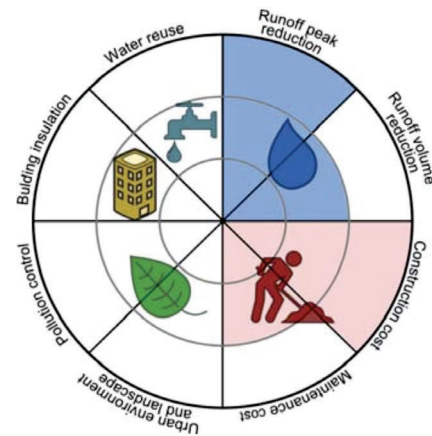


Imagen N° 22. Efectos de depósitos de infiltración. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

7. Zanja de infiltración

Se trata de una zanja poco profunda en suelo permeable, que se rellena de material drenante y se reviste de geotextil. Captan el agua de la escorrentía de calle y la almacenan en los intersticios y la liberan al suelo por infiltración, recargando la napa freática (imagen 25). Está cubierto de vegetación, generalmente césped, para frenar el agua, lo cual facilita la sedimentación y la filtración a través de las raíces y el suelo (imagen 23 y 24). El rango de porcentajes de huecos que se utiliza suele encontrarse entre el 30 y el 40% de material granular y 90-95% de material geocelular. La base del sistema suele ser horizontal para asegurar la distribución uniforme de la escorrentía, en el caso de pendientes elevadas se diseñan pequeños sistemas y se incluyen terrazas. Se suelen utilizar para drenar autopistas, senderos y estacionamientos o donde resulta conveniente transportar el escurrimiento en la superficie.

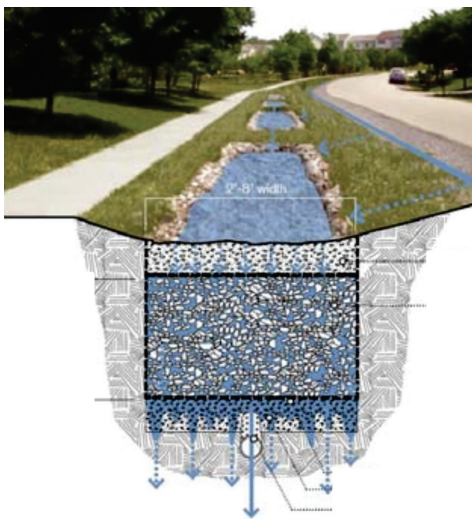


Imagen N° 23. Ejemplo de zanja de infiltración
Fuente: Perales Momparler (2019).

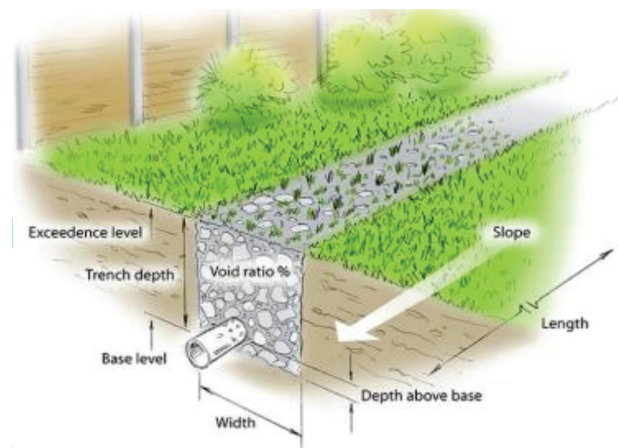


Imagen N° 24. Ejemplo de zanja de infiltración. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

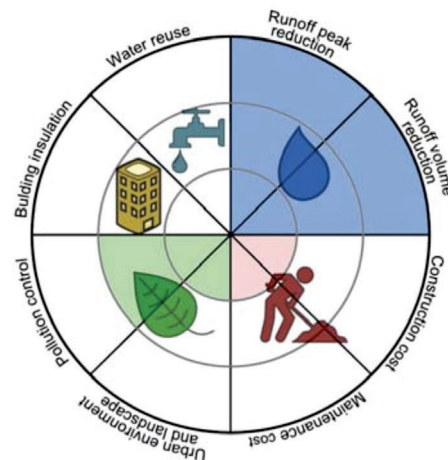


Imagen N° 25. Efectos de depósitos de infiltración. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

8. Cunetas verdes

Las cunetas verdes o vegetadas son otro tipo de zanjas o canales anchos, poco profundos, revestidos con vegetación y diseñados para canalizar y filtrar o infiltrar el agua pluvial (imagen 26 y 27). Mejoran la calidad del agua mediante tratamientos biológicos y el filtrado con vegetación, así como reducen la velocidad de la escorrentía y el volumen de la misma mediante la infiltración y generan un servicio para el ambiente y el paisaje urbano (imagen 28). Su objetivo principal es el transporte del agua urbana. El área impermeable máxima a recibir es generalmente menor a 2 ha. Se utilizan en zonas con presencia de vehículos y se suelen colocar bordes para prevenir que los automóviles estacionen sobre los laterales.

La forma es trapezoidal al ser fácil de construir y mantener. Los parámetros constructivos para este tipo de sistemas son los siguientes: la base de la cuneta suele estar entre los 0.5 a 2 m, la pendiente debe encontrarse entre 0.5 y 3% y se recomiendan pendientes máximas de los taludes laterales de 4H:1V ya que pendientes elevadas pueden generar que el caudal de entrada erosione la cuneta.



Imagen N° 26. Ejemplo de cuneta verde
Fuente: Perales Momparler (2019).



Imagen N° 27. Fotografía de cuneta verde
Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

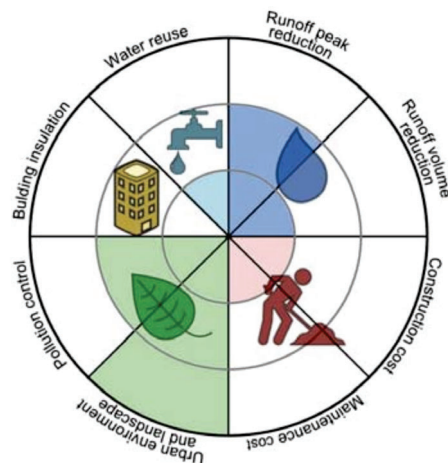


Imagen N° 28. Efectos de cuneta verde. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

9. Franjas filtrantes

Se trata de franjas de suelo vegetadas diseñadas para tratar la escorrentía de superficies impermeables adyacentes o zonas intensamente ajardinadas (imagen 29). Su objetivo principal es la captación. Se encuentran diseñadas de forma que la lámina de agua fluya a través de la franja filtrante a velocidades lo suficientemente bajas para permitir que los procesos de sedimentación y filtración se lleven a cabo de forma efectiva (imagen 30). A velocidades bajas a moderadas, las franjas filtrantes reducen los niveles de contaminantes al eliminar sedimentos, materia orgánica y metales pesados.



Imagen N° 30. Fotografía de franja filtrante.
Fuente: Perales Momparler (2019).

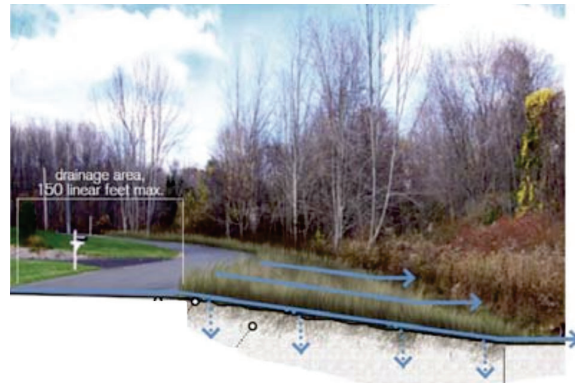


Imagen N° 29. Ejemplo de franja filtrante.
Fuente: Perales Momparler (2019).

Tal como se observa en la figura, la pendiente longitudinal mínima es del orden del 2%, para prevenir la erosión, y máxima del 5%. La pendiente del área drenante debe ser menor al 15% para evitar la erosión al ingresar el agua pluvial a la franja.

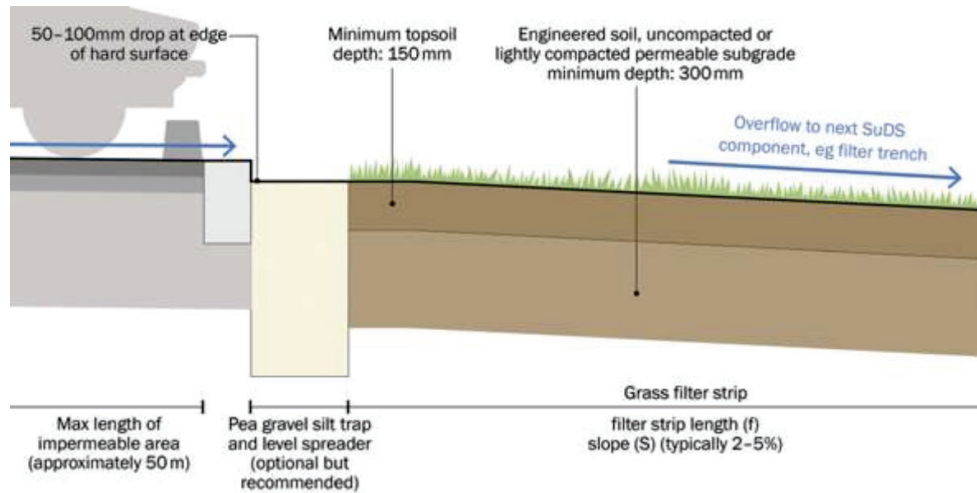


Imagen N° 31. Ejemplo de estructura de franja filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

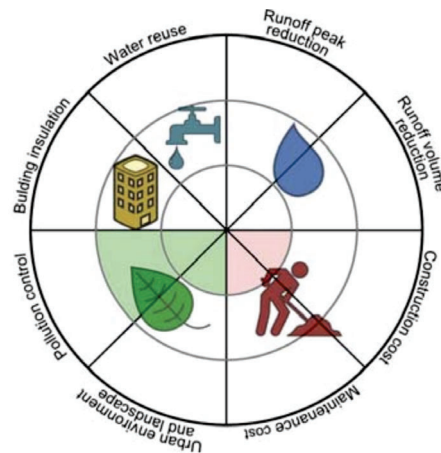


Imagen N° 32. Efectos de franja filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

10. Drenes filtrantes

Son zanjas rellenas de grava que captan y filtran el agua pluvial y los contaminantes asociados. Su objetivo principal es el transporte, por lo que suelen contar con un conducto perforado en la parte inferior para conducir el agua (imagen 33 y 34). El material filtrante puede estar contenido en una zanja revestida con un geotextil, geomembrana u otro revestimiento, o dentro de una instalación estructural de hormigón como un canal. Pueden ayudar a reducir los niveles de contaminantes presentes en el agua pluvial al filtrar sedimentos finos, metales o hidrocarburos. Cuentan con un caño perforado en el fondo para poder transferir las aguas excedentes en los casos de desbordamiento del sistema.

Se utilizan principalmente en áreas adyacentes a superficies impermeables como autopistas o áreas de estacionamiento. Algunas fotografías ilustrativas pueden observarse en las imágenes 36 y 37. Idealmente se coloca una superficie que capte los sedimentos aguas arriba para evitar obstrucciones del sistema. En el caso de que no cuente con una eliminación de partículas y sedimentos, se utiliza una capa superior de grava así como una capa de geotextil debajo de la superficie del drenaje filtrante para poder limpiar o reemplazar regularmente. La profundidad va de 1 a 2.5 m con una capa de grava de 0.5 m mínimo.

Los efectos de los drenes filtrantes pueden observarse en la imagen 35.

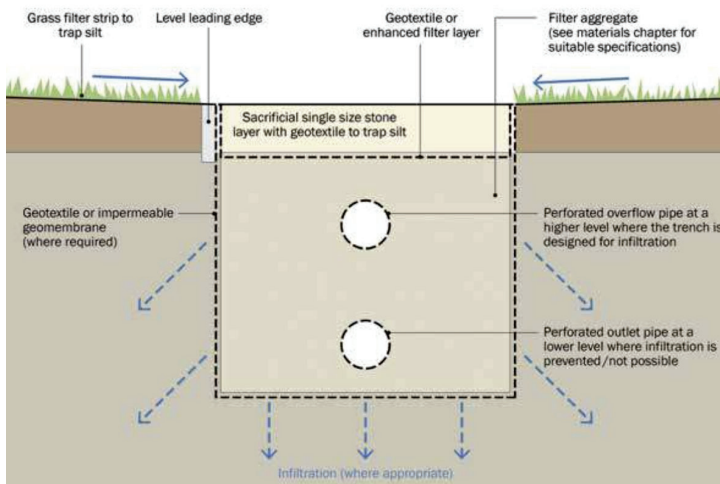


Imagen N° 33. Ejemplo de estructura de dren filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

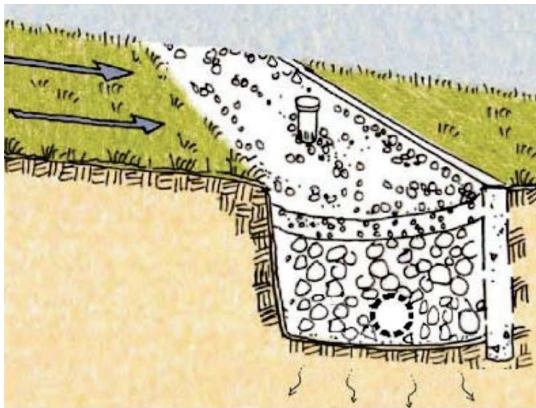


Imagen N° 34. Ejemplo de dren filtrante. Fuente: Perales Momparker (2019).

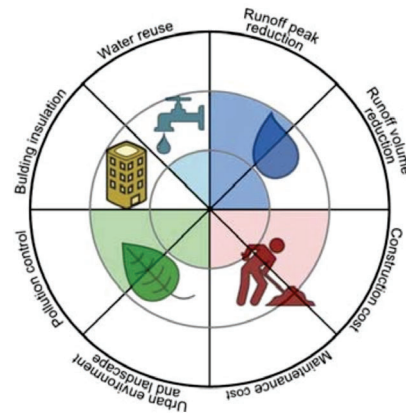


Imagen N° 35. Efectos de franja filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



Imagen N° 36. Fotografía de dren filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



Imagen N° 37. Fotografía de dren filtrante. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

11. Sistemas de biorretención

Los sistemas de retención de agua, o parterres inundables, son depresiones poco profundas cubiertas de vegetación que permiten captar, filtrar y eliminar los contaminantes del agua urbana, reduciendo el volumen de la escorrentía y mejorando la calidad del agua (imagen 38).

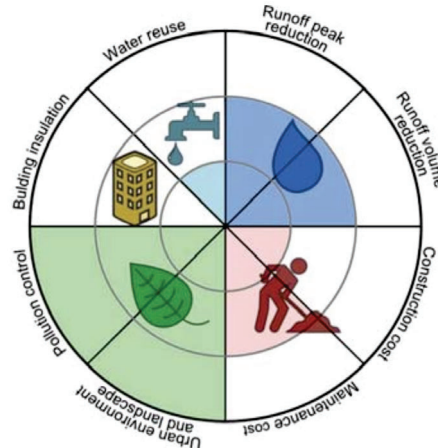


Imagen N° 38. Efectos de franja filtrante. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

La escorrentía recolectada por el sistema se estanca temporalmente en la superficie y luego se filtra a través de la vegetación y los suelos subyacentes (imagen 39 y 40). Se pueden utilizar mezclas de suelo especificadas como medios de filtración para mejorar el rendimiento del tratamiento en los sistemas de retención de agua, y se pueden implementar diseños que incluyan zonas anaeróbicas sumergidas para promover la remoción de nutrientes. El escurrimiento filtrado se recoge utilizando un sistema de drenaje inferior o, si las condiciones del sitio lo permiten, se infiltra total o parcialmente en el suelo circundante. Parte del volumen de escurrimiento se eliminará mediante evaporación y transpiración de las plantas. El principal beneficio hidráulico de utilizar sistemas de retención de agua es la captación.

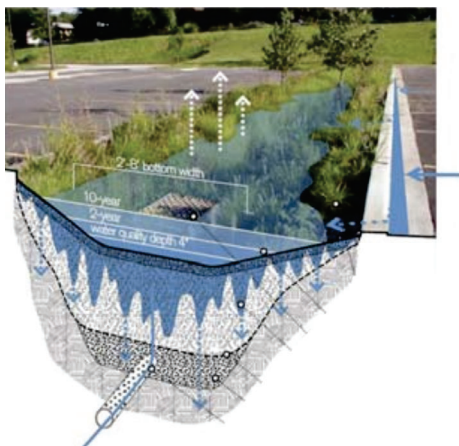


Imagen N° 39. Ejemplo de sistema de biorretención. Fuente: Perales Momparler (2019).



Imagen N° 40. Fotografía de un sistema de biorretención. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

Se utilizan plantas autóctonas y una vegetación densa (6 - 10 plantas/m²) para potenciar la filtración y permeabilidad. La base del área debe ser lo más plana posible para favorecer la

infiltración, máxima pendiente longitudinal del 4%, y cuenta con una relación ancho/largo de 2:1. Las áreas de biorretención se utilizan cuando en la cuenca de aporte existe presencia de vehículos, por lo que el nivel de tratamiento necesario para infiltrar la escorrentía o verterla al medio natural es elevado. Se cuenta con una capa de medio filtrante menor a 1 m de espesor y cuenta con un volumen de huecos reducido e infiltración limitada (100 - 300 mm/h). La estructura típica se presenta en la siguiente imagen.

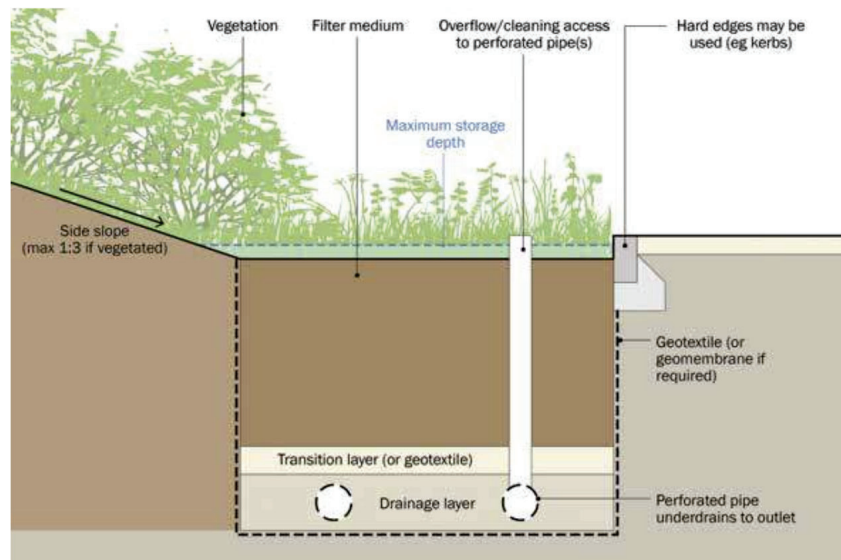


Imagen N° 41. Ejemplo de estructura de un sistema de biorretención. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

12. Humedales artificiales y estanques

Tanto los humedales como los estanques son cuerpos de agua permanente, poco profundos, cuyo principal objetivo es tanto el almacenamiento como el tratamiento de la escorrentía superficial. La presencia de vegetación acuática facilita el tratamiento de contaminantes, a través de descomposición aeróbica de los contaminantes y también ayudan a estabilizar los sedimentos depositados y prevenir su resuspensión. Un sistema de control de flujo en la salida controla las tasas de descarga para una variedad de niveles de agua, lo que hace que el volumen del estanque se llene durante los eventos de tormenta. Deben estar diseñados con sistemas de pretratamiento adecuados aguas arriba para reducir el riesgo de acumulación excesiva de material grueso. La función valiosa que desempeñan este tipo de sistemas es la sedimentación de limos finos y de otras partículas previo a la descarga del agua, aportando un servicio al ambiente y paisaje urbano (imagen 42).

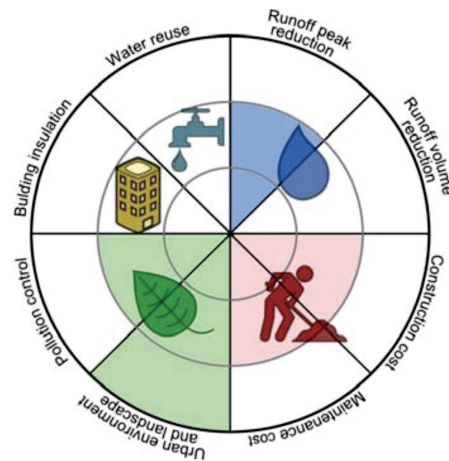


Imagen N° 42. Efectos de un estanque y humedal. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

Los estanques y humedales se pueden crear utilizando una depresión natural existente, excavando una nueva depresión o construyendo terraplenes. Estos sistemas están conformados por distintas áreas: una zona opcional de retención de sedimentos, un cuerpo de agua permanente, el volumen de almacenamiento temporal por encima de la piscina permanente y una plataforma acuática que permite el crecimiento de las plantas.

Los humedales son sistemas pantanosos poco profundos que cuentan con una mayor proporción de la superficie cubierta por plantas acuáticas que las lagunas (imagen 43). Se encuentran diseñados para mejorar la calidad de las aguas de lluvia y para laminar el caudal de escorrentía. A medida que la escorrentía fluye por el humedal, los contaminantes sedimentan y son absorbidos por la vegetación presente en el cuerpo de agua. Los humedales son altamente eficientes para el filtrado de contaminantes en adición a presentar un valor paisajístico y de biodiversidad.

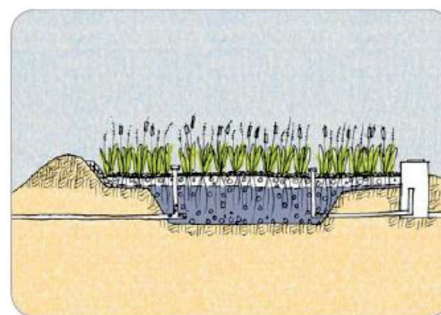
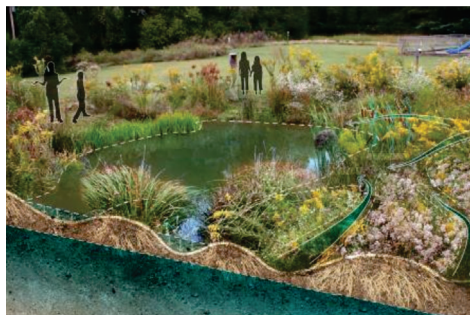


Imagen N° 43. Ejemplo de un humedal. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

Los estanques son lagunas artificiales cuyo objetivo principal es el almacenamiento. Cuentan con una lámina permanente de agua y el principal mecanismo de eliminación de contaminantes es la sedimentación mientras la escorrentía está almacenada en el estanque. Se presentan a continuación imágenes representativas.

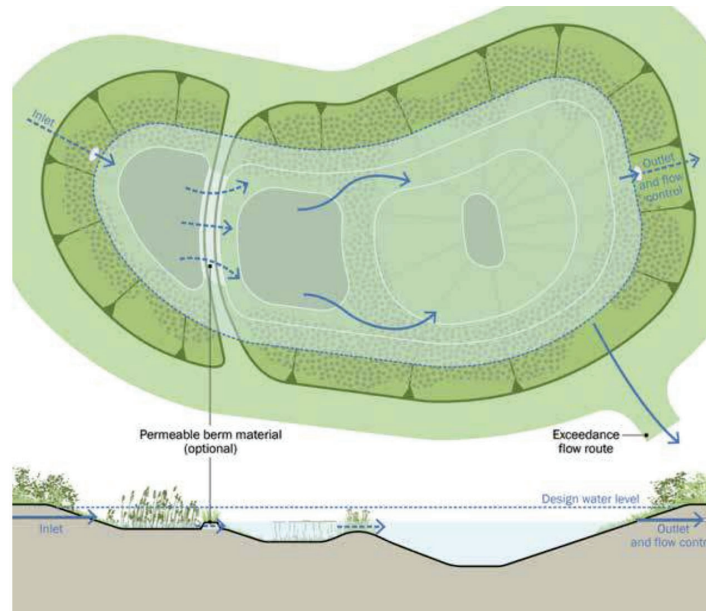


Imagen N° 44. Vista en planta y corte de un estanque. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

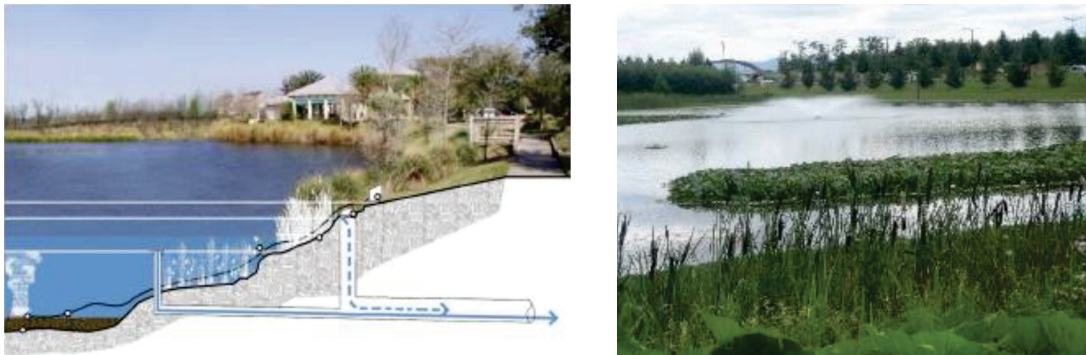


Imagen N° 45. Ejemplo de estanque. Fuente: Fegan & Schwerdtfeger (2022).

13. Balsas de detención

Las balsas o zonas de detención son instalaciones diseñadas para almacenar temporalmente la escorrentía, reduciendo el caudal y proporcionando protección frente a inundaciones (imagen 46). Drenan totalmente luego de una tormenta y se encuentran secos entre eventos de lluvia, por lo que tienen normalmente otro uso alternativo, sea recreativo o de paisajismo (imagen 47 y 48). Suelen ser depresiones vegetadas, por lo que la superficie del suelo absorbe parte del escurrimiento. Existen fenómenos de sedimentación en las mismas por lo que reducen la presencia de partículas sedimentables y contaminantes. Los beneficios en cuanto a calidad del agua de una cuenca de retención vegetada aumentan a medida que aumenta el tiempo de retención.

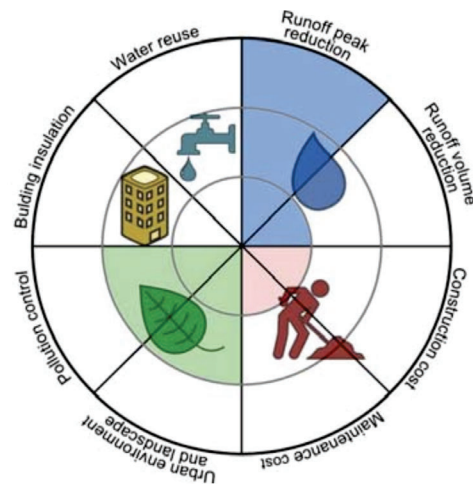


Imagen N° 46. Efectos de una balsa de detención. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



Imagen N° 47. Ejemplo de balsa de detención - en período de lluvia. Fuente: Perales Momparler (2019).



Imagen N° 48. Ejemplo de balsa de detención seca - entre períodos de lluvia. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

Se utilizan para áreas impermeables mayores a 8 hectáreas y se encuentran diseñadas para que el espesor de la lámina de agua superficial no exceda los 2 metros. Las pendientes máximas laterales son 3H:1V y la base cuenta con una pequeña inclinación al punto de desagüe, menor al 1%. La relación entre longitud y ancho se aconseja entre 3:1 y 5:1. La balsa se puede encontrar dividida en dos módulos: el primero destinado principalmente a la acumulación de sedimentos, siendo el 10% de la superficie, y el segundo para la detención. Para lograr la máxima eficacia en la eliminación de contaminantes en cuencas vegetadas, los flujos deben distribuirse a lo ancho de toda la cuenca. La estructura y vista típica se presenta en la siguiente imagen.

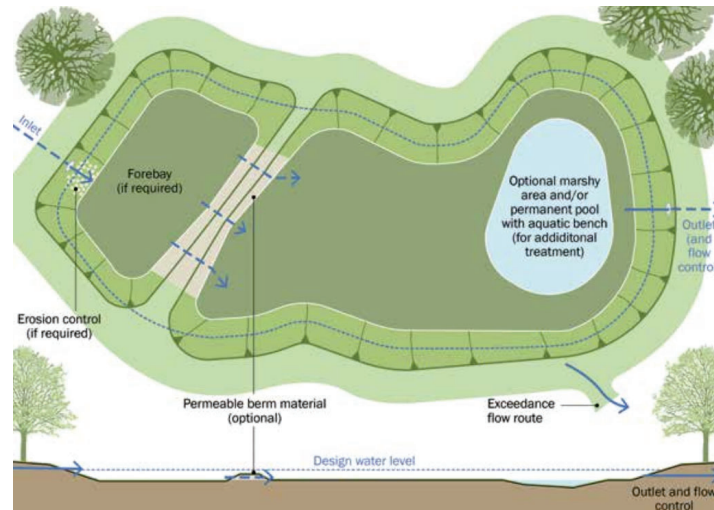


Imagen N° 44. Vista en planta y corte de un estanque. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

14. Tanques de atenuación

Los tanques de almacenamiento de atenuación se utilizan para crear un espacio vacío subterráneo para el almacenamiento temporal del agua superficial antes de la infiltración, liberación o uso. Las estructuras que se suelen utilizar son sistemas de almacenamiento geocelular (imagen 45 y 46), tuberías de concreto o plástico de gran tamaño (imagen 47), tanques de plástico reforzado, estructuras arqueadas de plástico, secciones y tanques de alcantarilla de hormigón prefabricado, entre otros.

Su principal función es el almacenamiento, ya que posee un alto volumen. A su vez, se puede utilizar debajo de autopistas y estacionamientos, puertos, aeropuertos, áreas recreativas y otros espacios abiertos. Muchos de los productos utilizados para formar tanques de atenuación también se pueden utilizar para proporcionar el almacenamiento temporal requerido para sistemas de infiltración.

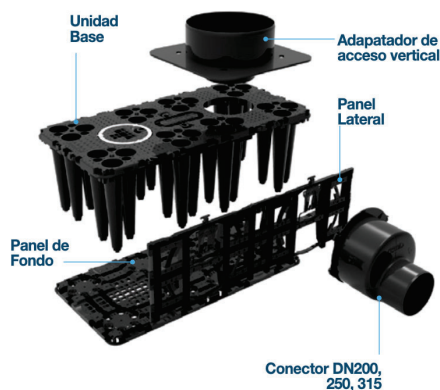


Imagen N° 45. Ejemplo estructura de almacenamiento geocelular. Fuente: Catálogo Aquacell NG.



Imagen N° 46. Ejemplo de colocación de estructura geocelular. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



Imagen N° 47. Ejemplo de tubería de plástico. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

15. Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables proporcionan un suelo adecuado para peatones y vehículos a la vez que permite una rápida infiltración del agua hacia una capa inferior de material poroso (imagen 48). Esta capa proporciona un almacenamiento temporal al filtrarse la escorrentía hacia suelos permeables del sustrato. Su objetivo principal es la captación del agua de lluvia para reducir la escorrentía superficial y promover la recarga de los acuíferos. Sin embargo ocurren otros procesos dentro de la superficie y las capas de geotextil, que incluyen la filtración, adsorción, biodegradación y sedimentación (imagen 50).

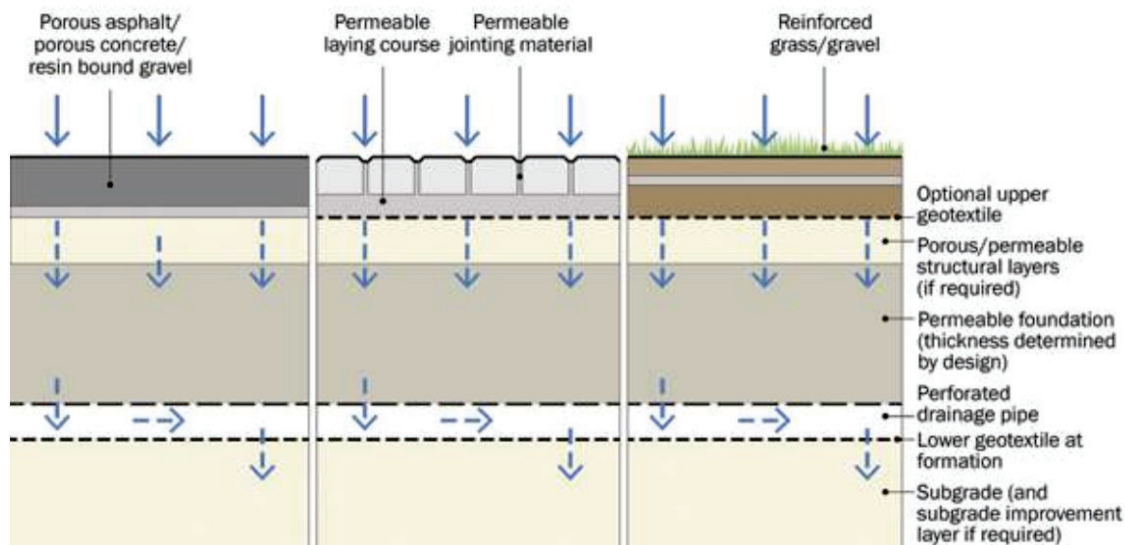


Imagen N° 48. Ejemplo de estructura de pavimento permeable. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

Existen dos tipos de pavimentos permeables: los porosos, en los cuales infiltra agua en toda su superficie, o los permeables, en los cuales cuentan con un material impermeable y la escorrentía es permeable a través de las juntas. En pendientes superiores al 5-10% se suelen incluir terrazas en la base para aumentar el volumen de almacenamiento temporal. Si gestionan escorrentías de áreas impermeables adyacentes, siguen la relación 2:1, impermeable/permeable. Típicamente se utilizan en los estacionamientos y en las calles entre los mismos (imagen 49). Algunos sistemas cuentan con infiltración total, mientras otros parcial o nula.

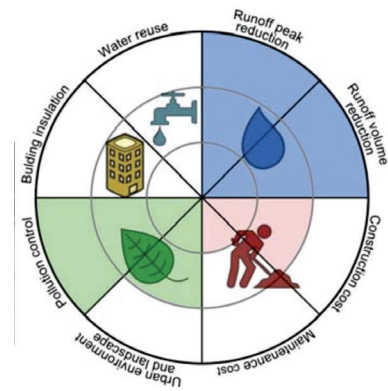


Imagen N° 49. Ejemplo de pavimento permeable. Fuente: Perales Momparler (2019).

Imagen N° 50. Efectos de una balsa de detención. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

16. Otros productos industriales

En adición a los sistemas nombrados anteriormente, existen soluciones basadas en otros productos industriales para remover contaminantes específicos de la escorrentía. Generalmente se trata de estructuras subsuperficiales que pueden ser útiles para reducir el mantenimiento de SUDS colocados aguas abajo o evitar el riesgo de perturbación de esas áreas durante las operaciones de limpieza para remover sedimentos (imagen 51). Históricamente, solo se los ha considerado como dispositivos de pretratamiento, pero pueden desempeñar una función valiosa en la eliminación de contaminantes de las escorrentías y, por lo tanto, pueden considerarse como parte integral del tren de gestión y cadena de tratamiento en algunas situaciones. Estos productos industriales pueden requerir un mantenimiento rutinario más frecuente que otros métodos para garantizar su funcionamiento, aunque estos se limitan a una ubicación única y está basado en la ingeniería, lo que puede presentar una ventaja para algunos operadores y reducir los gastos totales en mantenimiento.

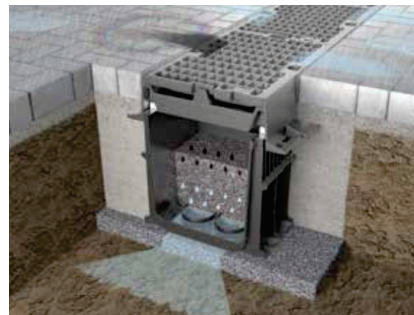
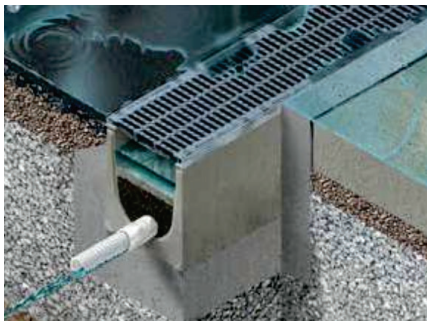


Imagen N° 51. Ejemplo de otros productos industriales utilizados. Fuente: Woods Ballard et al. (2015).



3.5. Modelación en SWMM

3.5.1. Introducción

Desde los años 70 se han aplicado modelos matemáticos para simular eventos de lluvia y el escurrimiento asociado a ellos para controlar inundaciones y optimizar los sistemas de drenaje. A través de estos modelos se pueden identificar áreas que se encuentren en riesgo de sufrir inundaciones, además de incorporar diferentes escenarios para analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones (Castrillón Ocampo, 2014).

Existen variados softwares de modelación de este tipo, la mayoría disponible mediante el pago de una licencia. Dentro de los mismos se destacan el EPA - SWMM (gratuito), MIKE - URBAN, PCSWMM - versión comercial del EPA SWMM - y MOUSE (con licencia comercial).

El Storm Water Management Model (SWMM) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en 1971 es uno de los programas de modelación más utilizados a nivel mundial. Se trata de una herramienta esencial en la gestión de aguas pluviales y el diseño de infraestructuras hidráulicas urbanas. SWMM combina aspectos hidrológicos e hidráulicos para simular el flujo de agua en sistemas de drenaje urbano, en términos de cantidad y calidad del agua. El software a utilizar permite modelar no solo la hidrología sino la hidrodinámica de los sistemas, evaluando así las distintas situaciones y los efectos de inundaciones. A su vez, se incorporan distintas modalidades de SUDS para poder evaluar el impacto de este tipo de soluciones en el sistema.

3.5.2. Modelo conceptual

El programa SWMM conceptualiza el sistema de drenaje como flujos de materia entre distintos compartimentos (imagen 52). Los compartimentos del modelo conceptual son (Castrillón Ocampo, 2014):

- Atmosférico: desde el cual cae la precipitación y los contaminantes. Para representar los datos de lluvia se usa un *Rain Gage*, es decir un hietograma obtenido idealmente a partir de un pluviógrafo.
- Superficie del terreno: este compartimiento es representado mediante las subcuencas. Las mismas reciben la precipitación del compartimiento anterior y transportan el caudal hacia el siguiente compartimiento.
- El agua pluvial que recae sobre la superficie del terreno se transporta hacia el compartimiento de Agua Subterránea en forma de infiltración y transfiere este flujo al compartimiento de Transporte utilizando el objeto Acuíferos (no considerado en la presente modelación por no afectar al proyecto).
- El excedente hidráulico se transforma en escurrimiento superficial dentro del compartimiento de Transporte. La escorrentía se modela utilizando una red de elementos de transporte (canales, conductos, bombas, vertederos, nodos y sumideros) y unidades de almacenamiento/tratamiento que transportan el agua a los objetos *Outfall* (salida del sistema). El caudal de este compartimiento puede provenir del flujo de conductos combinados y de aguas residuales, en adición al escurrimiento superficial.

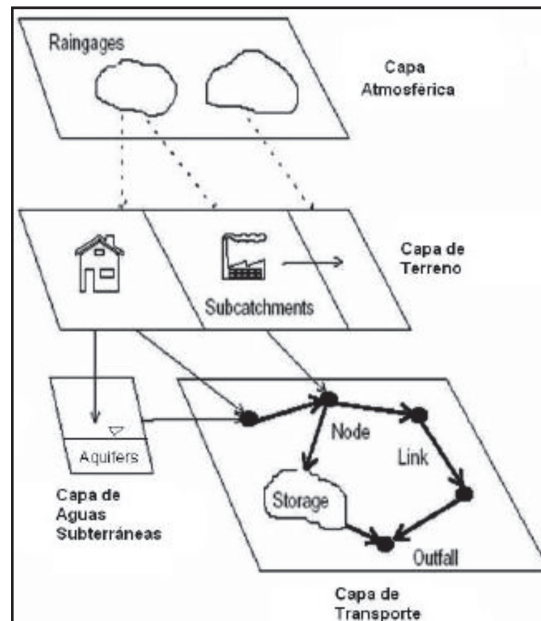


Imagen N° 52. Modelo conceptual del sistema de drenaje urbano. Fuente: Castrillón Ocampo (2014).

El módulo hidrológico de SWMM opera mediante un conjunto de subcuencas que captan la precipitación y generan escorrentía. Considera procesos como la infiltración en áreas permeables, la evaporación y el almacenamiento en depresiones. Por otro lado, el módulo hidráulico analiza el flujo del agua a través de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento, bombas y elementos reguladores. SWMM permite monitorear la evolución de la cantidad y calidad del agua de escorrentía en cada subcuenca, así como el caudal, nivel de agua en conductos y la calidad del agua en tuberías o canales durante la simulación, que abarca múltiples intervalos de tiempo.

3.5.3. Hidrología

Para el análisis hidrológico se define un número determinado de subcuencas, las cuales se encuentran conectadas a un nodo de la capa de transporte para realizar la simulación. Entre los procesos que se pueden llevar a cabo mediante el software se encuentra: (i) el cálculo de las pérdidas de precipitación analizando almacenamiento superficial, evapotranspiración e infiltración; (ii) cálculo de la escorrentía; y (iii) transporte de la onda (Pérez Hurtado, 2020).

Precipitación

SWMM utiliza diferentes métodos para representar la precipitación, desde datos históricos hasta series temporales generadas sintéticamente. Para la presente modelación se utilizó la distribución temporal, usualmente utilizada, de la ecuación de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Las curvas IDF representan la relación entre la intensidad de una lluvia en un determinado tiempo y su frecuencia estadística de ocurrencia. Estas se basan frecuentemente en diseños hidrológicos para determinar la lluvia a utilizar.

La ecuación generalmente se expresa como:

$$P(t) = P_0 * f(t) \quad (\text{Ecuación 1})$$



Donde:

- $P(t)$ es la precipitación en función del tiempo.
- P_0 es la intensidad máxima de la lluvia.
- $f(t)$ es la función de distribución temporal de la lluvia.

El período de retorno o tiempo de recurrencia refieren a la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento hidrológico extremo como una inundación. Se trata del intervalo de tiempo promedio entre eventos de la misma magnitud o mayor. Para el cálculo de la precipitación y curvas IDF se toma un tiempo de recurrencia específico.

El modelo primero realiza una abstracción mediante, en este caso, el método de Horton: de la precipitación parte se infiltra y parte se convierte en escorrentía mediante la transformación lluvia - caudal con el método de Manning (también llamado reservorio no lineal).

Infiltración

Cada subcuenca se encuentra dividida en un porcentaje de área permeable y otro impermeable, definido de acuerdo a las condiciones locales. El modelo hidrológico de infiltración en SWMM puede ser de tres tipos: Horton, Green Ampt y Curve Number. Se realiza una descripción somera de los mismos:

- Método de Horton: propuesto por Robert E. Horton, este método describe el proceso de infiltración del agua en el suelo como una función exponencial del tiempo. Considera la capacidad de infiltración del suelo y la tasa de infiltración inicial. Es adecuado para modelar la infiltración en suelos con características específicas.
- Método de Green-Ampt: desarrollado por A.W. Green y W.H. Ampt, este método describe la infiltración del agua en el suelo considerando la capacidad de infiltración, la succión del suelo y la humedad inicial del mismo. Es más complejo que el método de Horton y puede proporcionar resultados más precisos en una variedad de condiciones de suelo. Se suele utilizar para superficies verdes, característica que no predomina en este tipo de modelos urbanos con alta superficie impermeabilizada.
- Número de Curva (*Curve Number*): este método, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS, por sus siglas en inglés), utiliza un valor adimensional llamado "número de curva" para representar las características de infiltración del suelo y la cubierta vegetal. Es especialmente útil para áreas con escorrentía directa y precipitaciones intensas.

El método de Horton es empírico y, como se señaló anteriormente, muestra que la infiltración disminuye exponencialmente desde una tasa máxima hasta una tasa mínima en el transcurso de una lluvia prolongada (Pérez Hurtado, 2020). Describe la infiltración del agua en el suelo como una función exponencial del tiempo considerando que la tasa de infiltración disminuye con el tiempo a medida que el suelo se satura, de forma de alcanzar un valor constante a largo plazo a medida que avanza la lluvia. Así, la curva que representa la capacidad de infiltración se manifiesta solo si la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo analizado (SCHW Consultores, 2021). La ecuación básica del método de Horton es:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-kt} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- $f(t)$ es la tasa de infiltración en el tiempo t .
- f_c es la tasa de infiltración constante a largo plazo.
- f_0 es la tasa de infiltración inicial al inicio de la lluvia.

- k es una constante de decaimiento que representa la velocidad a la que la tasa de infiltración disminuye con el tiempo.

Esta ecuación describe cómo la tasa de infiltración $f(t)$ cambia con el tiempo t desde un valor inicial f_0 hacia el valor constante a largo plazo f_c , con una tasa de decaimiento representada por k . El comportamiento se observa en la siguiente imagen.

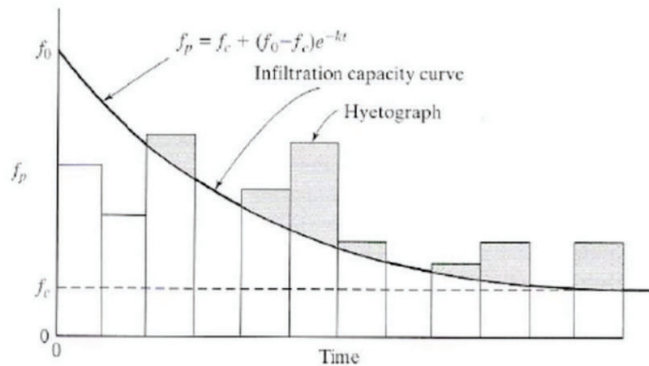


Imagen N° 53. Método de HORTON. Fuente: SCHW Consultores (2021).

El tiempo necesario para que la tasa de infiltración alcance un cierto porcentaje de su valor constante a largo plazo f_c se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{k} * \ln\left(\frac{f_0 - f_c}{f_c - f}\right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- t_c es el tiempo de cierre, es decir, el tiempo necesario para que la tasa de infiltración alcance un cierto porcentaje de f_c .
- f es la tasa de infiltración en el tiempo t que se desea alcanzar.

Escurrimiento Superficial

La generación de escurrimiento superficial se modela a través de las subcuencas utilizando el método del Número de Curva (*Curve Number Method*), el cual fue utilizado en un primer momento para la modelación. La ecuación para calcular la escurrimiento directa superficial es:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- Q es la escurrimiento directa superficial.
- P es la precipitación.
- I_a es la capacidad inicial de infiltración del suelo.
- S es el almacenamiento potencial del suelo.

Otro parámetro importante a tener en consideración es el número de Manning. El mismo se define en el SWMM como permeable e impermeable y se refiere a valores que representan la rugosidad de las superficies en una subcuenca o área de estudio.

- Número de Manning permeable: se aplica a áreas con capacidad de infiltración significativa, como suelos permeables o áreas verdes. Cuanto menor sea este número,



más rápida será la infiltración del agua en el suelo, lo que significa menos escorrentía superficial.

- Número de Manning impermeable: se utiliza para áreas donde la infiltración es mínima o nula, como superficies impermeables, como el pavimento. Valores más altos indican una menor infiltración y una mayor generación de escorrentía superficial.

3.5.4. Hidráulica

Modelo Hidráulico SWMM

El modelo hidráulico de SWMM se basa en las ecuaciones básicas de mecánica de fluidos. La descripción matemática de este flujo se puede realizar con las ecuaciones de Saint Venant para un flujo unidimensional no permanente en un canal abierto, aplicables al flujo en tuberías parcialmente llenas y variadas. Dichas ecuaciones se describen a partir de los principios de la conservación de la masa y cantidad de movimiento para un flujo gradualmente variado no permanente (Pérez Hurtado, 2020). De forma que se componen por la ecuación continuidad y momentum, que describen el flujo de agua en conductos cerrados y abiertos. Las ecuaciones son:

Ecuación de Continuidad

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ecuación 5})$$

, también expresada como

$$\frac{\partial A}{\partial t} = Q_{\text{ingreso}} - Q_{\text{egreso}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Ecuación de momentum de Cauchy

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A} \right] + g \frac{\partial D}{\partial x} - g(S - f) = 0 \quad (\text{Ecuación 7})$$

, también expresada como

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g * S - \frac{f}{D} * v|v| \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- A es el área de la sección transversal.
- Q_{ingreso} y Q_{egreso} son los flujos entrantes y salientes, respectivamente.
- v es la velocidad del flujo.
- g es la aceleración debido a la gravedad.
- S es la pendiente del canal.
- f es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach.
- D es el diámetro hidráulico, diferencia de cotas entre los extremos del conducto.

La solución de las ecuaciones de Saint Venant es compleja y se deben realizar algunas simplificaciones para solucionarlas. SWMM simplifica la ecuación de momentum de manera que los términos de la izquierda en la primera ecuación son despreciables y asume $S=f$ cuando la simulación se realiza con la onda cinemática, y realiza una aproximación de la onda dinámica con la ecuación de Cauchy completa.



Análisis Onda Dinámica

El software presenta tres opciones para el cálculo hidráulico: régimen permanente “*Steady Flow*”, onda cinemática “*Kinematic Wave*” y onda dinámica “*Dynamic Wave*”. El análisis utilizado en este caso fue *Dynamic Wave* de SWMM. El mismo simula el flujo transitorio en la red de drenaje urbano. Utiliza la ecuación de onda dinámica para calcular el flujo y la elevación del agua en cada nodo y enlace del sistema. Considera las fuerzas de gravedad, fricción, presión e inercia resolviendo las ecuaciones completas de Saint-Venant, es decir utilizando la totalidad de los términos de la ecuación indicada anteriormente (ecuaciones 5 a 8) (Pérez Hurtado, 2020).

Los términos inerciales utilizados son los de Dampen. Se utiliza la clasificación del régimen de flujo según pendiente y número de Froude.

La ecuación de la pérdida de carga de la tubería utilizada por el SWMM para la presente modelación es la de Hazen - Williams.:

$$H_{f \text{ cañería}} = 10.674 * \frac{(Q/3600)^{1.852}}{C^{1.852} * (D/1000)^{4.871}} * L \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- H es la pérdida de carga de la cañería en m
- Q el caudal de la misma (m^3/h)
- D el diámetro interno de la cañería (mm)
- L la longitud de la misma (m)
- C el coeficiente de rugosidad

Geometrías de los Conductos

SWMM permite la definición de diferentes geometrías de conductos, incluyendo rectangulares, circulares y trapezoidales. Asimismo, se puede incluir geometrías irregulares en base a datos del mismo, como es el caso del Radio Antiguo.

La ecuación de Manning se utiliza para calcular la velocidad del flujo en los conductos:

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

- v es la velocidad del flujo.
- n es el coeficiente de Manning.
- R es el radio hidráulico.
- S es la pendiente del canal.

Elementos Hidráulicos

La hidráulica del SWMM cuenta con distintos elementos para modelar el sistema. Por un lado se encuentran los **nodos**, que son puntos ficticios de control del sistema de drenaje donde se pueden realizar cálculos hidráulicos y representan ubicaciones clave como intersecciones o descargas. Por otro lado, se encuentran los **enlaces** (*links*) que conectan los nodos en el sistema de drenaje, y son representados por conductos, canales, vertederos, orificios y otras estructuras que transportan agua. Luego se encuentran los **tramos transversales** (*transects*) que son secciones transversales que se utilizan para definir la geometría del flujo en canales abiertos, en este caso se utilizó para referirse a calles pero puede utilizarse para un cauce de un río, canal o arroyo. Por último, se encuentran los llamados “**controles**” que son reglas o condiciones específicas que se aplican para gestionar el comportamiento del sistema de



drenaje, estos controles pueden incluir operaciones en compuertas, bombas, y otros dispositivos mecánicos que regulan el flujo de agua.

Existe también la posibilidad de incluir otros dos elementos: calles³ y entradas o sumideros.

Dentro de nodos se diseñan los siguientes elementos:

- Intersecciones - nodos (*junctions*): son los puntos donde se encuentran y conectan múltiples enlaces dentro del sistema de drenaje.
- Descargas (*outfalls*): puntos donde el agua es descargada desde el sistema a un cuerpo receptor.
- Divisores (*dividers*): se utilizan para dividir el flujo entrante en dos o más salidas diferentes.
- Unidades de Almacenamiento (*storage units*): son áreas diseñadas para almacenar temporalmente el agua de escorrentía.

Dentro de los enlaces se modelan:

- Conductos (*conduits*): se define de modo tradicional como estructuras que transportan el flujo de agua entre diferentes nodos del sistema de drenaje.
- Bombas (*pumps*): de forma tradicional se trata de un dispositivo utilizado para aumentar la presión o flujo de agua dentro de un sistema.
- Orificios - sumideros (*orifices*): son aberturas en una estructura que permiten el paso controlado del agua.
- Vertederos (*weirs*): son estructuras que permiten el paso del agua sobre un borde.
- Salidas (*outlets*): es un punto de salida del agua en el sistema de drenaje.

Los elementos hidráulicos en SWMM, como sumideros y vertederos, se modelan utilizando ecuaciones específicas que tienen en cuenta la geometría y las características hidráulicas de cada elemento.

3.5.5. Low Impact Development Controls

Los Low Impact Development (LID) Controls son prácticas de diseño y gestión que buscan minimizar el impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico. Se trata de la implementación de los SUDS dentro de la interfaz de la modelación hidráulica e hidrológica. Los mismos son representados como una combinación de capas verticales y sus propiedades son definidas dentro del programa por unidad de área donde durante una determinada simulación, el software realiza un balance de humedad monitoreando la cantidad de agua moviéndose entre capas y la que se almacena en cada una de ellas para cada intervalo de tiempo (Pérez Hurtado, 2020).

SWMM incorpora una variedad de controles LID, que incluyen:

- Celdas de biorretención (*bio-retention cell*) - sistemas de biorretención -: se ajustan para controlar la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua del suelo.
- Jardines de lluvia (*rain garden*) - sistema de biorretención, franja filtrante -: se configuran para regular la velocidad de infiltración del suelo y para reducir el escurrimiento superficial.
- Techos verdes (*green roof*): se modelan aumentando la tasa de infiltración y reduciendo la escorrentía directa.

³ Las calles fueron incorporadas al software SWMM en la última versión. En el presente trabajo se modelaron las calles como conductos con secciones transversales irregulares, ya que la base del mismo fue realizada previo al desarrollo de este elemento en el SWMM.



- Zanjas de infiltración (*infiltration trench*): se modelan aumentando la capacidad de infiltración del suelo y disminuir la escorrentía superficial.
- Pavimento permeable (*permeable pavement*): se modelan permitiendo la infiltración directa de agua en el suelo.
- Depósitos de lluvia (*rain barrel*) - depósitos de aprovechamiento -: se ajustan para controlar la capacidad de almacenamiento de agua y regular el flujo de entrada y salida del depósito.
- Desconexión de bajantes de aguas de lluvia (*rooftop disconnection*): se configuran para dirigir el flujo de agua desde los bajantes del techo hacia áreas permeables o de almacenamiento, reduciendo así el volumen de escorrentía.
- Cunetas verdes (*vegetative swales*): se modelan para promover la infiltración del agua de lluvia en el suelo, utilizando vegetación y características de diseño específicas para aumentar la retención y filtración del agua.

Estos controles se implementan ajustando los parámetros de infiltración y almacenamiento en el modelo hidrológico de SWMM.

Los SUDS utilizados para el presente proyecto cuentan con, al máximo, tres capas para su diseño: la capa superficial, el suelo y la capa de almacenamiento. Para la modelación en SWMM se realizan las siguientes simplificaciones (Rossman & Huber, 2016):

1. La sección transversal de la unidad permanece constante con la profundidad.
2. El flujo en la unidad es unidimensional en la dirección vertical.
3. La entrada del flujo a la unidad se distribuye de forma uniforme sobre la superficie superior.
4. El contenido de humedad está uniformemente distribuido a lo largo del suelo.
5. La capa de almacenamiento actúa como un reservorio que almacena agua desde el fondo.

De este modo, cada unidad de SUDS se modela resolviendo ecuaciones de continuidad de flujo, considerando que la variación de agua en el tiempo está dada por la diferencia entre el flujo de entrada y salida de cada capa, expresada como volumen por unidad de área por unidad de tiempo. Las ecuaciones utilizadas por el programa son (Rossman & Huber, 2016)⁴:

$$\Phi_1 \frac{\partial d_1}{\partial t} = i + q_0 - e_1 - f_1 - q_1 \quad \text{capa superficial} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\Phi_3 \frac{\partial d_3}{\partial t} = f_2 - e_3 - f_3 - q_3 \quad \text{capa de almacenamiento} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$D_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} = f_1 - e_2 - f_2 \quad \text{capa de suelo} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

d_1 = profundidad del agua almacenada en la superficie (ft)

θ_2 = contenido de humedad de la capa de suelo (volumen de agua/ volumen total de suelo)

d_3 = profundidad del agua en la capa de almacenamiento (ft)

i = tasa de precipitación sobre la capa superficial (ft/s)

q_0 = entrada a la capa superficial de la escorrentía (ft/s)

q_1 = tasa de escorrentía o desbordamiento de la capa superficial (ft/s)

⁴ Las unidades de medida utilizadas por el programa son aquellas del sistema anglosajón. De todas formas para el diseño se utilizó el Sistema Internacional y se realiza de forma automática la conversión.



q_3 = tasa de salida de agua del drenaje subterráneo de la capa de almacenamiento (ft/s)

e_1 = tasa de evapotranspiración superficial (ft/s)

e_2 = tasa de evapotranspiración de la capa del suelo (ft/s)

e_3 = tasa de evapotranspiración de la capa de almacenamiento (ft/s)

f_1 = tasa de infiltración del agua superficial en la capa de suelo (ft/s)

f_2 = tasa de percolación del agua a través de la capa de suelo en la capa de almacenamiento (ft/s)

f_3 = tasa de infiltración del agua de la capa de almacenamiento en el suelo natural (ft/s)

Φ_1 = fracción de vacíos de cualquier volumen superficial (es decir, la fracción de la altura libre por encima de la superficie no llena de vegetación)

Φ_3 = fracción de vacíos de la capa de almacenamiento (volumen de vacíos / volumen total)

D_2 = espesor de la capa de suelo (ft)

3.5.6. Conclusiones

En conclusión, SWMM de la EPA es una herramienta poderosa para la modelación y gestión de sistemas de drenaje urbano. Al comprender las ecuaciones fundamentales y los principios teóricos detrás del programa, se puede diseñar y optimizar sistemas de drenaje urbano de manera eficiente y efectiva, contribuyendo así a una gestión sostenible del agua en entornos urbanos. Los controles de desarrollo de bajo impacto (SUDS) permiten simular prácticas innovadoras de gestión del agua y evaluar su efectividad en la reducción de la escorrentía y la mitigación de inundaciones.

3.6. Marco Normativo

3.6.1. Ambiental

Se presenta a continuación un resumen de la legislación de la Nación Argentina en materia ambiental.

La Reforma Constitucional de 1994 introduce la temática ambiental en la ley fundamental de la Nación, en particular en su Artículo N° 41. Se consagra el derecho humano al medio ambiente al que califica de “sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano”. Asimismo, se fija un objetivo en el tiempo – la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras – que pone de manifiesto la incorporación de la noción de Desarrollo Sustentable que hoy en día ubica a la variable ambiental como necesaria en la toma de toda decisión que haga el desenvolvimiento de una comunidad organizada.

La reglamentación de este derecho social debe lograr equilibrar el derecho a un ambiente sano, con el derecho a desarrollar actividades que repercutan en el progreso de la comunidad y el bienestar individual. Compete al Estado y también a todos sus habitantes, pero para aquél se trata de una obligación primaria de la Nación ya que las Provincias solo se limitarán a dictar normas complementarias a las que emanen del Gobierno Nacional.

En función del Artículo 41, se han sancionado diversas normas de presupuestos mínimos, destacándose la Ley General del Ambiente (LGA) - Ley N° 25.675. Esta norma establece el estándar de calidad ambiental que debe ser respetado por la legislación local (en el caso bajo estudio el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y cumplido por cualquier proyecto en



territorio argentino más allá de la normativa local. Asimismo, toda norma de protección, evaluación y gestión ambiental propia del marco regulatorio de una actividad o sector debe adecuarse a estos presupuestos o estándares de calidad ambiental de la LGA. Bajo esta tutela uniforme, se imponen determinados instrumentos de gestión ambiental (Art. 8º, LGA), cuya aplicación es obligatoria en todo el territorio de la Nación independientemente de la jurisdicción en la cual se lleve a cabo el proyecto. El ordenamiento ambiental del territorio exige:

- La evaluación de impacto ambiental.
- El sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas.
- La educación ambiental.
- El sistema de diagnóstico e información ambiental.
- El régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.

Entre las exigencias o presupuestos mínimos de carácter procedimental, se encuentran el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, la Audiencia Pública y el sistema de Información Ambiental, que se integran funcionalmente con el primero. La ley regula estos instrumentos en forma general, estableciendo el “marco” institucional de toda regulación, ya sea de índole sectorial o de índole local general. Así establece las exigencias mínimas que debe contener el régimen sectorial, provincial o municipal. A su vez, deja en cabeza de las jurisdicciones locales la facultad de dictar normas complementarias de los presupuestos mínimos, las que pueden ser más exigentes o rigurosas que éstas, pero nunca inobservando sus estándares o inferiores a éstos. Consecuentemente, surge la necesidad de elaborar estudios de impacto ambiental, la aplicación de Planes de Gestión Ambiental y demás aspectos relacionados a la prevención de la generación de este daño particular, como también, el diseño y adopción de medidas de mitigación, compensación y restauración.

Otras normas de interés en materia ambiental son:

- Normas de Acceso a la Información Ambiental - Ley de Presupuestos Mínimos N° 25.831 y Ley N° 27.275
- Ley de Protección del Recurso Aire - N° 20.284
- Ley de Protección del Recurso Agua - N° 25.688
- Normas de Residuos Peligrosos e Industriales - Ley N° 24.051 (y su Decreto Reglamentario y modificatorias) y Ley N° 25.612
- Normas de Manejo del Fuego - Leyes N° 26815 y 27604
- Ley de Protección de Bosques Nativos - N° 26331

3.6.2. SUDS

Siendo la gestión del agua pluvial una problemática en auge, el marco normativo es reciente. El origen y desarrollo fue en Estados Unidos, quienes en 1990 y 1999 desarrollaron la fase 1 y 2 respectivamente de la “*Stormwater Rule*”, que establece la necesidad de obtención de permisos de vertidos pluviales para ciudades y la necesidad de contar con un Plan de Gestión de Pluviales con BMPs (*Best Management Practices*). En 2001 se establecieron los requisitos y especificaciones para la implantación de SUDS, mientras que en 2007 se promovió el uso de la infraestructura verde mediante la resolución N° 07/10 del Environment Council of the States y en 2008 se realizó el “*Green Infrastructure Action Plan*” en conjunto con la EPA - *Environmental Protection Agency* (Perales Momparler, 2019). A esta situación, se fueron sumando otras experiencias internacionales pioneras en dicha materia, principalmente en Australia, Malasia y Reino Unido.



Actualmente, la gestión sostenible del agua pluvial y los SUDS han adquirido una mayor relevancia debido al aumento de la urbanización y los problemas asociados con las inundaciones y la contaminación de las aguas superficiales. Diversos organismos internacionales han promovido la implementación de enfoques sostenibles en la gestión del agua urbana, que incluyen la incorporación de SUDS. En particular, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) han establecido pautas para la gestión segura del agua en áreas urbanas. Sus directrices se centran en la protección de la calidad del agua, la prevención de enfermedades transmitidas por el agua y la promoción de prácticas sostenibles de gestión del agua pluvial. Por otro lado, se destaca el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) ha promovido el desarrollo de ciudades sostenibles y resistentes al cambio climático. En sus informes sobre acción climática a nivel urbano se destaca la importancia de implementar SUDS como parte de una estrategia integral de gestión del agua.

En América Latina, varios países han mostrado un creciente interés en la implementación de SUDS y la gestión del agua pluvial sostenible. En particular, en México la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha emitido lineamientos para la implementación de sistemas de manejo de aguas pluviales, que incluyen técnicas de SUDS en proyectos de desarrollo urbano, con el objeto de mitigar inundaciones y mejorar la calidad del agua en áreas urbanas. Asimismo, en dicho país se han desarrollado distintos documentos en la última década orientados a la captación de agua de lluvia y al drenaje pluvial urbano, así como se cuenta con propuestas municipales para la implementación de sistemas urbanos de drenaje pluvial sostenible, tal como sucede en el municipio de Mérida (Ayuntamiento de Mérida, 2021). En Colombia se han desarrollado normativas municipales y planes para la gestión del agua pluvial. Por ejemplo, ciudades como Cartagena se encuentran implementando un Plan Maestro de Drenajes Pluviales para mejorar la infraestructura y prevenir inundaciones mediante la implementación de SUDS (Cámara Comercio Cartagena & Comisión Regional de Competitividad e Innovación de Cartagena y Bolívar, 2022).

En Argentina, si bien no existe un amplio desarrollo en la materia, en los últimos años se ha comenzado a mostrar interés en la implementación de técnicas sostenibles para el manejo del agua en zonas urbanas. A nivel jurídico, no existe en la actualidad ningún marco normativo - tanto a nivel nacional, como en la Provincia de Buenos Aires y en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - que regule y establezca características para los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Se cuenta únicamente con algunos lineamientos y manuales que paulatinamente incorporan estos conceptos a sus contenidos.

En la Provincia de Buenos Aires existe el "Manual de Buenas Prácticas para el Drenaje Urbano Sostenible", que se trata de una de las herramientas desarrolladas por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) en conjunto con otros organismos. Este manual proporciona pautas técnicas para la implementación de SUDS en proyectos de urbanización y desarrollo urbano, con el objetivo de mejorar la gestión del agua pluvial y reducir el impacto negativo en el ambiente.

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires implementa desde hace unos años proyectos vinculados a la gestión urbana de drenaje sostenible. Se cuenta con un Manual de Sistema Pluvial del año 2020, con recomendaciones para la ejecución de redes pluviales. A su vez, en CABA existe la Ley N° 3295/2010 que establece la "Gestión Ambiental del Aguas" en la ciudad y busca promover la implementación de técnicas de drenaje sostenible. El Gobierno de la Ciudad ha desarrollado lineamientos y especificaciones para la construcción e implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. En adición a esto, el Código de Planeamiento Urbano de la Ciudad incorpora herramientas de Compromiso Ambiental entre las cuales se encuentran la ralentización del agua de lluvia captada, la prevención del Riesgo Hídrico y del efecto Isla de

Calor, todas asequibles gracias a la implementación de SUDS (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2019).

3.6.3. Vuelco y calidad de agua pluvial

Los límites permisibles de vertido en cuerpos de agua superficial y al conducto pluvial en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires está regida por la Res. N° 417/17 de APrA, en la cual se adopta los límites determinados por las Res. N° 01/07 y 02/07 de ACUMAR a excepción de los hidrocarburos totales de petróleo y otros compuestos orgánicos volátiles. En relación a los límites permisibles en el vertido a conducto pluvial rigen los determinados en la Res. 296/16 de APrA.

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se encuentra prohibido el vuelco a cuerpo de agua subterráneo según la Ley N° 3295/2010, así como el vertido de efluentes crudo a la red pluvial y cuerpos de agua superficial según el Art. 23 de la Ley N° 3295.

Se suele utilizar la normativa de calidad de agua superficial adoptada por ACUMAR mediante la Res. N° 283/2019, que establece los parámetros fisicoquímicos y los valores cuantitativos asociados según el uso. Para el vertido de efluentes líquidos se establece en el Anexo A los valores máximos permitidos discriminando en vertidos a colectora cloacal o pluvial /cuerpo superficial - no se hace distinción entre estos últimos -. Si bien el Radio Antiguo cuenta con un sistema unitario pluviocloacal, ya que el mismo no cuenta con un tratamiento previo al vertido al cuerpo de agua superficial, se presenta como preferible la adopción de los valores pluviales ya que son más restrictivos. Los valores máximos se presentan en la tabla a continuación.

Tabla N° 3. Límites de vertido de efluentes líquidos

Grupo	Parámetro	Unidad	Tipo de vertido	
			Colectora Cloacal	Pluvial / Cuerpo Superficial
Fisicoquímicos	Aceites y Grasas	mg/l	≤ 100	≤ 50
	Cianuros destructibles por cloración	mg CN ⁻ /l	≤ 0.1	≤ 0.1
	Cianuro total	mg CN ⁻ /l	≤ 1.0	≤ 1.0
	DBO ₅	mg O ₂ /l	≤ 200	≤ 30
	Detergentes	mg SAAM /l	≤ 10	≤ 2.0
	DQO	mg O ₂ /l	≤ 700	≤ 125
	Fósforo total	mg P /l	≤ 10	≤ 5.0
	Sólidos Suspendidos Totales	mg /l	NE	≤ 35
	Nitrógeno Amoniacal	mg N ⁻ NH ₄ ⁺ /l	≤ 75	≤ 25
	pH	UpH	5.5 - 10.0	6.5 - 9.0
	Sólidos Sedimentables en 10 min	ml/l	≤ 0.1	≤ 0.1
	Sólidos Sedimentables en 2 hs	ml/l	≤ 5.0	≤ 1.0
	Temperatura	° C	≤ 45	≤ 45



Grupo	Parámetro	Unidad	Tipo de vertido	
			Colectora Cloacal	Pluvial / Cuerpo Superficial
Inorgánicos	Aluminio	mg Al/l	≤ 5.0	≤ 2.0
	Arsénico total	mg As/l	≤ 0.5	≤ 0.5
	Bario	mg Ba/l	≤ 2.0	≤ 2.0
	Boro	mg B/l	≤ 2.0	≤ 2.0
	Cadmio total	mg Cd/l	≤ 0.1	≤ 0.1
	Cinc total	mg Zn/l	≤ 5.0	≤ 2.0
	Cloro libre	mg Cl/l	NE	≤ 1.0
	Cobalto	mg Co/l	≤ 2.0	≤ 2.0
	Cobre total	mg Cu/l	≤ 2.0	≤ 1.0
	Cromo total	mg Cr/l	≤ 2.0	≤ 2.0
	Cromo hexavalente	mg Cr ⁶⁺ /l	≤ 0.2	≤ 0.2
	Hierro (soluble)	mg Fe/l	≤ 10	≤ 2.0
	Manganeso (soluble)	mg Mn/l	≤ 1.0	≤ 0.5
	Mercurio total	mg Hg/l	≤ 0.005	≤ 0.005
	Níquel total	mg Ni/l	≤ 2.0	≤ 2.0
	Plomo total	mg Pb/l	≤ 0.1	≤ 0.1
	Selenio	mg Se/l	≤ 0.1	≤ 0.1
	Sulfatos	mg So ₄ ²⁻ /l	≤ 1000	NE
	Sulfuros	mg S ²⁻ /l	≤ 1.0	≤ 1.0
	Sustancias fenólicas	mg/l	≤ 0.5	≤ 0.5
Orgánicos	Coliformes Fecales	UFC/100 ml	NE	≤ 500
	Hidrocarburos totales	mg/l	≤ 30	≤ 30
	Hidrocarburos volátiles	mg/l	≤ 1	≤ 1

Nota: véase la tabla completa en el Anexo A de la Res. 283/19 de ACUMAR.

Fuente: Res. 283/19.



Capítulo 4: Diagnóstico

4.1. Definición de ubicación

4.1.1. Aspectos Preliminares

La zona de intervención seleccionada para el presente proyecto es el eje de Avenida San Juan, desde Tacuarí hasta Av. Paseo Colón. Se extiende durante 7 cuadras, con un largo aproximado de 950 metros (véase imagen 8 - Capítulo 4).

La ubicación fue seleccionada en base a intercambios, criterios y evaluaciones establecidos por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Dado que el proyecto se encauza dentro de una línea de trabajo de la Ciudad, se eligió una ubicación que sea factible dentro de la realidad de la misma.

4.1.2. Criterios

Los criterios tenidos en cuenta para la selección de la ubicación fueron: (1) calles anchas, (2) lejanía de espacios verdes y (3) calles sin transporte público.

Criterio 1

Se evaluaron los anchos de las calles y avenidas en la Ciudad, considerando aquellas que son entre 10 a 12,5 m y las que tienen un ancho de más de 12.5 metros (imagen 1). Las vialidades anchas de la Ciudad muchas veces presentan sobrantes viales, los cuales refieren a la capacidad adicional o excedente en un sistema de transporte que no se utiliza en su totalidad durante períodos de baja demanda de tráfico, y puede representar una ineficiencia en tanto infraestructura no necesaria. Hoy en día, muchas de las calles del siglo pasado operan significativamente por debajo de su capacidad. Así, este sobrante vial puede manifestarse en forma de carriles vacíos, espacios libres en estacionamientos o falta de congestión en las vías. Estas calles anchas pueden ser estrechadas utilizando carriles para bicicletas, carriles de tránsito y otros usos (infraestructura verde) que requieren menor costo y análisis y optimizan el uso de la calle como espacio público (NACTO, 2013).

El objetivo de este criterio vial fue encontrar las calles y avenidas que tengan un carácter comercial, gastronómico o la presencia de algún equipamiento educativo o hospitalario y donde el espacio urbano se encuentre desaprovechado.

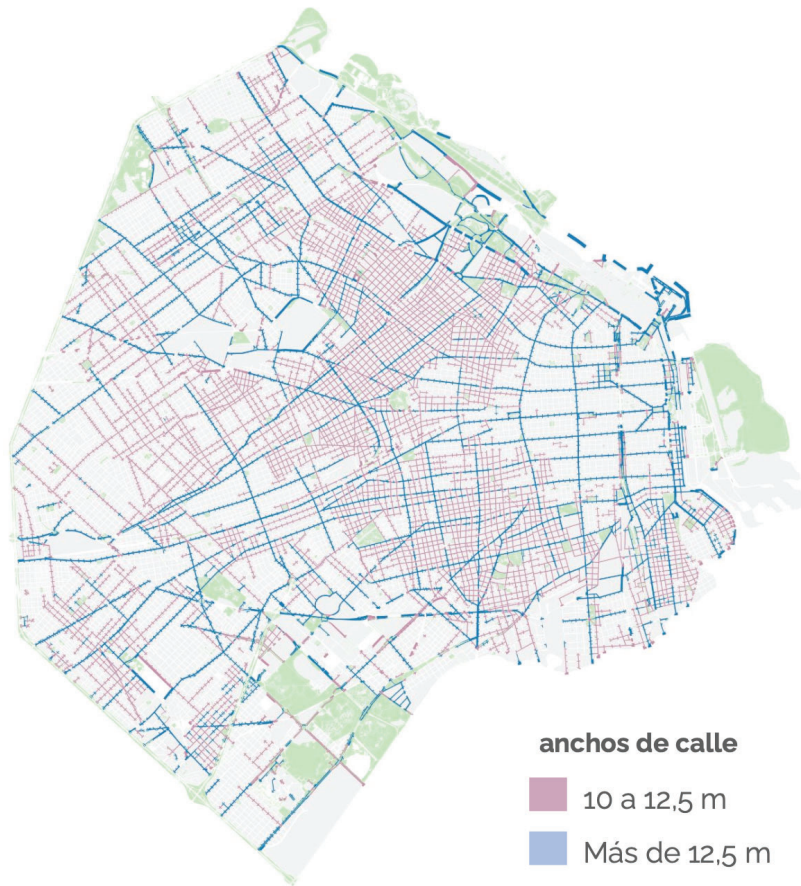


Imagen N° 1. Calles anchas en CABA. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2023.

Criterio 2

Como segundo criterio, se evaluó la lejanía entre los espacios verdes de la Ciudad considerando la distancia y el tiempo entre grandes parques y plazas (imagen 2). El objetivo es completar aquellas zonas donde falta espacio verde, para así evitar vacíos y potenciar los parques y plazas preexistentes. En adición, se tuvo en cuenta la situación a lo largo del camino entre dichos espacios. Las pequeñas plazas y plazoletas existentes en los recorridos son potenciales puntos de interés y pueden revalorizarse. Con este criterio se busca generar conexiones entre los espacios verdes preexistentes.

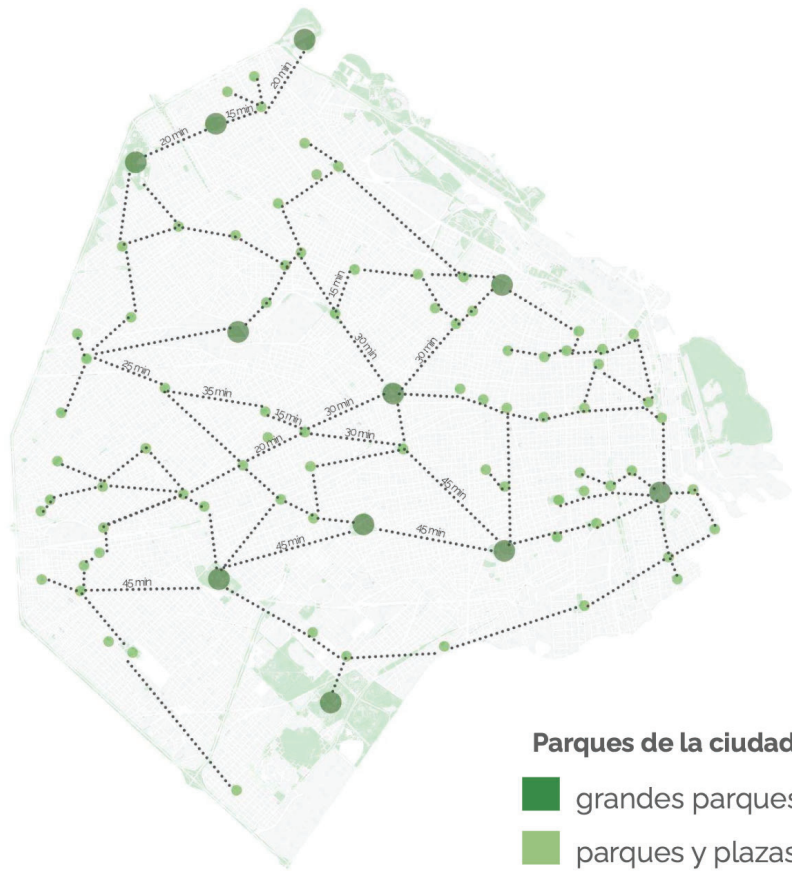


Imagen N° 2. Lejanía de espacios verdes en CABA. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2023.

Criterio 3

Como tercer criterio se consideraron las calles que no cuentan con transporte público (imagen 3). Encontrar vialidades que no tengan este tipo de transporte puede ser un desafío, especialmente en el caso de calles consideradas “activas”. La intervención en una de estas calles implica la reducción de carriles, por lo que podría implicar un aumento en el tránsito y posible congestión. La generación de un SUDS en alguna de las calles sin transporte público generarán programas con otros usos, lo que hace a las calles más atractivas y circulables.

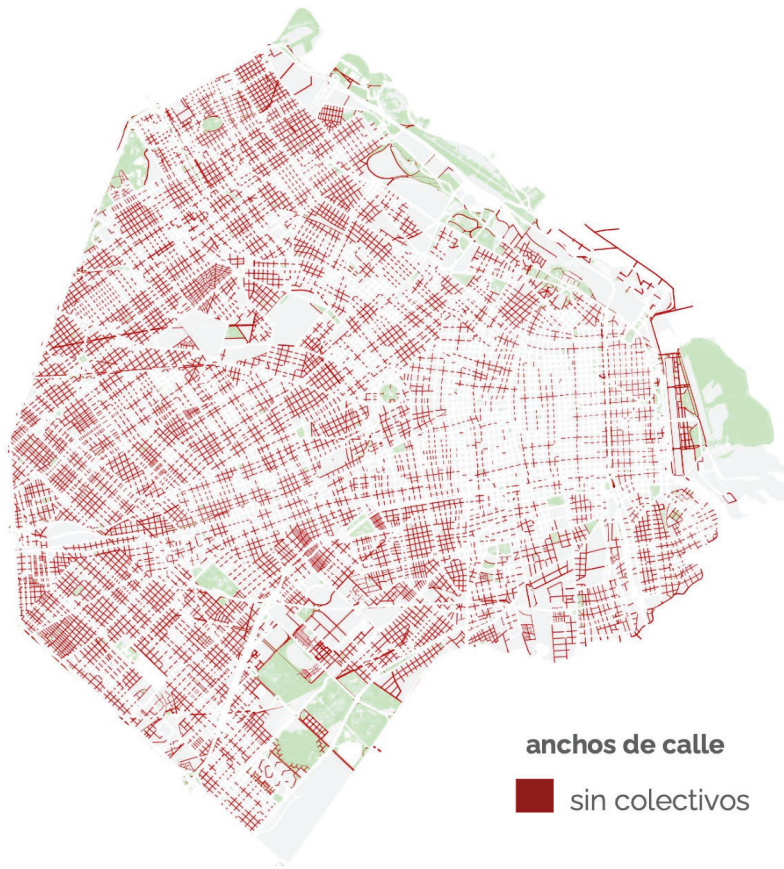


Imagen N° 3. Calles sin transporte público en CABA. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2023.

4.1.3. Selección de ubicación

En función de los criterios señalados anteriormente se preseleccionaron tres ubicaciones:

1. San Telmo: eje Av. San Juan desde aproximadamente Tacuarí a Av. Paseo Colón.
2. Villa Ortúzar: eje Av. Chorroarín desde aproximadamente Montenegro hasta Av. Triunvirato.
3. Parque Avellaneda: eje Av. San Juan Bautista de La Salle desde aproximadamente Av Escalada hasta Av. Eva Perón.

La opción 1 se desarrolla en la cuenca Radio Antiguo, mientras que la opción 2 se encuentra en la cuenca Vega y la opción 3 en la cuenca del arroyo Cildañez.

La opción 2 cuenta con la posibilidad de intervenir sobre el boulevard, sin modificar la geometría de la calzada. La opción 3 también cuenta con la posibilidad de intervenir sobre el boulevard pero modificando la geometría de la calzada para extender la superficie verde y reducir el ancho de carriles al mínimo necesario.

Dentro de estas opciones preseleccionadas, en base a las características técnicas y geométricas que presentan las calles, se optó junto con el GCBA por la opción 1 debido a la falta de trabajo realizado sobre esta cuenca, con pocas obras hidráulicas. Esto genera la posibilidad de visibilizar la cuenca así como un barrio céntrico e histórico de la Ciudad con alta exposición social y turística. A su vez, si bien no presenta un alto riesgo hídrico, se trata de una



cuenca con un bajo porcentaje de espacios verdes. Inicialmente, la opción 1 no contaba con transporte público en su traza, si bien en la actualidad existe una línea de colectivo que atraviesa dicho eje en los iniciales 400 metros. La selección de la ubicación fue realizada en conjunto con las áreas de hidráulica, movilidad y proyectos del GCBA.

4.1.4. Inicio y Fin

Una vez seleccionada la ubicación y el área de intervención se definió la calle de inicio y de finalización.

Se definió el inicio de la intervención a partir de la calle Tacuarí, para evitar el embotellamiento en el tramo entre Bernardo de Irigoyen y Tacuarí. En ese tramo se encuentra el Colegio Esteban Echeverría y la Universidad Abierta Interamericana (UAI) que generan congestión del tránsito vehicular ocupando carriles de la calzada. En adición, sobre calle Tacuarí se encuentra una ciclovía por lo que el proyecto puede empalmar con la misma.

En relación a la calle de finalización se evaluó que el mismo podría finalizar en Av. Paseo Colón o en la calle Azopardo, es decir la cuadra posterior. En la primera opción, genera la conexión hasta la avenida. Por otro lado, en la Av. San Juan entre Paseo Colón y Azopardo existe una ciclovía de mano derecha en mal estado y, en la calle Azopardo existe otra ciclovía. En ese último tramo se reduce la cantidad de carriles, de seis carriles a dos carriles y el espacio de la ciclovía. Por este motivo principalmente, y la conexión entre vialidades, se optó por finalizar el proyecto lineal en la Av. Paseo Colón.

4.2. Descripción del área

4.2.1. Cuenca Radio Antiguo

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) se encuentra conformada por doce cuencas (imagen 4 y 5): Ugarteche, Radio Antiguo, Boca - Barracas, Elía, Ochoa, Erezcano y San Pedrito, Larrazabal y Escalada, Cildañez, Maldonado, Vega, White y Medrano, de las cuales tres se extienden sobre el conurbano. La superficie de dichas cuencas varía desde las 190 ha hasta 10,000 ha con un elevado grado de impermeabilización y tan sólo un 8% de áreas verdes. Todas las cuencas se caracterizan por poseer un curso troncal natural, actualmente entubado, con una longitud de conductos total que no supera los 1400 km y una densidad media de drenaje de aproximadamente 30 m/ha (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006).

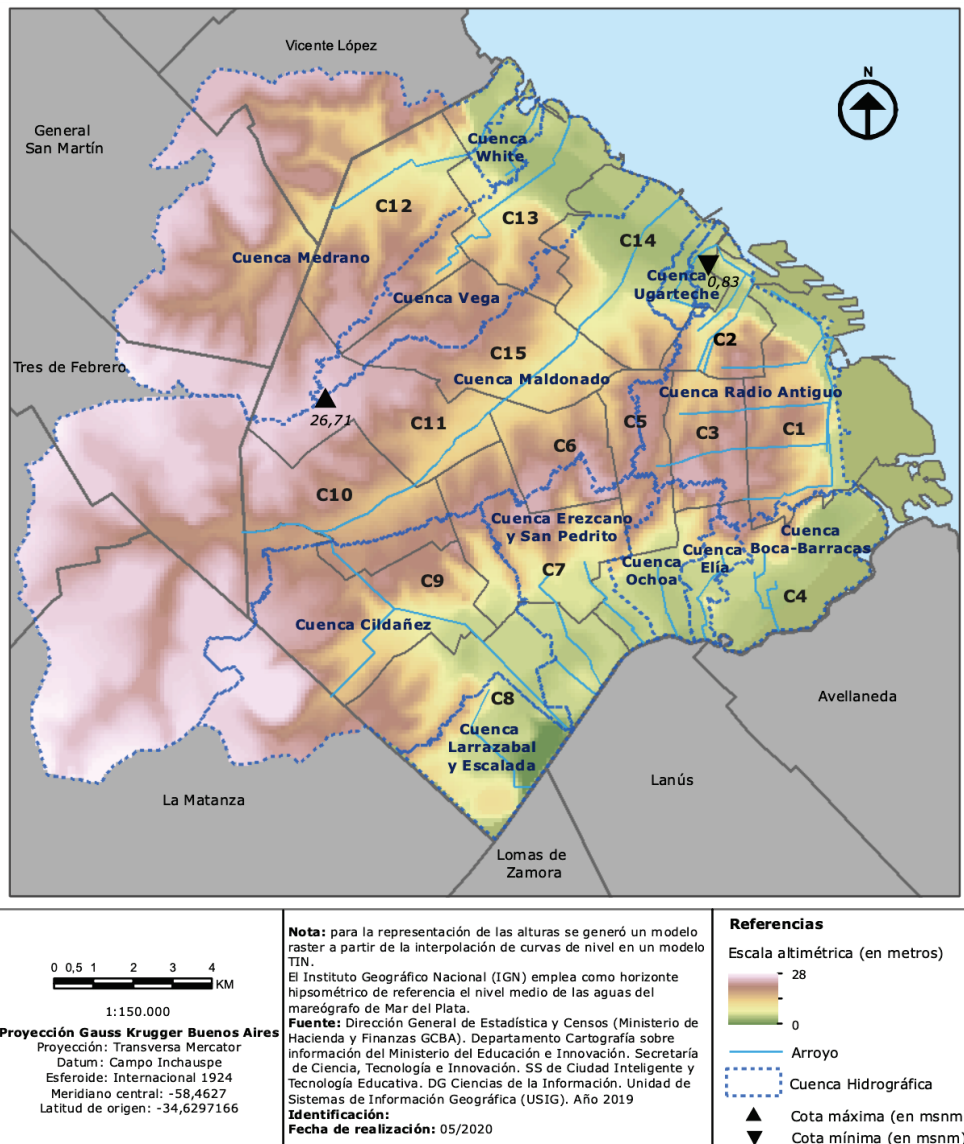


Imagen N° 4. Relieve, cuencas hidrográficas y comunas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos (2020).

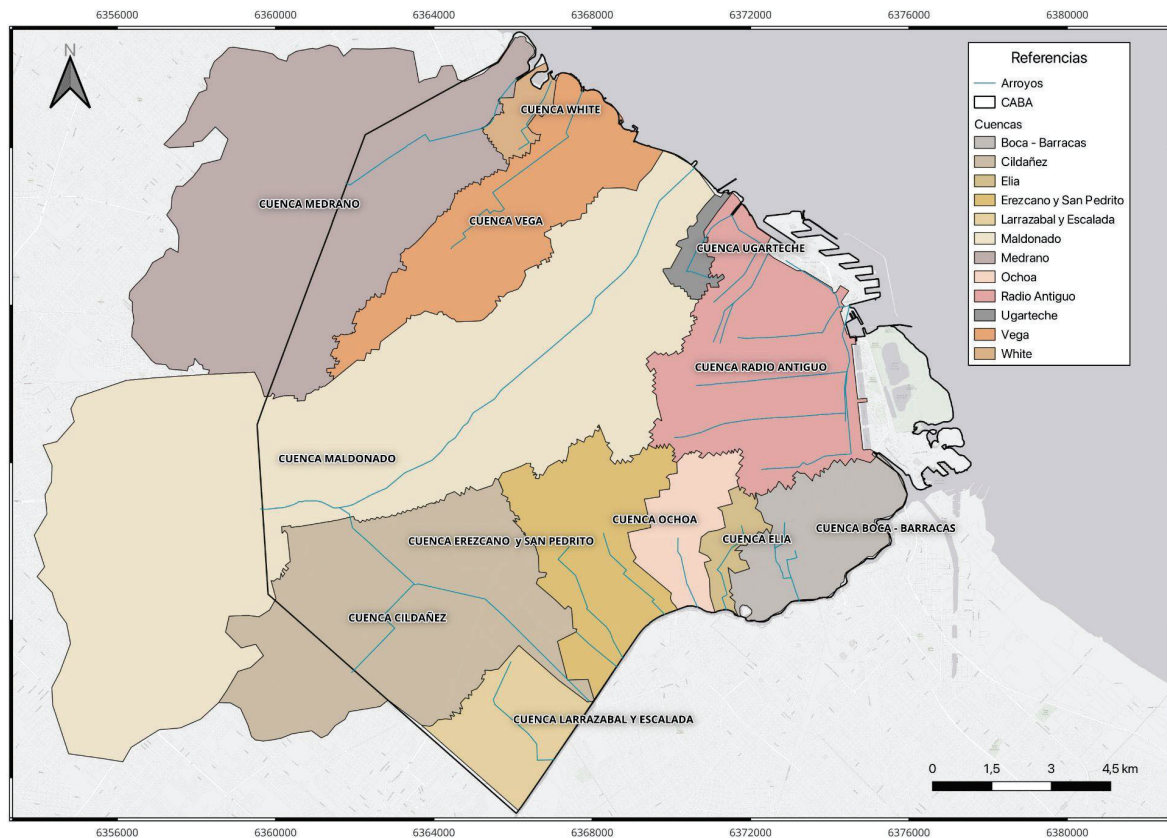


Imagen Nº 5. Cuencas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fuente: elaboración propia.

Suele considerarse que la Ciudad se encuentra atravesada por 11 cuencas, al considerar a la cuenca Ugarteche y Radio Antiguo en conjunto, debido al pequeño tamaño de la primera y a la similitud en características. Sin embargo, para el presente trabajo se considerará para el análisis estrictamente la cuenca Radio Antiguo. La misma representa aproximadamente el 8% de la ciudad, abarcando 2,440 ha con una longitud de 25.9 km, y se localiza en la zona Este de la Ciudad (Civeira, 2018). Se extiende a través de los barrios de Almagro (parcialmente), Balvanera, Boedo (parcialmente), Constitución (casi en su totalidad), Montserrat, Parque Patricios (parcialmente), Puerto Madero, Recoleta, Retiro, San Cristóbal (parcialmente), San Nicolás y San Telmo. Dicha cuenca corresponde a un área de barranca, adyacente a zonas rellenadas y ganadas al Río de la Plata.

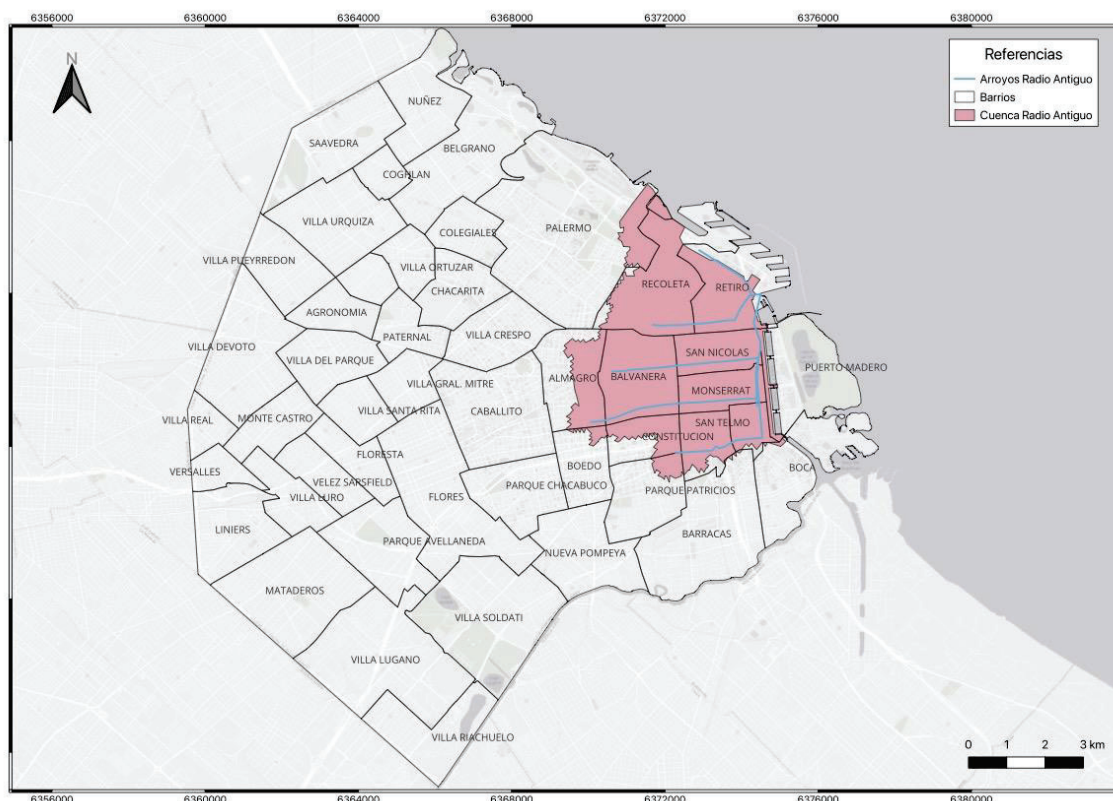


Imagen N° 6. Cuenca Radio Antiguo. Fuente: elaboración propia.

La cuenca Radio Antiguo cuenta con una población de 601,424 habitantes de acuerdo al Censo del año 2010 y una densidad poblacional de 26,494.4 habitantes por km², siendo la cuenca con mayor densidad poblacional de la Ciudad (Las Cuenas Metropolitanas, 2017). Es el foco fundacional de la ciudad, en la cual se fundan todos los ejes viales, ferroviarios y subterráneos. A su vez, contiene gran cantidad de patrimonio edilicio y ambiental de la Ciudad y cuenta con áreas centrales destinadas a equipamiento, comercio y gobierno. Por último, el Radio Antiguo concentra los mayores índices de equipamiento de la ciudad, así como industrias, depósitos, comercios y servicios (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006).

La particularidad del área de intervención radica en el hecho de que se trata de la única cuenca de la Ciudad que cuenta con desagües construidos a partir de la década de 1870, que consisten de un sistema combinado pluviocloacal que descarga el caudal base en una cloaca interceptora afluente de la cloaca máxima (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006).

La altimetría de la cuenca varía entre una cota máxima de 25 m IGN en la calle Humberto Primo al Sudoeste de la misma y mínima de 3 m IGN en la costa del río (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). La cuenca se encuentra conformada por tres valles principales correspondientes a tres arroyos que desembocan en el Río de la Plata: se trata de modificaciones del Zanjón de Granados, el Zanjón de Matorras o Matorral y el arroyo Manso, llamados originalmente arroyos Terceros del Sur, del Medio y del Norte respectivamente. Los tres valles principales, muy modificados, recorren la cuenca con dirección predominantemente Norte (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018; Civeira, 2018; Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). En la actualidad los distintos arroyos se encuentran completamente entubados. Sin embargo, puede verse el Zanjón de Granados en uno de los túneles por donde pasan dichas aguas en los subsuelos del barrio de San Telmo (Agua y Saneamientos Argentinos



S.A., 2018). El presente proyecto se desarrolla en el área que solía corresponder al valle del arroyo Sur.

Originalmente, el arroyo del Sur se extendía desde la Estación Constitución hacia una zona cercana al Dique N° 1, atravesando los barrios de Constitución, Puerto Madero y San Telmo. Nació en las inmediaciones de la Estación y descendía a través de las calles Perú y Defensa, y en el pasaje San Lorenzo, continuaba su trayecto hasta desembocar en el Río de la Plata. El arroyo del Medio tenía su origen en las cercanías de las avenidas Independencia y Entre Ríos, fluía hacia el Este, pasando por dos lagunas, cruzaba la calle Florida y continuaba su trayecto por Tres Sargentos hasta llegar al Río de la Plata, formando un pequeño delta. Dicho valle, el segundo en extensión, atraviesa los barrios de San Nicolás y Retiro. Por último, el arroyo Manso nació de dos lagunas cercanas a la intersección de las calles Venezuela y Saavedra. Este arroyo fluía a lo largo de la Avenida Córdoba hasta llegar a Sánchez de Bustamante. Luego, en un pequeño delta, seguía su curso por las calles Austria y Tagle hasta desembocar en el Río de la Plata. Se trata del valle más significativo, cuya pendiente se desarrolla en dirección Sudeste-Noroeste, atravesando los barrios de Balvanera y Recoleta hasta Retiro. Una derivación canalizada de este arroyo corre y desemboca en la zona de la calle Ugarteche. Es por eso que actualmente se hace referencia a la desembocadura del Arroyo Manso como "Arroyo Ugarteche" (Civeira, 2018; Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006).

Historia

En 1850, la segunda fundación de Buenos Aires se realizó teniendo como límite los tres arroyos "Tercero": el denominado "Tercero del Sur" y el "Tercero del Medio" y el "Tercero del Norte" como delimitación occidental y septentrional (imagen 7). Desde los primeros tiempos de la colonia, los anegamientos en la zona eran frecuentes. De hecho, los denominados "Terceros" eran considerados como zanjales de peligrosidad que atravesaban el área central de la ciudad y desembocaban en la barranca del río. Luego de la epidemia de la fiebre amarilla en 1871, por encargo de la Comisión Provincial de Agua Corriente, Drenajes, Cloacales y Adoquinados de la Ciudad de Buenos Aires se elabora el proyecto para la provisión de agua, desagüe y empedrado de la Ciudad. De esta forma se comenzó a proyectar el primer plan de drenaje urbano de la ciudad, el cual consistía en la construcción de un sistema pluvio-cloacal, la eliminación de los puentes que existían sobre las canalizaciones de los arroyos Tercero y la canalización y cobertura de los mismos (Civeira, 2018). Así, durante la gestión de Torcuato de Alvear, fueron cubiertos la totalidad de los "Terceros" con empedrado. Más allá de esto, dichos arroyos continuaron provocando trastornos en la ciudad, generando anegamiento los días de lluvia. (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018).

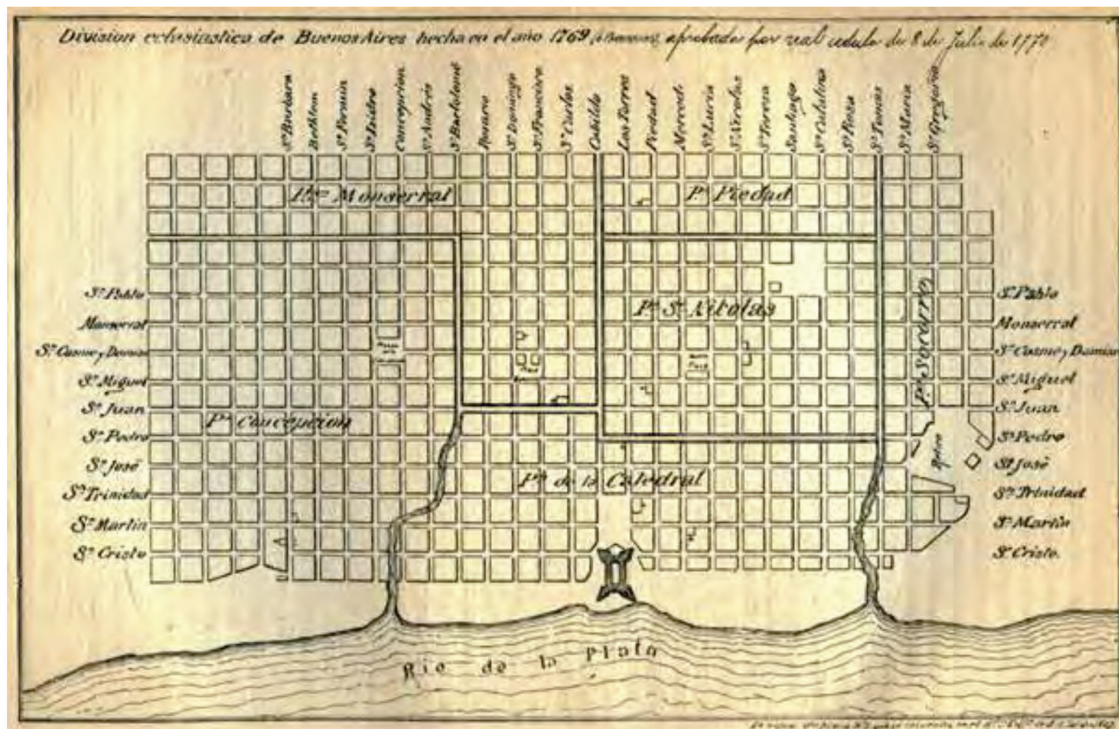


Imagen N° 7. Plano de Buenos Aires en 1769, con la división eclesiástica de la ciudad en seis parroquias y los Terceros desaguardo en el río. Se trata del primer plano que aparece con la nomenclatura de las calles. Fuente: Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (2018).

El proyecto de desagües pluviales del Radio Antiguo fue diseñado por el ingeniero británico Juan Federico La Trobe Bateman para la zona sur de la ciudad y construido entre 1873 y 1905 (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). De esta forma, estrictamente se considera al Radio Antiguo como el área de la Ciudad provista con servicios de agua y saneamiento a partir del Ing. Bateman. Las obras finalizaron en 1905 abarcando 2594 hectáreas, a las que se sumaron otras 400 ganadas al río para la construcción de Puerto Madero (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018; Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2013).

Se dispuso contar con un sistema de desagües que permitiera recoger en un sistema unitario tanto el agua servida (o cloacal) como el agua de lluvia, los cuales se encontraban separados en distintos puntos de la red continuando el cloacal por la Primera Cloaca Máxima y los pluviales por los Conductores Troncales de Tormenta (Civeira, 2018). El sistema prácticamente no sufrió modificaciones sustanciales del funcionamiento desde el siglo XIX, siendo su principio de funcionamiento el mismo.

En la actualidad, la cuenca cuenta con cinco conductos colectores principales que reciben el excedente pluvial, que llega desde una serie de conexiones laterales y del vertido de distintas cámaras aliviadoras del sistema pluvio cloacal, y lo descargan en el Río de la Plata cercano a la Dársena Norte –véase sección 4.3 para mayor información– (Civeira, 2018). Cabe destacar que la traza de los colectores no se ajusta al recorrido de los valles naturales.



4.2.2. San Telmo

San Telmo es uno de los barrios comprendidos completamente por la cuenca Radio Antiguo, siendo en particular el área de intervención del proyecto. Forma parte de la Comuna 1 y se trata de uno de los barrios porteños más antiguos y tradicionales, que es sede del Casco Histórico. Cuenta con una superficie de 1.23 km², siendo el barrio más pequeño de la ciudad, un perímetro de 5,180 m y una población total de 25,969, teniendo así una densidad de 19,331.7 hab/km² (INDEC, 2010).



Imagen N° 8. Barrio de San Telmo dentro de CABA. Fuente: elaboración propia.



Página 73 de 255

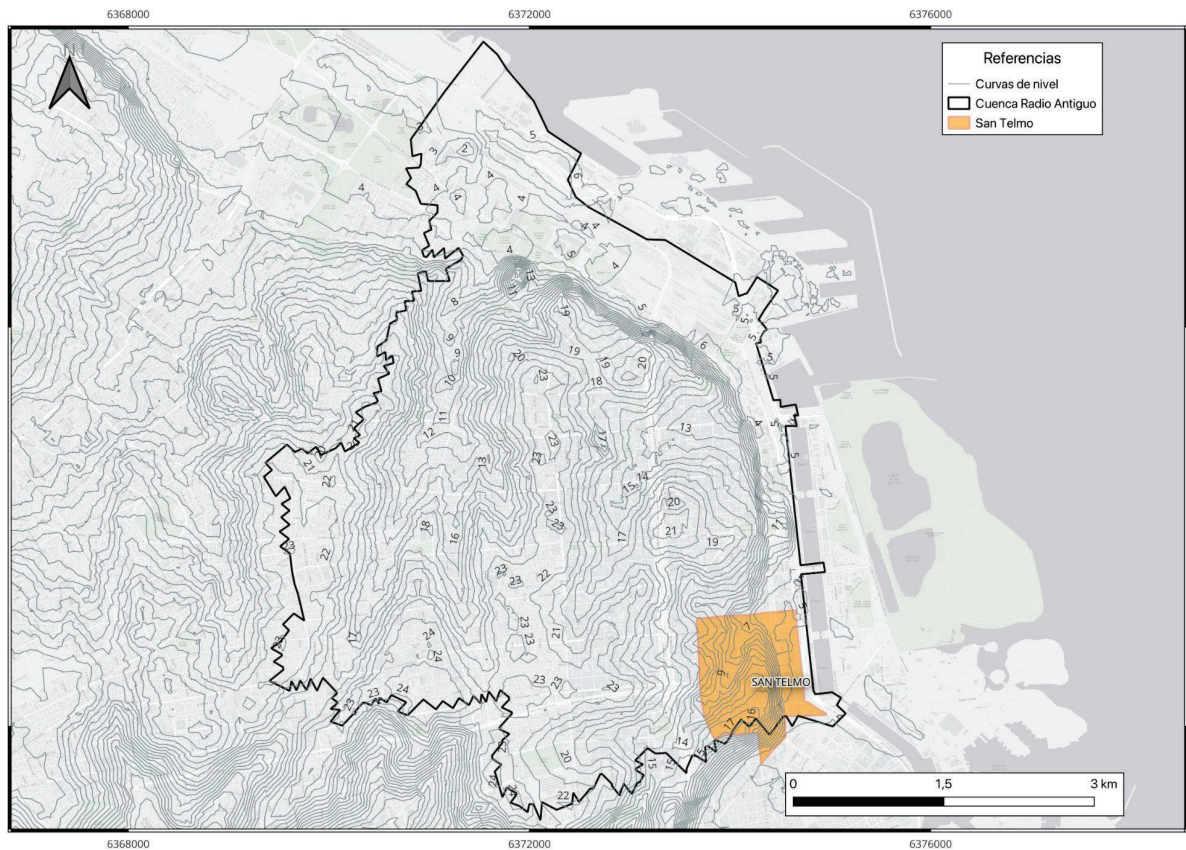


Imagen N° 10. Topografía cuenca Radio Antigua. Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Zona de intervención

La zona de intervención seleccionada para el presente proyecto es el eje de Avenida San Juan, desde Tacuarí hasta Av. Paseo Colón. Se extiende durante 7 cuadras, con un largo aproximado de 950 metros (imagen 11). San Juan es considerada como una Vía Secundaria de acuerdo a la jerarquización de la Red Vial del Código de Planeamiento Urbano de la Ciudad. Dichas vías son ejes de escala local integradas mayoritariamente por avenidas de mano única o doble mano. Su función de tránsito es principalmente ser un corredor de transporte público y ofrecer la posibilidad de acceder a él, a su vez de brindar conexión a los puntos no alcanzados por las vías primarias y distribuir el tránsito urbano e interurbano hacia otras vías secundarias y terciarias.



Imagen N° 11. Zona de intervención: eje Av. San Juan desde Tacuarí hasta Paseo Colón. Fuente: elaboración propia.

El Uso del Suelo de San Telmo está condicionado por el Código de Planeamiento Urbano (CPU) del año 2017, enmarcado en la Ley N° 2930 - Plan Urbano Ambiental, realizado por la Subsecretaría de Planeamiento. La totalidad del barrio pertenece a la categoría APH 1 / APH 1 14, significando sus siglas Área de Protección Histórica. Se trata de espacios que por sus valores histórico-culturales, arquitectónicos, singulares y/o ambientales constituyen un ámbito de referencia cultural y poseen características diferenciales que hacen que merezcan un tratamiento de protección (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2019).

Debajo de la Autopista 25 de Mayo corresponde al Área de Renovación Urbana lindera a Autopista - RUA. Se trata de zonas longitudinales linderas a las trazas de las Autopistas, destinadas a localizar usos comerciales y de equipamiento y servicios vecinales (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2019).

Entre Paseo Colón y Av. Ing. Huergo el distrito correspondiente es C2 y C3-I luego de la Autopista. La zona C2 corresponde al Centro Principal, es decir a áreas de equipamiento administrativo, comercial, financiero e institucional en sectores urbanos con vías de alta densidad. El distrito C3, Centro Local, se encuentra en correspondencia con el caso anterior pero para escala local.



Imagen N° 12. Uso de suelo del barrio de San Telmo. Fuente: Código de Planeamiento Urbano - [Mapa Interactivo de la Ciudad](#).

En particular, en el área de intervención las pendientes son descendientes desde 9 de Julio hasta la calle Perú aproximadamente, para luego volver a ascender y por último descender bruscamente en la última cuadra desde Balcarce a Paseo Colón. Tal comportamiento se puede observar en el corte longitudinal de la imagen 13. Las pendientes varían desde 0.7% en el tramo entre Defensa y Balcarce a un 5.22% entre Balcarce y Paseo Colón, tramo cuya pendiente es máxima. Esta elevada pendiente genera una alta velocidad de escurrimiento del agua pluvial, lo que implica un bajo caudal en calle y por lo tanto pocas inundaciones. Esto, a su vez, tiene como consecuencia un arrastre importante de contaminantes y sedimentos presentes en las calles. En general la cuenca Radio Antiguo cuenta con elevadas pendientes lo que genera que los conductos se encuentren menos desbordados frente a una lluvia de baja intensidad.

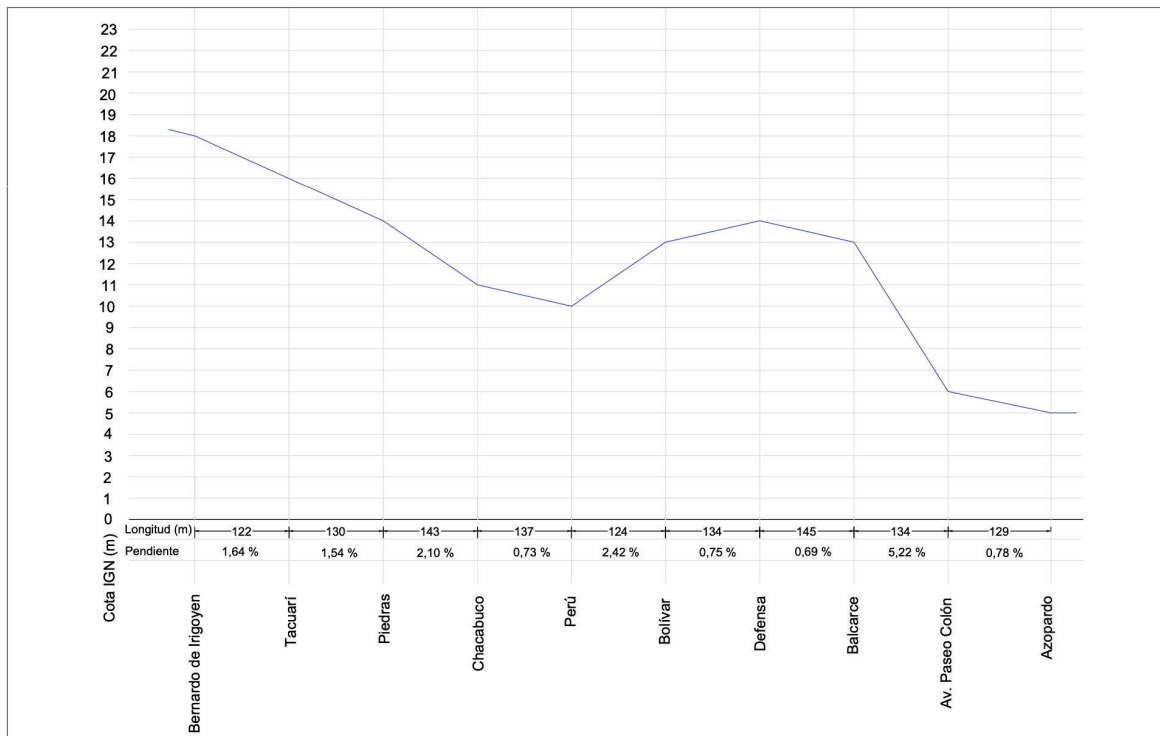


Imagen N° 13. Corte longitudinal del área de intervención. Fuente: elaboración propia. Nota: véase tabla A.1 del Anexo y plano N° 2.

La Av. San Juan en la actualidad cuenta con una calzada abovedada de aproximadamente 20 m de ancho y dos veredas que fluctúan entre los 3 y 5 metros de acuerdo a relevamientos satelitales, *in situ* y base de datos (imagen 14). Cuenta con 6 carriles de 3 metros cada uno aproximadamente (imagen 15), en los cuales se puede estacionar de mano derecha y de mano izquierda días hábiles luego de las 22 horas, fin de semana y feriados. El ancho de la calle según el modelo hidrológico utilizado es de 30 metros. Se considera una aproximación tanto para la calzada como para la vereda, ya que de acuerdo a relevamiento en el terreno se ha visto que el mismo varía de acuerdo al tramo evaluado.

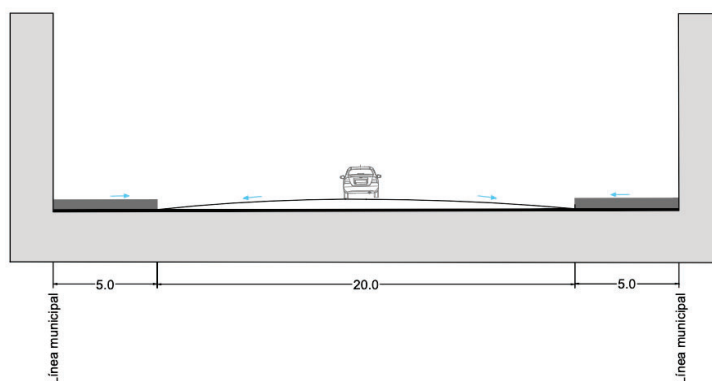


Imagen N° 14. Vista en corte de cuadra tipo de Av. San Juan. Fuente: elaboración propia. Nota: véase plano N° 2.



Imagen N° 15. Vista en planta de cuadra tipo de Av. San Juan. Fuente: elaboración propia. Nota: véase plano N° 2.

4.2.4. Aspectos de relevancia socioambiental

Se considera un espacio verde como el área destinada a uso público cuya característica es el predominio de especies vegetales y suelo absorbente. La cuenca Radio Antiguo cuenta con reducida cantidad de espacios verdes como se puede observar en la figura a continuación. Los mismos se encuentran acotados principalmente a la zona del barrio de Recoleta y Retiro. El barrio de San Telmo no cuenta con áreas verdes de importancia. Esto se encuentra en línea con el déficit de espacios verdes de la Ciudad de Buenos Aires de 6 m^2 por habitantes, mientras que las recomendaciones de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) estipulan un mínimo necesario de entre 15 y 20 m^2 por habitantes. La Ciudad cuenta con 1256 espacios verdes, los cuales cubren 1826.8 hectáreas de superficie. Estos espacios están distribuidos en 49 parques, 272 plazas, 421 plazoletas, 30 jardines, 387 canteros centrales en calles y avenidas y 87 espacios con otras denominaciones (Corti et al., 2020).

Se seleccionó un área de interés dentro de la cuenca Radio Antiguo, considerando un radio de 1 km desde la avenida de intervención (véase imagen 33), y se calculó la incidencia del área verde en dicha zona en función de la base de datos presente en QGIS y utilizada para la modelación en el software SWMM. De esta forma el porcentaje de áreas verdes en la zona de influencia es del 3%, siendo el área total 23.60 ha y 0.78 ha de espacios verdes.

Por último, la presencia de arbolado es menor en la cuenca Radio Antiguo, y en el barrio de San Telmo en particular, que en el resto de la Ciudad, de acuerdo al censo arbóreo realizado en el año 2017 y 2018.

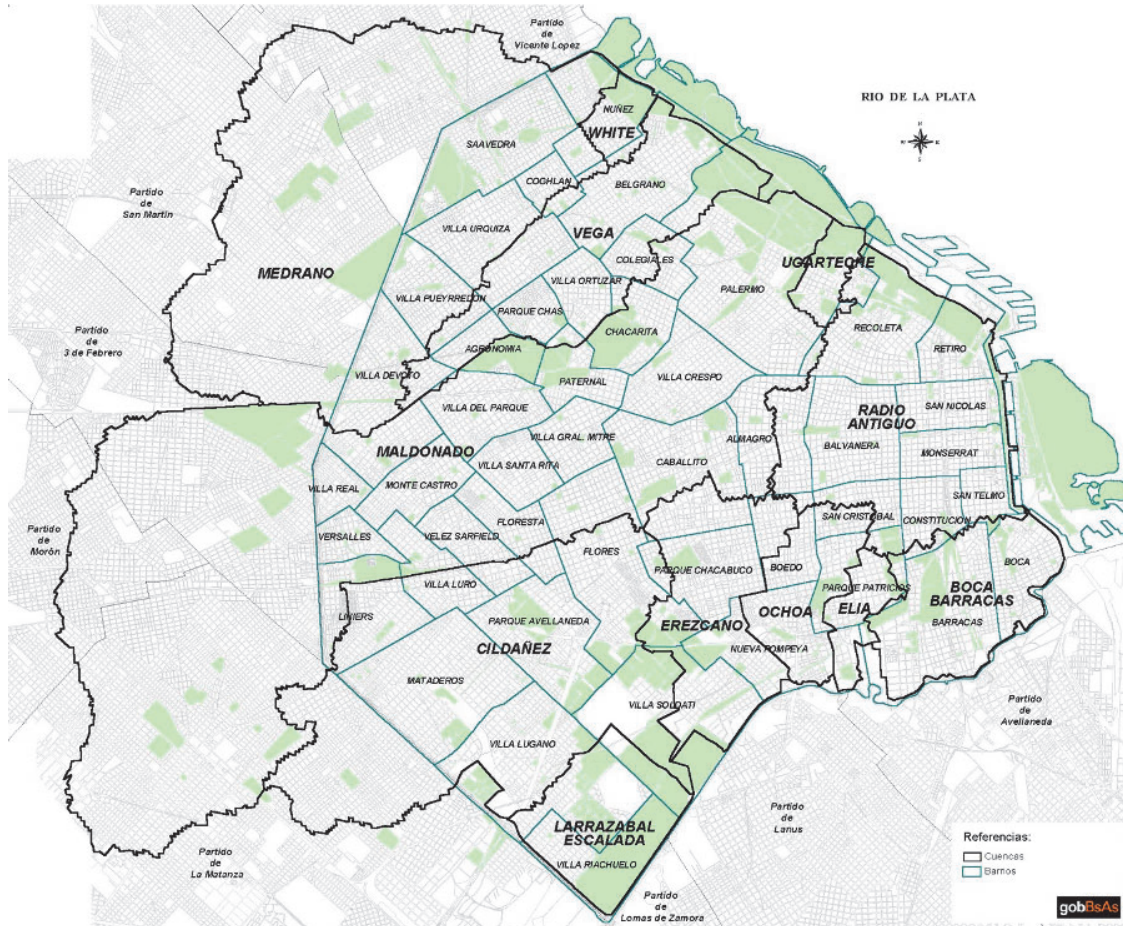


Imagen N° 16. Ubicación de los espacios verdes en CABA. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006.

En relación a la infraestructura de tránsito y transporte de la Ciudad de Buenos Aires, en la cuenca Radio Antiguo se destaca el importante tránsito de colectivos por tratarse de un área central (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006).

4.3. Sistema de Desagües Pluviales

A principios del siglo XX la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se dividía en dos grandes áreas: el Radio Nuevo y el Radio Antiguo o de Bateman. Este último abarca las obras proyectadas por el Ing. Bateman (1871-1872) y realizadas entre 1873 y 1905 en un área de más de 2400 ha, cuyos límites se observan en la imagen 17. La cuenca cuenta con un desagüe de agua pluvial en las mismas canalizaciones que el desagüe de aguas servidas, denominándose al mismo como sistema combinado, sistema unitario o sistema pluvio-cloacal. En algunas partes del Radio Antiguo las canalizaciones pluviales y cloacales son enteramente separadas por razones topográficas, pero esta característica no ocurre en el distrito 15, es decir en el barrio porteño de San Telmo - área de intervención del proyecto -, sino que ocurre en los distritos 24, 25, 27 y 31 y en el distrito 30 de la cuenca Boca y Barracas (Vela Huergo, 1936).



Imagen N° 17. Plano de Radio Antiguo y Radio Nuevo. Fuente: Vela Huergo (1936).

Las obras del Radio Antiguo se encuentran caracterizadas y determinadas por la topografía, es decir las distintas depresiones, valles y cauces naturales que existían originalmente, tal como fue desarrollado *ut supra*. El agua de las lluvias llegaba al río al escurrir por las calles, las cuales en algunos casos llegaban a tener varios metros de profundidad. Gracias a las obras de desagües, pudo comenzar en 1880 la pavimentación de las mismas y canalizarse los arroyos “Terceros”.

Tal como lo expresa Vela Huergo (1936), el ingeniero Juan Federico La Trobe Bateman en la Exposición de París de 1878 indicó que la Ciudad se hallaba expuesta a fuertes lluvias, citando que en marzo de 1870 cayeron 36 mm por hora y en diciembre de 1867 53 mm por hora en ciertos momentos de la tormenta (imagen 18). Debido a dichos valores, considerados en la época de gran magnitud, se planteó la necesidad de movilizar el agua pluvial conjuntamente a la cloacal así como elevar mecánicamente las mismas. Esto conllevó al diseño de las canalizaciones del sistema combinado.

FECHAS	CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACION		
	DURACION horas	PRECIPITACION TOTAL m. m.	INTENSIDAD m.m./hora
1861 agosto 3	24	51	2.1
1862 febrero 1	27	77	2.8
1862 junio 4	2.5	43	17.2
1863 enero 4	4.1	53	13
1864 abril 3	9	73	8.1
1865 agosto 6	6.5	60	9.2
1866 mayo 4	11	58	5.3
1867 diciembre 29	0.75	40	53.3
1868 agosto 13	3	36	12
1869 enero 11	1	22	22
1870 marzo 31	4	145	36.2

Imagen N° 18. Datos de precipitación del año 1877. Fuente: Vela Huergo (1936).

El sistema cuenta con cloacas colectoras (imagen 19) con agua servida y de lluvia, las cuales convergen en las cámaras reguladoras (imagen 22). Estas últimas se encuentran ubicadas en los puntos más bajos de cada distrito, y en las mismas ocurre la separación de dichos fluidos. Por un lado, los caudales que corresponden a precipitaciones que exceden los 6 mm en 24 horas se derraman en los conductos de tormenta, que salen de la parte inferior de la cámara reguladora. Por otro lado, el líquido cloacal, con la parte de agua de lluvia que no excede dicho caudal, pasa al ramal o cloaca interceptora (imagen 20). Los distintos ramales interceptores que salen de las cámaras reguladoras junto con las interceptoras maestras o ramales de máxima (imagen 21) convergen en la cloaca máxima. La mayor parte de las cloacas interceptoras secundarias o ramales interceptores se encuentran ubicados debajo de los conductos de tormenta formando un solo cuerpo con ellos (véase figura 25). Las conexiones de las cloacas domiciliarias se encuentran formadas por cañerías de material vítreo de 152 mm de diámetro. En las intersecciones de los ejes de las calles se dispusieron bocas de registro y ventilación de forma circular (Vela Huergo, 1936).

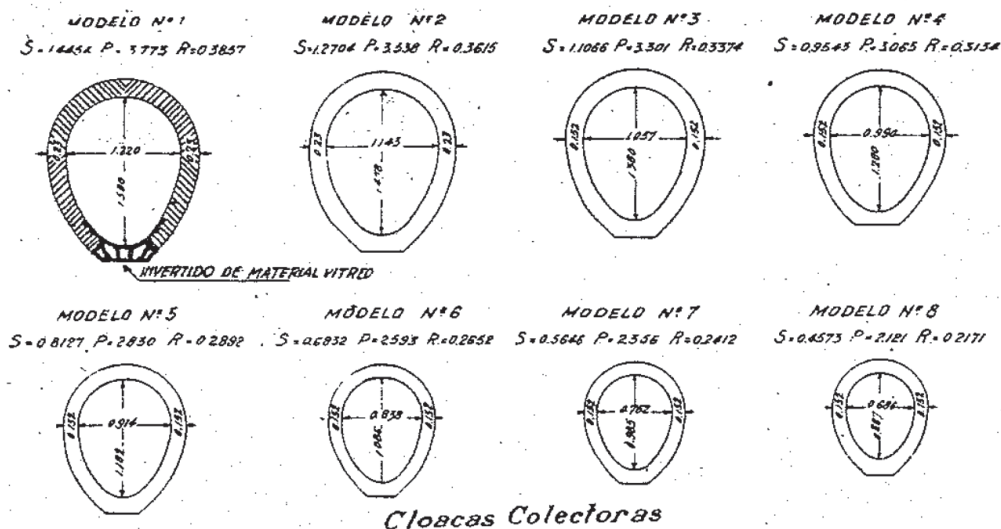


Imagen N° 19. Tipos, elementos geométricos e hidráulicos de cloacas colectoras. Fuente: Vela Huergo (1936).

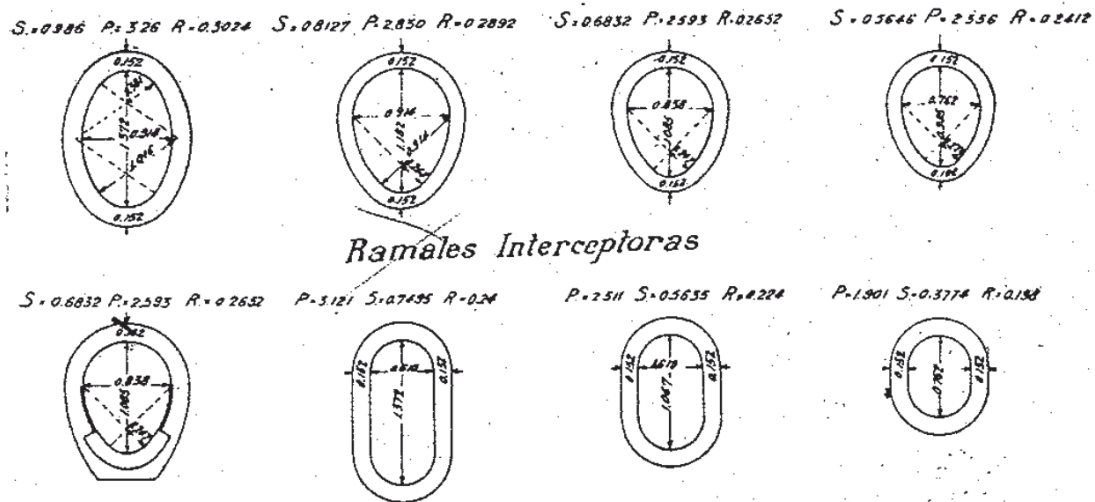


Imagen N° 20. Tipos, elementos geométricos e hidráulicos de cloacas interceptoras. Fuente: Vela Huergo (1936).

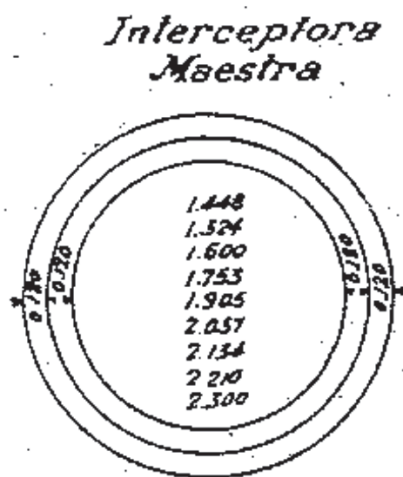


Imagen N° 21. Tipo de interceptor maestra. Fuente: Vela Huergo (1936).

4.3.1. Cámaras reguladoras

Las cámaras reguladoras o aliviadoras del Radio Antiguo están conformadas por ramales de entrada y de salida, en la figura 22 se muestran las vistas en corte y en planta de las mismas. En la parte superior ingresan por tres lados las cloacas colectoras (denominadas c1, c2 y c3 en la imagen), las cuales atraviesan unas bateas de hierro fundido (b) que se sitúan en su prolongación. De estas últimas desborda el líquido que excede la capacidad del conducto, y cae en la cloaca interceptora (c.i.) presente en la zona inferior de la cámara. Las cloacas colectoras del Radio Antiguo fueron calculadas considerando el transporte del efluente cloacal y del agua pluvial correspondiente a una precipitación de 38 mm de intensidad horaria, sobre el área tributaria. De esta forma, en la cloaca interceptora convergen: el máximo efluente de agua cloacal del área servida y el agua pluvial que proviene de una lluvia de intensidad inferior a la indicada anteriormente (Vela Huergo, 1936).

Las cámaras reguladoras cuentan a su vez con una válvula (v) en la boca del caño vertical de comunicación con la interceptora, para poder regular la cantidad de agua cloacal que difiere de

una cámara a la otra de acuerdo a la desigualdad de áreas de los distintos distritos. Esta válvula pasa el agua pluvial excedente, en caso de lluvias intensas, al conducto de tormenta (t) situado también en la zona inferior de la cámara reguladora.

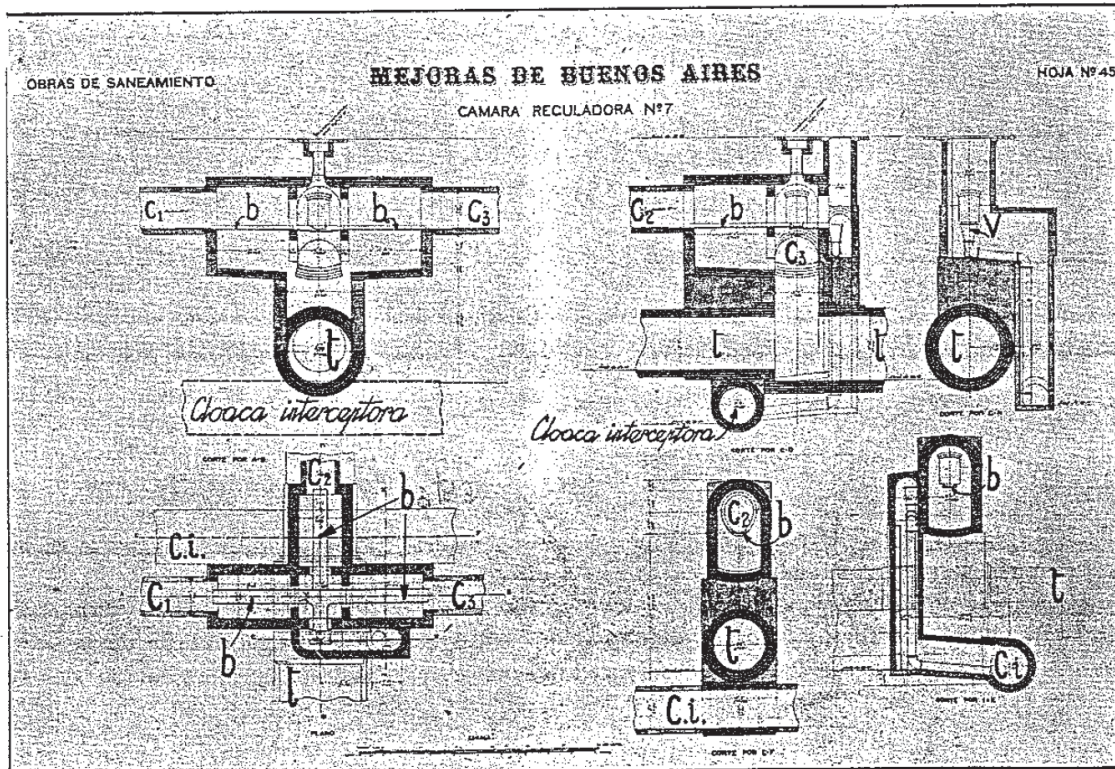
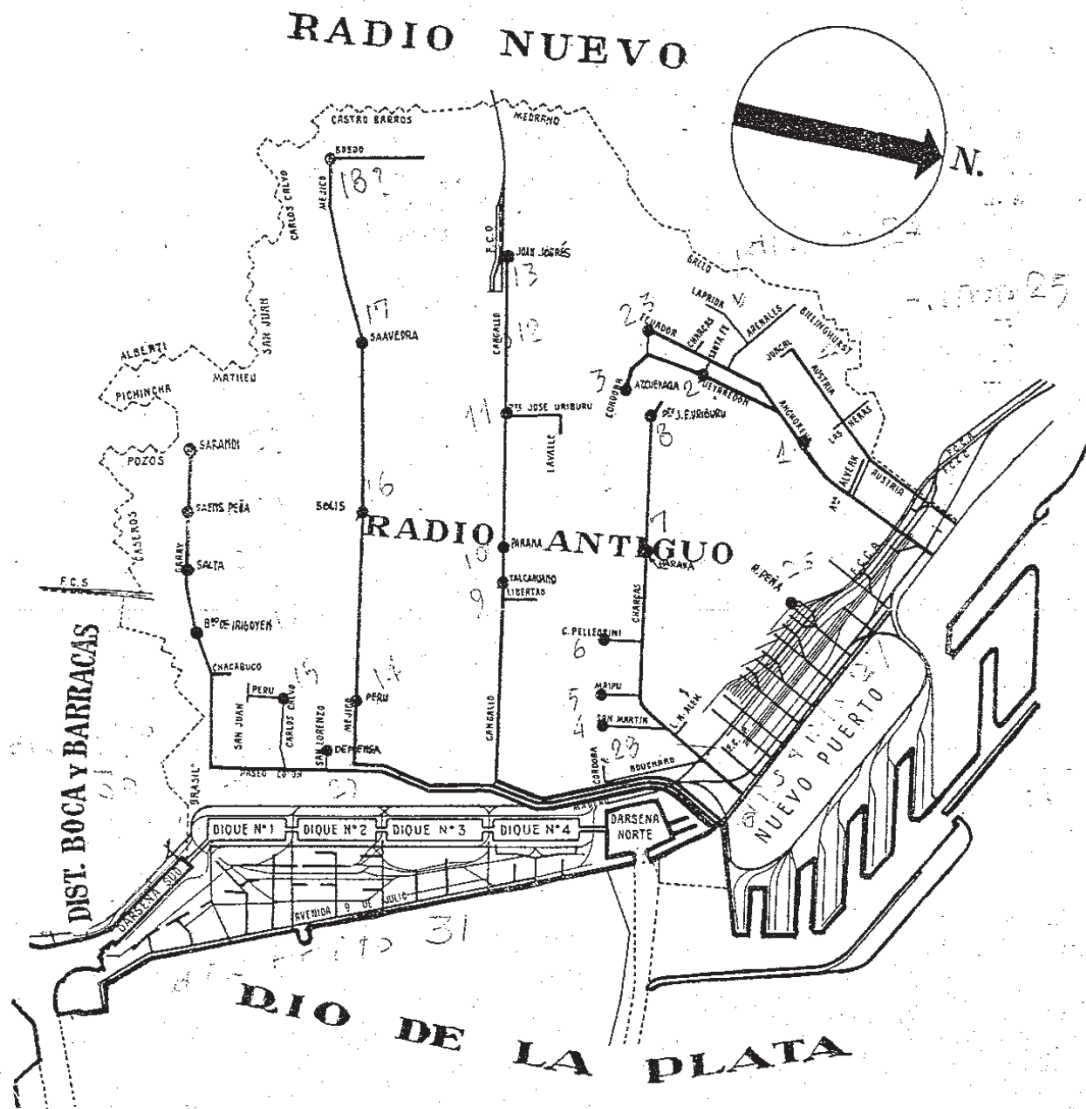


Imagen N° 22. Vistas en corte y planta de una cámara reguladora estándar del Radio Antiguo. Fuente: Vela Huergo (1936).

Las distintas cámaras reguladoras comparten el principio de funcionamiento indicado anteriormente, difiriendo entre sí por las circunstancias locales: profundidad, número y dimensiones de las canalizaciones, etc. En la Ciudad existían 31 cámaras reguladoras, que determinaban los distintos distritos, tal como se aprecia en el plano de la imagen 23. El presente proyecto se sitúa en el área cercana a la cámara N° 15.

El punto de trasvase entre ambos sistemas, cloacal y pluvial, es la cámara reguladora o aliviadora.



DESAGÜES PLUVIALES DEL RADIO ANTIGUO

Referencias: — Conductos de tormenta • Camareros reguladoras.

Imagen N° 23. Plano de desagües pluviales del Radio Antiguo a principios del siglo XX. Fuente: Vela Huergo (1936).

4.3.2. Conductos de tormenta y sistema de desagüe

La mayor parte de la escorrentía pluvial del Radio Antiguo es llevada a través de los conductos de tormenta al Río de la Plata, tal como se observa en el plano de la imagen 23. Originalmente en el proyecto de 1870 se consideraron nueve conductos de tormenta, que fueron ampliados notablemente con el pasar de los años (Vela Huergo, 1936).

Tal como se indicó anteriormente, los conductos de tormenta fueron diseñados para contar con el caudal que excede a una lluvia de 38 mm/hora, lo que se traduce en un caudal de 300 m³/s. En las memorias del Ing. Bateman destinadas a la Exposición de París de 1878 indicó "Rara o

ninguna vez se ha visto en la historia del mundo construir obras para el desagüe de una ciudad tan colosales como estas, que reunidas podrán desaguar más agua que la que llevan la mayor parte de lo río de Europa” (Vela Huergo, 1936). Los conductos de tormenta proyectados fueron 5 principales y el resto afluentes o ramales menores. Originalmente fueron construidos para desaguar en la playa frente a la Ciudad, pero luego fueron construyendo colectores que permitieran llevar el agua a lugares más alejados donde no produjeran inconvenientes. En 1895 se construyó un gran conducto que corre de Sur a Norte y sirve de emisario a los tres primeros conductos (imagen 23). Este colector general cuenta con tres galerías que podían conducir un caudal de hasta $132 \text{ m}^3/\text{s}$ en su conjunto (imagen 24).

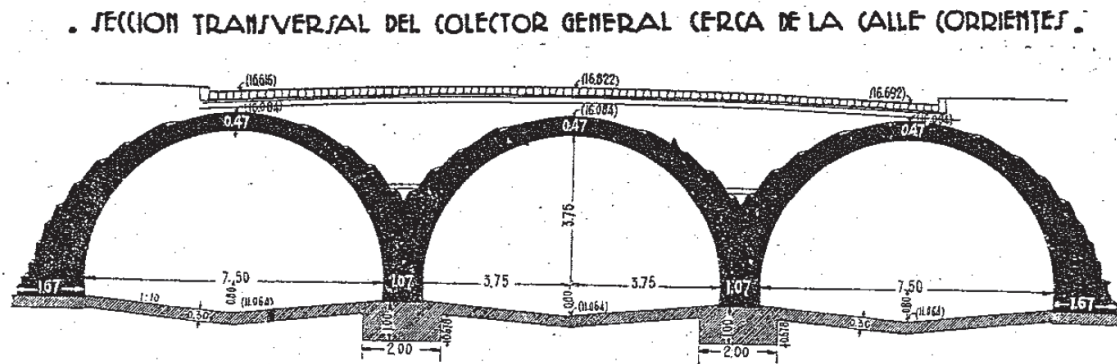


Imagen N° 24. Sección transversal de colectora general de los conductos de tormenta. Fuente: Vela Huergo (1936).

Los conductos de tormenta principales fueron construidos en túnel, con hormigón hidráulico y llaves de ladrillo. Cuentan con un ancho de 4.27 m, un alto de 3.66 m y un espesor de 0.36 m. Las características constructivas de los mismos se pueden observar en la imagen 25, en el cual el conducto se encuentra formando un mismo cuerpo con la cloaca interceptora. Dichos conductos cuentan con bocas de entrada a cierta distancia y “respiraderos” para permitir el escape de aire en caso de inundación. La longitud total de los conductos de agua pluvial en el Radio Antiguo, incluyendo el colector general y los conductores menores, era de más de 49 km (Vela Huergo, 1936).

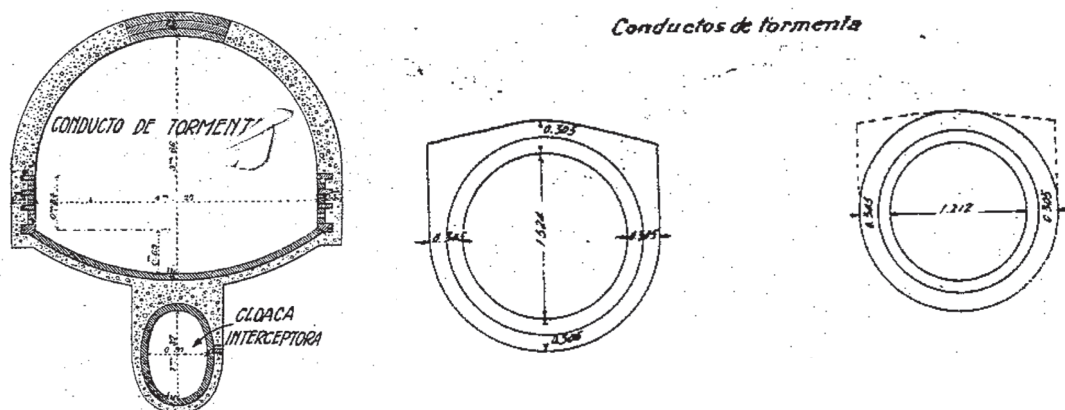


Imagen N° 25. Sección de conductos de tormenta principales (izq.) y menores (der.). Fuente: Vela Huergo (1936).

En el año 1918 ya se contaba con el proyecto general de desagüe de las aguas pluviales de la ciudad de Buenos Aires que incluía, en adición a la construcción de las redes del Radio Nuevo,

la ampliación de la red del Radio Antiguo y modificación en las canalizaciones de provisión de agua y alcantarillado de aquellas afectadas por el trazados.

4.3.3. Bocas de tormenta

El funcionamiento de las bocas de tormenta o sumideros en el Radio Antiguo responde al usual: el agua que corre por la calzada de las calles entra a la red a través de los sumideros de agua distribuidos profusamente. Sin embargo, en el caso de la red unitaria los efluentes cloacales ingresan a la red cloacal mediante una comunicación por una cañería de 152 mm de diámetro mediante un sifón (Vela Huergo, 1936). En la imagen 26 se observa un corte transversal donde se identifica el largo de los sumideros de 0.91 m y una profundidad de 7.30 m.

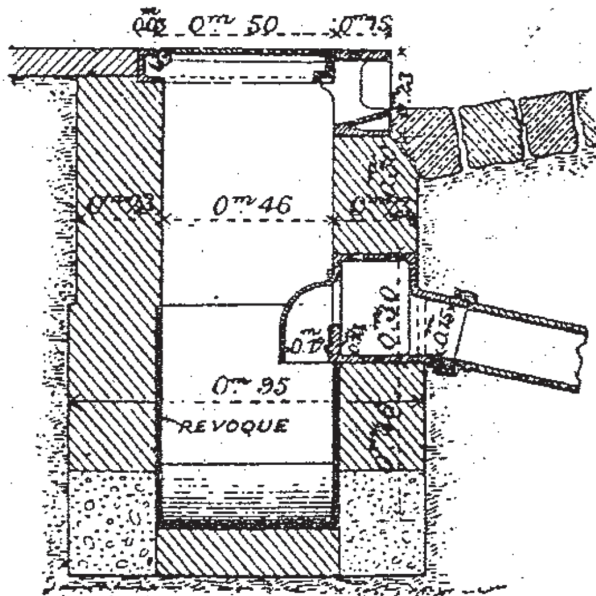


Imagen N° 26. Sección transversal de sumideros. Fuente: Vela Huergo (1936).

4.3.4. Funcionamiento

Las colectoras unitarias del Radio Antiguo fueron realizadas de acuerdo a los parámetros fijados por el Ing. Bateman en la década de 1870. El funcionamiento indicado anteriormente para las distintas unidades fue el previsto de acuerdo a las condiciones de diseño. Las mismas cumplieron cierto tiempo, de acuerdo a la ingeniería del momento y el régimen de las lluvias. Sin embargo, ya en Vela Huergo (1936) se indica que dichas condiciones quedaron alteradas de forma que, por ejemplo, en un día lluvioso, los operarios debían concurrir a cerrar la comunicación entre la cámara reguladora y la cloaca interceptora, de forma que el líquido pase a los conductos de tormenta durante el evento de precipitación. Este indeseado funcionamiento fue debido al aumento del escurrimiento superficial causado por la transformación de los pavimentos y aumento de la edificación, así como a discrepancias entre el diseño y la materialización del proyecto. De hecho, la capacidad de muchas cloacas colectoras alcanzaban para una intensidad de una lluvia de 20 a 25 mm/hora, mientras que las bases del proyecto establecían una capacidad de hasta 38 mm/hora (Vela Huego, 1936).

Las consecuencias de esto fueron las inundaciones de los edificios, así como el desborde casi continuo del líquido cloacal en las bateas de las cámaras reguladoras, lo que generaba el traspaso a los conductos de tormenta con poca dilución. A principios de siglo XX esto llevaba a una marcada pestilencia en el área del Radio Antiguo, que sin embargo fue paliada gracias a las



obras complementarias del área proyectadas en el año 1918, las cuales incluyeron la realización de un colector general de los conductos de desagüe de la zona Este del Puerto y la construcción de canales aliviadores de los conductos de tormenta, para subsanar en lo posible las deficiencias de funcionamiento de la red combinada que fueron indicados (Vela Huego, 1936). Posteriormente, en 1937 se concluyeron otras obras complementarias del Radio Antiguo, que incluían la obra del Colector General de los conductos pluviales que corrían por la zona de Recoleta y cuenca de Ugarteche (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018). Durante el siglo XX y XXI se llevaron a cabo distintas obras de infraestructura para poder asegurar la eficiencia. Sin embargo, el principio de funcionamiento continúa siendo el indicado en las secciones anteriores. La infraestructura existe y continúa funcionando perfectamente (independientemente de la capacidad de los mismos).

Cabe destacar que en la actualidad, casi un siglo después, la impermeabilización del área es máxima, así como el efluente cloacal es ampliamente mayor al proyectado a fines del siglo XIX. En efecto, el proyecto del Radio Antiguo realizado en 1871 cuando vivían en la ciudad 180,000 personas, no había considerado la posibilidad de que a los cuarenta años de esa fecha los habitantes del área superaran con holgura los 400,000 habitantes previstos (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018), y mucho menos los más de 3,000,000 de habitantes existentes en la Ciudad hoy en día. Este crecimiento de la población, el cual también se traduce al Radio Antiguo, tiene como consecuencia el aumento de la dotación de agua per cápita lo que implica el aumento en el efluente cloacal por habitante. Estas causas, sumadas a la marcada recurrencia de los eventos extremos de lluvia, tal y como se explicó en el capítulo 1, conlleva a un aumento notable de la escorrentía superficial. De esta forma, el sistema pluvio-cloacal se encuentra trabajando a sección llena, es decir constantemente colapsado.

4.3.5. Situación actual

Como se ha señalado, continúa existiendo la infraestructura construida a principios del siglo XX. En la actualidad, la cuenca Radio Antiguo cuenta con una cobertura de drenaje completa. Esto significa que la totalidad del área cuenta con sistema unitario pluvio-cloacal. Dicho sistema se vincula con la red de desagües mediante 22 cámaras reguladoras que descargan el excedente pluvial del sistema combinado durante los eventos de precipitaciones en los que se supera una intensidad de aproximadamente 6 mm en 24 horas (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). Dicha descarga es realizada, junto con las conexiones laterales, a cinco colectores principales los cuales posteriormente vuelcan al Río de la Plata, en un sitio cercano a la Dársena Norte.

A diferencia de las demás cuencas dentro de la ciudad, los trayectos de estos cinco colectores no siguen la topografía del terreno, es decir el curso de los tres valles presentes en el área. Uno de los aspectos distintivos de los colectores principales del Radio Antiguo es que, si bien cuentan con una dirección inicial de Oeste a Este, al llegar a la intersección de las avenidas Paseo Colón y Eduardo Madero, cambian su orientación hacia el sentido de Sur a Norte, dirigiéndose así hacia el punto final de descarga en la Dársena Norte. Estos cinco colectores principales son: Garay, México, Perón, Marcelo T. De Alvear y Puerto. Los arroyos existentes y los conductos de desagües se pueden visualizar a continuación. El primero de los colectores generales (Garay) se encuentra ubicado en el barrio porteño de San Telmo, área de intervención. De esta forma, el agua pluvial de la cuenca en estudio desemboca en el Colector General de Desagües 1, presente desde el siglo XX, el cual finaliza en Retiro y vuelca sus aguas en el río.

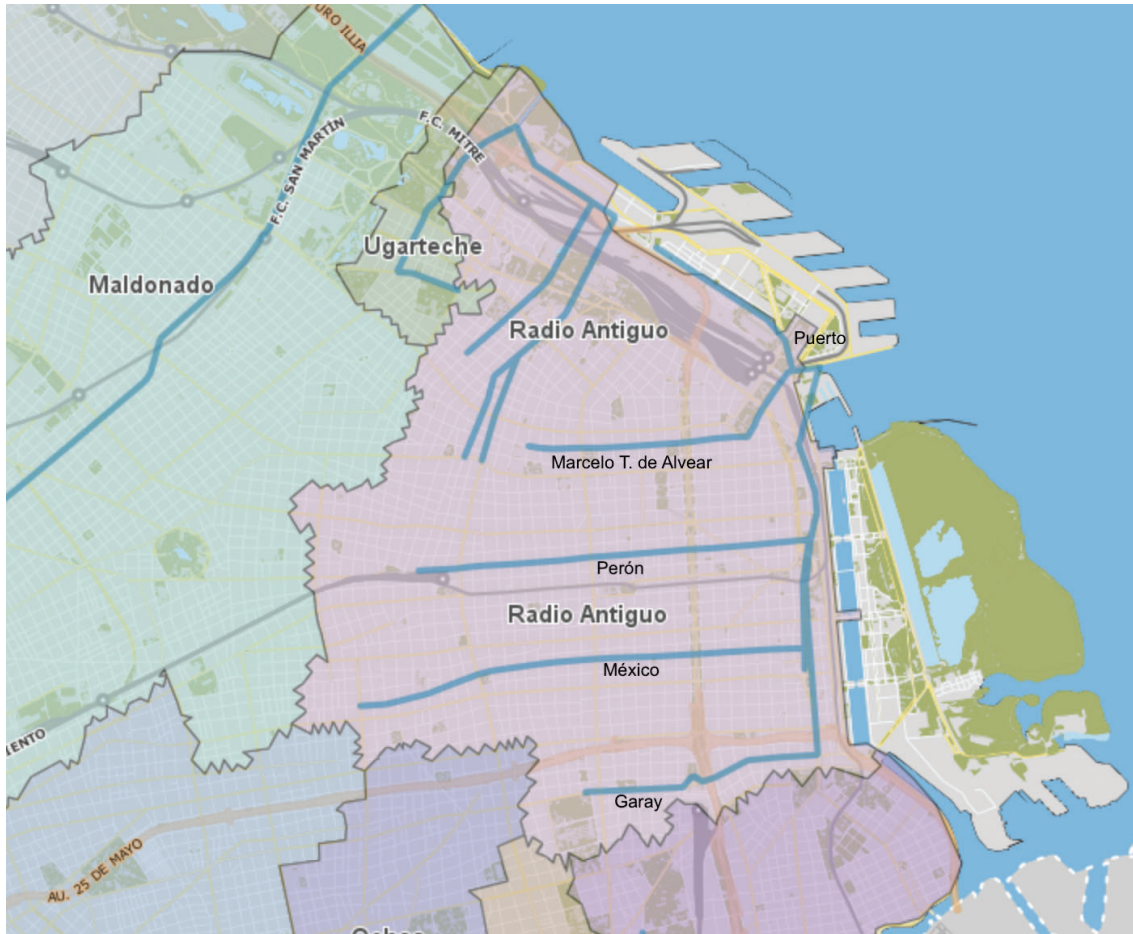


Imagen N° 27. Vista del Radio Antiguo con arroyos actuales. Fuente: [Mapa Interactivo de Buenos Aires](#).

En la imagen 28 puede observarse la cobertura de la red pluvial en la cuenca de estudio.



Imagen N° 28. Cobertura red pluvial del Radio Antiguo. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006.

Los conductos pluviales en el Radio Antiguo varían el diámetro entre 300, 400, 500, 600, 700, 800 (principalmente), 900, 1000, 1100 y 1200 milímetros. Sin embargo, son considerados como principales aquellos que cuentan con un DN a partir de 500. En la Av. San Juan se cuenta con al menos dos sumideros por cuadra y un escurrimiento en calzada que desagua en el conducto pluvio-cloacal cercano. Del otro lado de Av. Paseo Colón se encuentra una cañería de diámetro 800 que recolecta el pluvial de la sección hasta Alicia Moreau de Justo. Se trata de un área que no ha contado con prácticamente intervenciones desde el siglo XIX y principios del siglo XX. Si bien cuenta con proyectos de modificaciones, no se ha realizado ninguna obra al respecto. El motivo principal es que se trata de una cuenca que presenta bajo riesgo hídrico en comparación con las otras. Más allá de esto, cuenta con zonas inundables y que presentan en la actualidad problemáticas como la entrada de agua a los subterráneos.

En la actualidad, y a los fines de la modelación realizada en el presente trabajo, la Av. San Juan en el área de intervención - y la zona circundante - cuenta con los conductos pluviales indicados en la imagen 29.

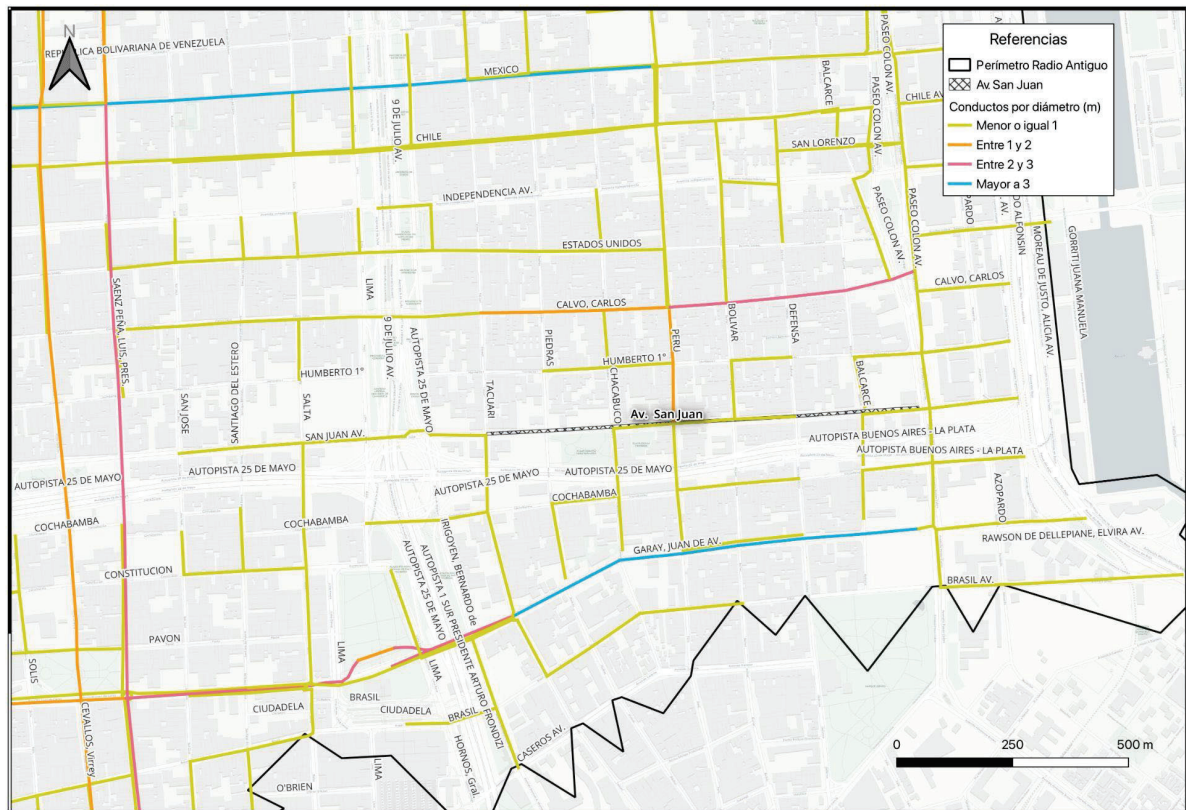


Imagen N° 29. Conductos en área de intervención. Fuente: elaboración propia.

El destino del desagüe pluvial en los distritos altos del Radio Antiguo (como es el caso del barrio de San Telmo) es para patios bajos y subsuelos obligatorio a cloaca, mientras que para patios altos, terrazas y techos es obligatorio a calzada. En los distritos bajos del Radio Antiguo (24, 25, 27, 30 y 31 o puerto) el agua de lluvia tiene un desagüe en general a calzada, donde escurre hasta el sumidero más cercano (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2020).

De acuerdo al Plan Director realizado en el año 2006, la densidad de la red de desagües de la cuenca Radio Antiguo es de 40 m/ha. En dicho estudio, no se ha identificado a la zona de intervención como un área crítica, es decir con problemas como consecuencia de las inundaciones correspondientes a eventos de tormentas de 2, 10 y 100 años de recurrencia. A continuación se presenta la mancha de inundación correspondiente a 100 años de recurrencia. Se observan algunas ubicaciones con áreas críticas y manchas de inundación, sin embargo se trata de zonas pequeñas y aisladas - para el caso de áreas críticas - por lo que no se consideró como un rasgo predominante a tener en cuenta. La afectación de esta área es muy localizada, de escasa profundidad y corta duración. Para los otros años de recurrencia no se presentan inundaciones. Como se ha explicado anteriormente, el riesgo hídrico es bajo, lo cual no quita que sucedan eventos de inundaciones en la cuenca y en las zonas más bajas.

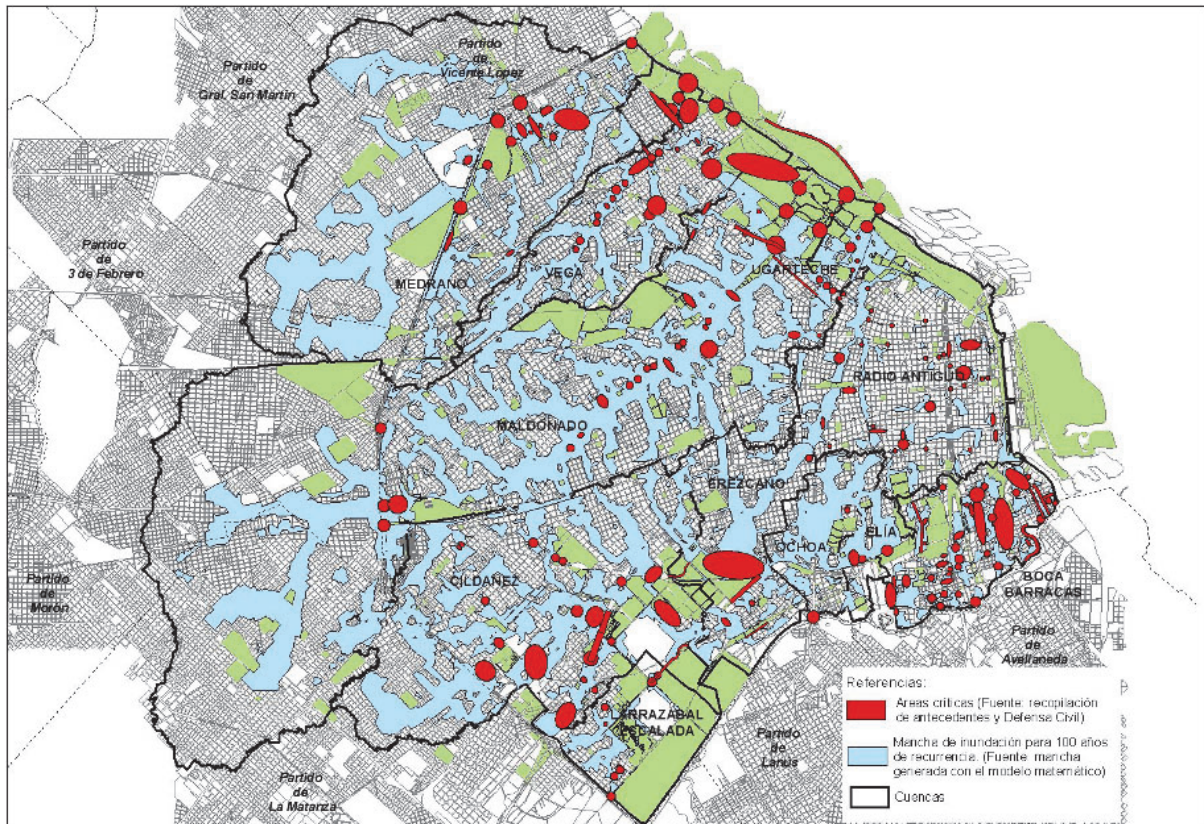


Imagen N° 30. Áreas críticas de la ciudad y mancha de inundación para una frecuencia de 100 años. Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006.

De acuerdo a dicha fuente, en el año 2006 se ha observado un buen funcionamiento del sistema de captación en superficie debido a las características del sistema de desagües del Radio Antiguo, es decir a la alta capacidad de conducción de los conductos principales y a sus elevadas tapadas. Por este motivo, los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del terreno natural para tormentas de 2 años de frecuencia. De todas formas, en sectores localizados de la cuenca existen deficiencias de conducción para eventos superiores a 5 años de frecuencia. Este hecho determina la acumulación de agua en superficie en los sectores indicados en el mapa anterior (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). Más allá de este punto, el sistema se encuentra trabajando a sección llena y por lo tanto colapsado. Esto no se suele traducir en inundaciones ni consecuencias físicas ya que se trata de una zona de barranca con alta pendiente. Esto genera que el escurrimiento superficial sea alto, de forma que los desbordes de los conductos escurren en calle. A su vez, cuenta con conductos de sección ovoidal, lo cual se traduce en una ventaja debido a la eficiencia de la sección de escurrimiento.

4.4. Otros servicios

Para realizar un correcto diagnóstico y describir el sistema se estudiaron las interferencias de otras redes de servicio presentes en la zona. La zona de intervención cuenta con red de agua potable (AYSA), señales débiles como teléfono e internet, gas (Metrogas) y luz a cargo de la prestataria Edesur.

En relación a la red de gas, la zona de intervención cuenta con baja presión (0.22 bar) en prácticamente la totalidad de la traza hasta Av. Paseo Colón, siendo el tramo entre Paseo Colón

y Azopardo con media presión (1.5 bar). La cañería de baja presión es de hierro fundida y cuenta con un diámetro de 10". Este servicio se encuentra en vereda de ambas manos de la calle. La ubicación de la red se encuentra presente en la imagen A.1 del Anexo.

La zona de intervención cuenta con red subterránea de baja y media tensión, con cables a profundidades variables entre 0.6 y 1.5 m, y redes subterráneas de telecomunicaciones, con profundidades entre 0.9 y 1.5 m. Este servicio se desarrolla en la vereda. El área no cuenta con redes de alta tensión. En el Anexo se encuentran los esquemas de sus ubicaciones (imágenes en anexo A.2 de baja tensión, A.3 de media tensión y A.4 telecomunicaciones).

4.5. Calidad de agua

De acuerdo a los análisis realizados para el Plan Director del año 2006, la calidad del agua de los conductos pluviales de la Capital Federal cuenta con presencia de la bacteria *E. Coli*, que implica presencia de contaminación fecal, y los sólidos sedimentables en 2 horas y detergentes sobrepasan los límites permitidos. En algunas cuencas en particular, pero no se trata de nuestra cuenca de estudio, se han encontrado trazas de metales pesados, valores extremadamente altos de DQO, DBO e hidrocarburos, así como presencia de detergentes y contaminación bacteriológica. Otra bibliografía confirma la presencia de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli* en las muestras de calidad de agua pluvial (Brignoli, 2017; Gravito, 2015).

Como se ha señalado anteriormente, en el capítulo 1 y capítulo 3 - sección 3.1.3 -, la contaminación difusa generada por la escorrentía urbana es una problemática de interés. Sin embargo, la calidad del agua pluvial que genera dicha contaminación no es constante y varía en función del material a través del cual fluye (Brignoli, 2017; Gravito, 2015). No solo los datos de calidad de agua pluvial son difíciles de generalizar por lo indicado anteriormente, sino que dependen del área de intervención: la información obtenida en una región geográfica no es igualmente aplicable a otra región (Maza et al., 2005).

Por este motivo, al no contar con análisis fisicoquímicos del agua pluvial del área de intervención, no es posible realizar un diagnóstico preciso y efectivo de la calidad del agua de la cuenca ya que no existen caracterizaciones extrapolables de otras áreas. Se trata de un área que no se encuentra ampliamente desarrollada, por lo que se toman de referencia otros estudios de calidad de agua.

A continuación se presentan los valores obtenidos de búsquedas bibliográficas. En la tabla A.5 se presenta la información completa.

Tabla N° 1. Valores de calidad de agua

Parámetro	Mitchell (2005)	Leisenring et al. (2014)	Maza et al. (2005)	Brignoli (2017)	Gravito (2015)
SST (mg/l)	85.1	48.7	-	-	4.82
Sólidos disueltos tot (mg/l)	-	-	-	154	-
Cd (µg/l)	2.2	0.3	-	-	-
Cu (µg/l)	39.5	10.9	57.3	-	-
Zn (µg/l)	229.5	55.9	165	-	-
Ni (µg/l)	22.6	4.6	-	-	-



Parámetro	Mitchell (2005)	Leisenring et al. (2014)	Maza et al. (2005)	Brignoli (2017)	Gravito (2015)
N _{total} (mg/l)	5	-	-	-	1.25
NO ₃ (mg/l)	-	-	9.86	< 45	-
NO ₂ (mg/l)	-	-	-	< 0.1	-
Cr (mg/l)	-	-	0.63	-	-
Cl (mg/l)	-	-	21.70	-	-
Ba (mg/l)	-	-	0.21	-	-
Mg (mg/l)	-	-	5.71	19.26	-
P (mg/l)	-	-	-	-	0.41
Sulfatos (mg/l)	-	-	-	3.19	-
Aceites (mg/l)	2 - 25	-	-	-	-
HPT* (mg/l)	-	-	0.90	-	-
Alcalinidad (mg/l)	-	-	-	44.80	-
Dureza total (mg/l)	-	-	-	45.7	-
Dureza cálcica (mg/l)	-	-	-	22.85	-

Fuente: elaboración propia.

Notas: se han tomado promedios entre distintos eventos de lluvia evaluados en la bibliografía de referencia así como entre las distintas zonas de escurrimiento (residencial, comercial, espacio abierto urbano y desarrollado). En el anexo se presentan los valores completos. (*) HPT = Hidrocarburos parafínicos totales.

La bibliografía utilizada es:

- Mitchell (2005) fue tomado de "The SUDS Manual" (Woods Ballard et al., 2015), se trata de una base de datos del Reino Unido sobre la calidad del agua en pequeñas cuencas urbanas.
- Leisenring et al. (2014) fue tomado asimismo de "The SUDS Manual" (Woods Ballard et al., 2015), se trata de información resumida de la base de datos de BMP (*Best Management Practices*) de aguas pluviales de EE. UU.
- Maza et al. (2005) es un trabajo de simulación del escurrimiento pluvial en un área urbana de Mendoza, Argentina.
- Brignoli (2017) es un trabajo final de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) que analiza la calidad del agua de lluvia en el partido de Berisso, Provincia de Buenos Aires.
- Gravito (2015) es un trabajo final de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes que caracteriza la escorrentía de aguas pluviales sobre distintas superficies dentro de dicha Universidad, Bogotá, Colombia.

4.6. Modelo hidrológico actual

4.6.1. Generalidades del Modelo

Se utilizó la ecuación de onda dinámica (*Dynamic Wave*) para el modelo (*Routing Model*) debido a que presenta una mayor complejidad de los otros modelos (véase ecuaciones 5 y 7, Marco Teórico sección 3.5.4). Se utilizaron los siguientes parámetros para el intervalo de tiempo y para la ecuación de onda dinámica:

Tabla N° 2. Opciones generales de modelación

Intervalos de Tiempo	
Intervalo de informe	1 min
Intervalo de escorrentía Tiempo seco	1 día 1 min
Intervalo de escorrentía Tiempo mojado	1 min
Intervalo de enrutamiento	1 sec
Períodos de flujo constante	
Tolerancia de flujo del sistema	5%
Tolerancia de flujo lateral	5%
Onda Dinámica	
Términos inerciales	Dampen
Criterio de flujo normal	Pendiente y Froude
Ecuación de la tubería de impulsión	Hazen - Williams
Método de sobrecarga	Extran
Usar intervalos de tiempo variables ajustados por:	75%
Intervalo de tiempo variable mínimo	0.5 sec
Intervalo de tiempo con alargamiento de conducto	0.5 sec
Área de superficie nodal mínima	12.557 m ²
Tolerancia de convergencia de cabeza	0.005 m
Número máximo de intentos por intervalo de tiempo	20

Fuente: elaboración propia.

En la confección del modelo hidrológico se utilizó de referencia los lineamientos y criterios de diseño empleados por el área de proyectos hidráulicos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA, 2020a).

4.6.2. Datos y diseño del Modelo

Se utilizaron los datos de la lluvia de diseño propuesta por la firma CH2M para el Plan Maestro de Drenaje Urbano (PMDU) de la Cuenca del Arroyo Medrano publicado en el año 2019 (CH2M Hill Argentina, 2019). Se adoptó una serie de trabajo de la estación del Observatorio Central Buenos Aires, asumiendo que tal serie resulta más representativa de los eventos de diseño en el presente proyecto, de forma de calibrar el modelo con un evento de lluvia real.

A continuación se presenta el hietograma utilizado para la modelación en SWMM con la precipitación y duración en el tiempo para los distintos períodos de retorno considerados. Para las precipitaciones se utilizó la Estación Villa Ortúzar para la serie 1961 - 2016 del Servicio Meteorológico Nacional. Se destaca que el valor pico se presenta a los 29 minutos de iniciada la lluvia. Los datos de base pueden observarse en la tabla A.6, así como la información completa de la relación precipitación - duración - recurrencia en la tabla A.7.

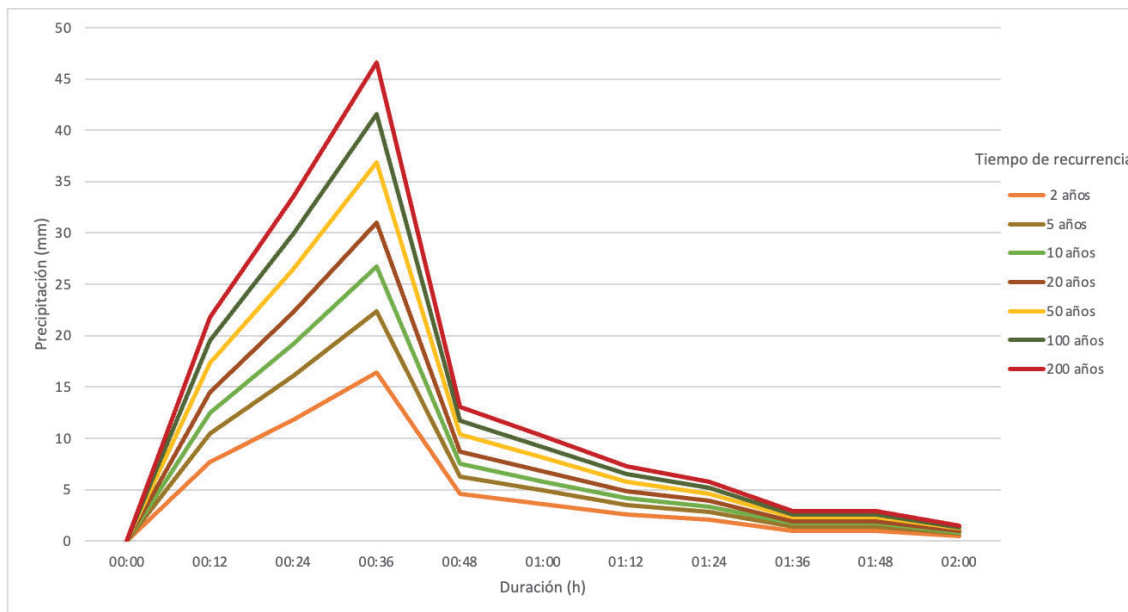


Imagen N° 31. Hietograma para los distintos tiempos de recurrencia. Fuente: elaboración propia en base a lluvia de diseño.

A partir de los datos provistos del patrón de lluvias para la cuenca en estudio, se calcularon las intensidades medias (mm/h) (tabla A.8) para cada duración y período de retorno según:

$$Intensidad \text{ (mm/h)} = \frac{A}{(D \text{ [min]} + B)^C} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde I es la intensidad media correspondiente a una duración D (minutos) y un tiempo de recurrencia t (años) y A, B y C son los parámetros correspondientes para cada tiempo de recurrencia. Dichos parámetros se presentan en la tabla 3.

Tabla N° 3. Parámetros para curvas IDF

	A	B	C	r
2 años	947.59	8.26	0.75	0.99
5 años	1377.09	9.01	0.76	0.99
10 años	1677.71	9.02	0.77	0.99
20 años	2082.32	9.37	0.78	0.99

50 años	2891.08	10.57	0.81	0.99
100 años	3458.80	10.57	0.83	0.99

Fuente: elaboración propia en base a CH2M Hill Argentina (2019).

Con estos resultados se trazaron las curvas IDF, como se muestra en la siguiente figura 32.

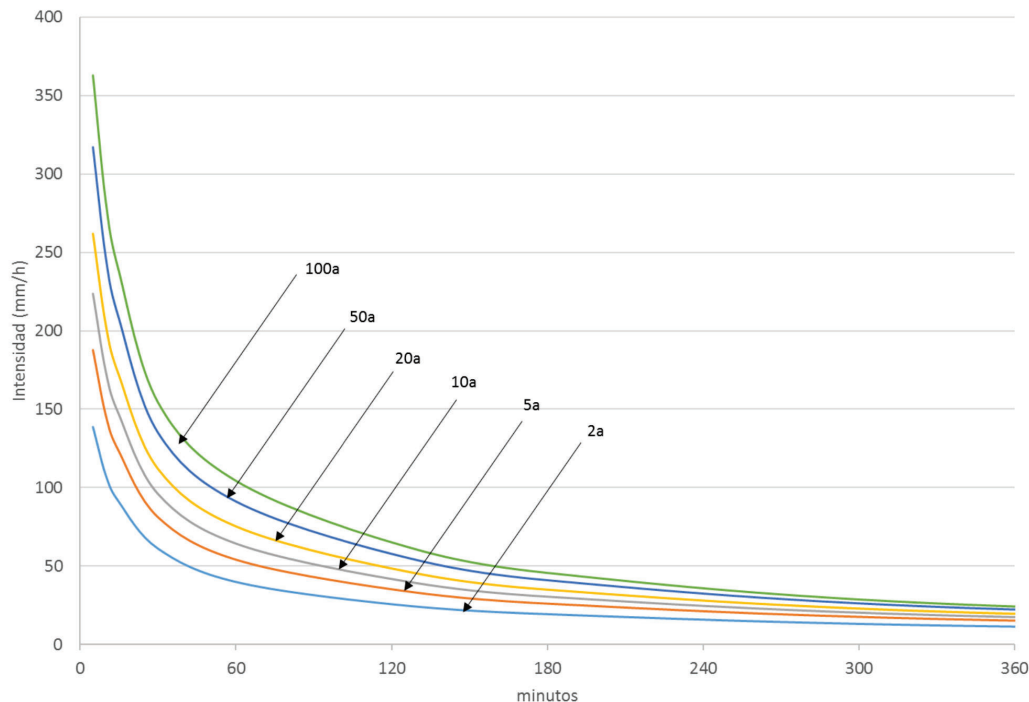


Imagen N° 32. Curvas IDF para los distintos tiempos de recurrencia. Fuente: CH2M Hill Argentina (2019).

Se incorporó el pluviómetro (*Rain Gage*) y las series de tiempo (*Time Series*) para cada tiempo de recurrencia en el código de SWMM y se procedió a cargar el resto de la hidrología en el sistema. Se utilizó un tiempo de recurrencia de 10 años para el diseño del modelo hidrológico e hidrodinámico siguiendo los criterios de diseño utilizados por el área de Proyectos Hidráulicos de la Dirección General de Infraestructura Urbana (DGINURB) del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA, 2020a).

Las subcuencas fueron definidas en base a las curvas de nivel, sentido del escurrimiento de la calle y los modelos existentes en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. De esta forma se identificaron 991 subcuencas en la cuenca Radio Antiguo. De esta superficie se definió un área de influencia considerando un radio de 1 km desde la Av. San Juan. En la imagen 33 se observa gráficamente las subcuencas del área de intervención.

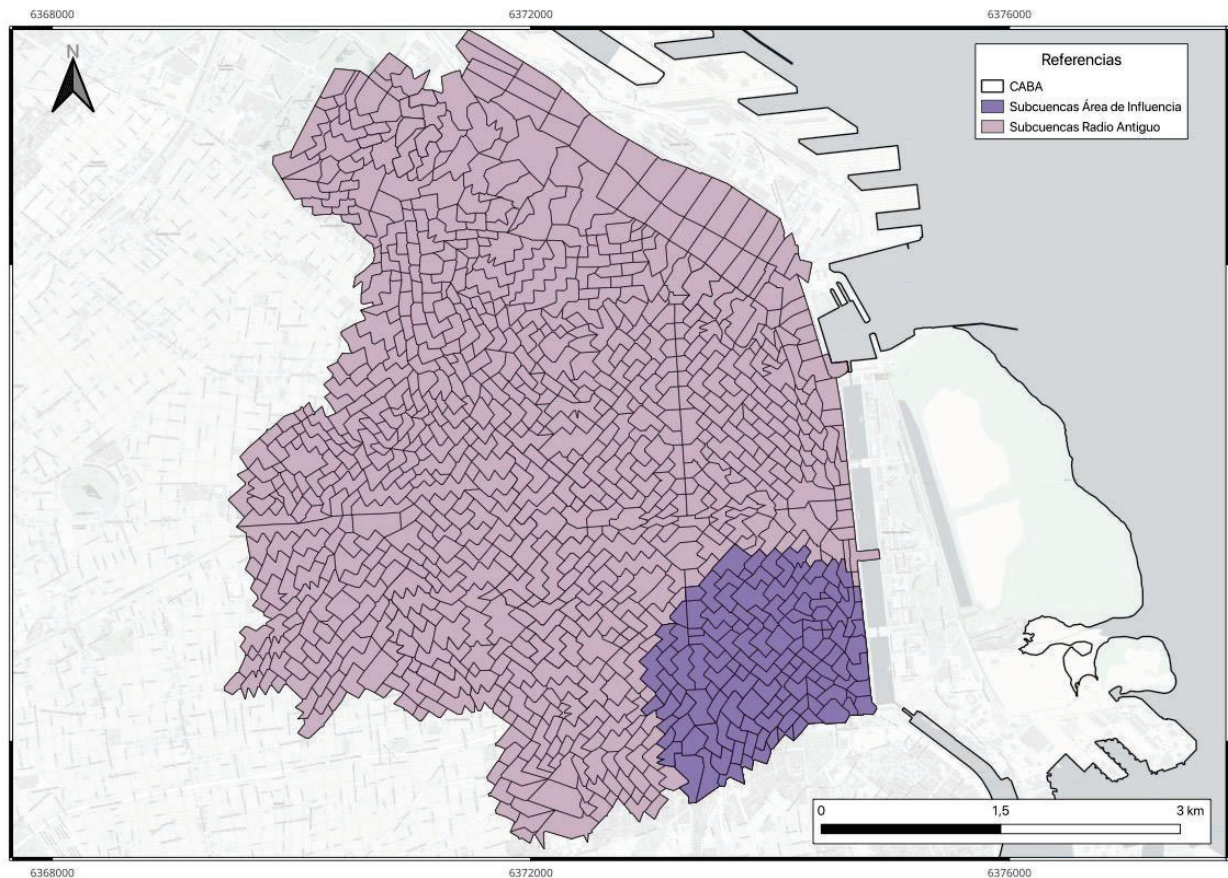


Imagen N° 33. Subcuencas cuenca Radio Antiguo y Área de Influencia. Fuente: elaboración propia.

Para cada subcuenca se definió el nodo de salida al cual deriva la escorrentía, así como los parámetros geométricos (área, ancho y pendiente).

El área impermeable se encuentra conformada por un porcentaje correspondiente a la zona considerada empinada (*"steep"*) y otro de aquella plana (*"flat"*). El porcentaje del área impermeable (% Imperv) se calculó realizando la suma de ambos valores. Por otro lado, existe en SWMM un parámetro que representa el porcentaje del área impermeable sin almacenamiento en depresión (%Zero-Imperv). Este valor fue calculado realizando el porcentaje entre el área impermeable empinada y el total impermeable. Esto es debido a que el área empinada es aquella en la cual escurre la escorrentía debido a la pendiente, de modo de no absorber ni almacenar en depresión.

Como se explicó en el Marco Teórico (sección 3.5.3) el número de Manning es un parámetro que se utiliza para modelar el flujo de agua en cada subcuenca, teniendo en cuenta la rugosidad de las superficies y su capacidad para permitir o evitar la infiltración del agua en el suelo. Cuanto mayor sea su valor significa una mayor generación de escorrentía superficial. Se adoptaron los siguientes valores para el número de Manning para el área impermeable y para el área permeable (N-Imperv y N-Perv) en base a simulaciones análogas en otras cuencas de la Ciudad y a los datos almacenados en otros softwares hidrológicos:

- N-Imperv: 0.0125
- N-Perv: 0.13

Se utilizó la curva de infiltración de Horton (véase ecuación 2 en Cap. 3 Marco Teórico sección 3.5.3) según los siguientes parámetros:



Tabla N° 4. Parámetros del método de Horton

Método de infiltración: HORTON	
Tasa de infiltración máxima (mm/h)	75
Tasa de infiltración mínima (mm/h)	0
Constante de decaimiento (1/h)	0
Tiempo seco (días) (*)	7
Máximo volumen de infiltración posible (**)	0

Fuente: elaboración propia. Notas: (*) Se trata del tiempo necesario para que un suelo completamente saturado se seque por completo. (**) Se coloca 0 al no ser aplicable.

Se optó por utilizar este método ya que describe con mayor precisión la realidad de la cuenca. El método de Green Ampt se suele utilizar para áreas verdes o permeables, que en el caso del Radio Antiguo no es una característica predominante ya que se encuentra altamente impermeabilizada. En un principio se modeló el sistema con el método del Número de Curva, pero se observó que el método de Horton se ajustaba mejor a la realidad. En adición, cuando se evaluó la sensibilidad de los parámetros modificando el valor del CN (Curve Number) no se observaron resultados significativos.

4.6.3. Validación del Modelo

Se realizó la validación del modelo hidrológico elaborado mediante la comparación del caudal pico y el volumen acumulado en ciertas subcuencas elegidas de forma aleatoria dentro del área de influencia determinada. Se tomaron como referencia los resultados obtenidos del modelo existente en el programa MIKE+ de la empresa danesa DHI –información brindada por el GCBA-. Se realizó para 10 años de recurrencia según los criterios de diseño adoptados (GCBA, 2020a).

El modelo en MIKE se encuentra diagramado de forma que cada subcuenca está compuesta por tres capas: (i) un área impermeable, (ii) área verde y (iii) pulmón de manzana. Cada capa se encuentra modelada según un método distinto. En el modelo en SWMM realizado para este proyecto se consideró únicamente el área impermeable, ya que se trata de un área con pocas o nulas áreas verdes y más del 80% de áreas impermeables (principalmente en la zona de estudio del barrio de San Telmo).

Modificaciones

Se fue diseñando y modificando el modelo elaborado para que los resultados obtenidos sean sensatos y coincidentes con aquellos de referencia. En base a eso se realizaron las siguientes pruebas y modificaciones:

- Se realizó un análisis de la sensibilidad de los parámetros de infiltración de número de curva - Curva Number (CN) y del N de Manning de la subcuenca para poder mejorar el resultado del modelo:
 - Se redujo un 10% el valor de infiltración del CN.
 - Se redujo un 20% el valor de infiltración del CN.
 - Se redujo un 10% el valor de infiltración de los N de Manning permeable e impermeable.
 - Se redujo un 20% el valor de infiltración de los N de Manning permeable e impermeable.



- Se aumentó un 10% el valor de infiltración de los N de Manning permeable e impermeable.
- Se combinaron las opciones anteriormente nombradas.

No se vió ninguna mejora o modificación apreciable evaluando la sensibilidad de dichos parámetros.

- En las distintas subcuencas se modificó el porcentaje del área impermeable (% Imperv) y los distintos porcentajes de área impermeable sin almacenamiento en depresión (%Zero-Imperv). En función de los datos de base obtenidos, cada área impermeable de la subcuenca se conforma por una parte que tiene pendiente (*steep*) y otra parte que es plana (*flat*). En base a estos datos se calcularon los parámetros antes indicados para cada subcuenca de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$Total\ Imperv\ (\%) = Imperv\ steep + Imperv\ flat \quad (Ecuación\ 15)$$

$$Zero\ Imperv\ (\%) = (Imperv\ steep / Total\ Imperv) * 100 \quad (Ecuación\ 16)$$

- Se modificaron las opciones de simulación de modo de ajustar los intentos, el intervalo de tiempo y el modelo de onda dinámica (véase parámetros en sección 4.5.1. Generalidades del Modelo).
- Se modificó el modelo de infiltración de Número de Curva a Horton. Esta modificación del modelo generó un resultado particularmente favorable, de modo que se pudo dar por validado. Se utilizó el modelo de Horton con una tasa de infiltración máxima de 75 mm/h.
- Se realizaron distintas pruebas y modificaciones para el número de Manning para el área permeable e impermeable. Finalmente, en base a bibliografía, otros modelos y resultados empíricos, se adoptaron los valores anteriormente indicados (N-Imperv: 0.0125; N-Perv: 0.13).
- En relación a la profundidad de almacenamiento en depresión del área permeable e impermeable (Dstore-Imperv y Dstore-Perv), se evaluaron distintos valores en base a modelos de otras cuencas. Sin embargo, no se vieron modificaciones favorables al sistema por lo que se adoptó un valor de 0 mm en ambos casos.
- Por último, se realizó una modificación en el hietograma de forma que la precipitación comience a los 12 minutos.

Comparación

Las acciones realizadas para la generación de los datos para luego comparar y validar el modelo fueron:

- Exportar los resultados de caudal de esorrentía para cada subcuenca.
Para el caso de MIKE, se sumaron los resultados parciales de cada una de las capas (impermeable, área verde y pulmón de manzana).
- Cálculo del volumen de cada subcuenca según la siguiente ecuación:

$$V\ (m^3) = Q\ (m^3/s) * 60s \quad (Ecuación\ 17)$$

- Cálculo del volumen acumulado para cada subcuenca mediante la sumatoria en el lapso temporal evaluado.
- Graficar el hidrograma.
- Comparación de resultados MIKE y SWMM y cálculo del error. Comparación de hidrogramas.

En el siguiente mapa se indican las 13 subcuencas seleccionadas para realizar la validación del modelo. Las mismas fueron elegidas de forma arbitraria en el área de influencia.

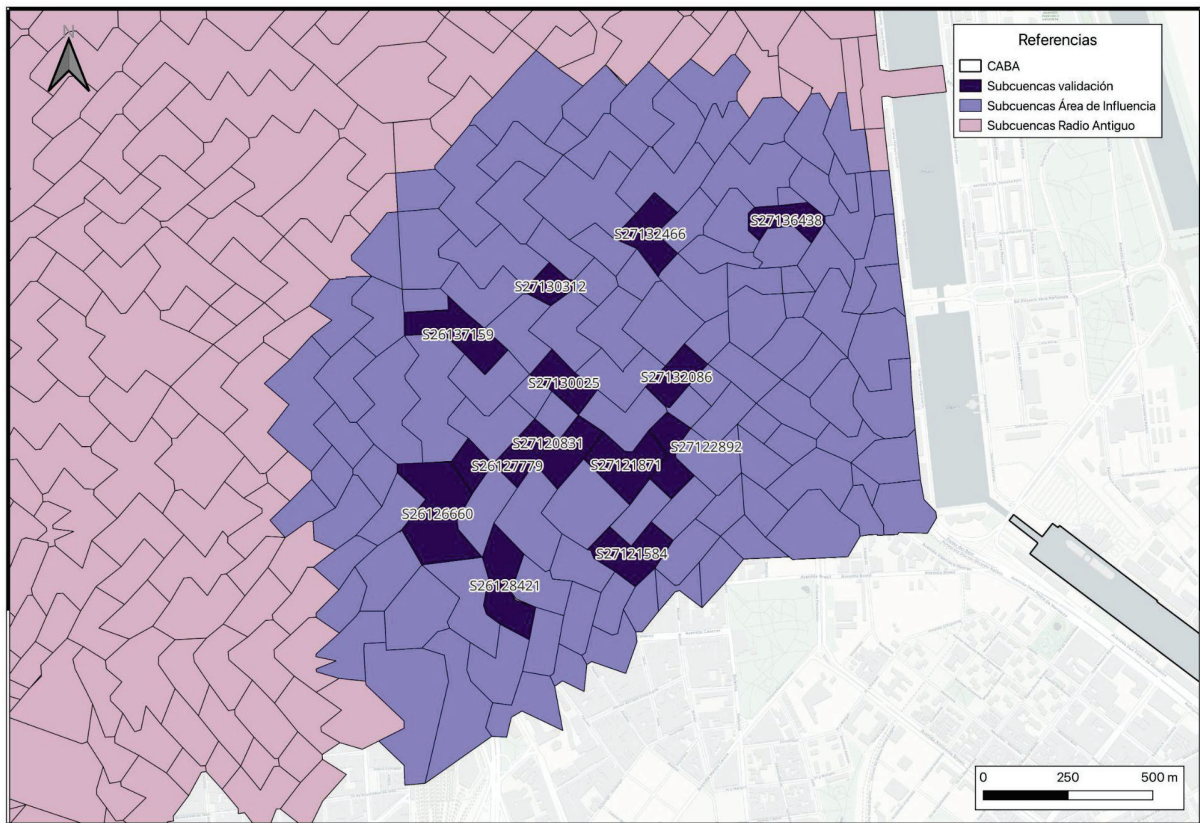


Imagen N° 34. Subcuencas utilizadas para validación del modelo hidrológico elaborado. Fuente: elaboración propia.

En la imagen 35 se observa el hidrograma comparado entre el modelo para el presente proyecto y el modelo de referencia en MIKE. Se puede notar una plena coincidencia en relación a la forma de los hidrogramas y similitud en relación al caudal pico — este punto se evaluó analíticamente en el cuadro 3 —.

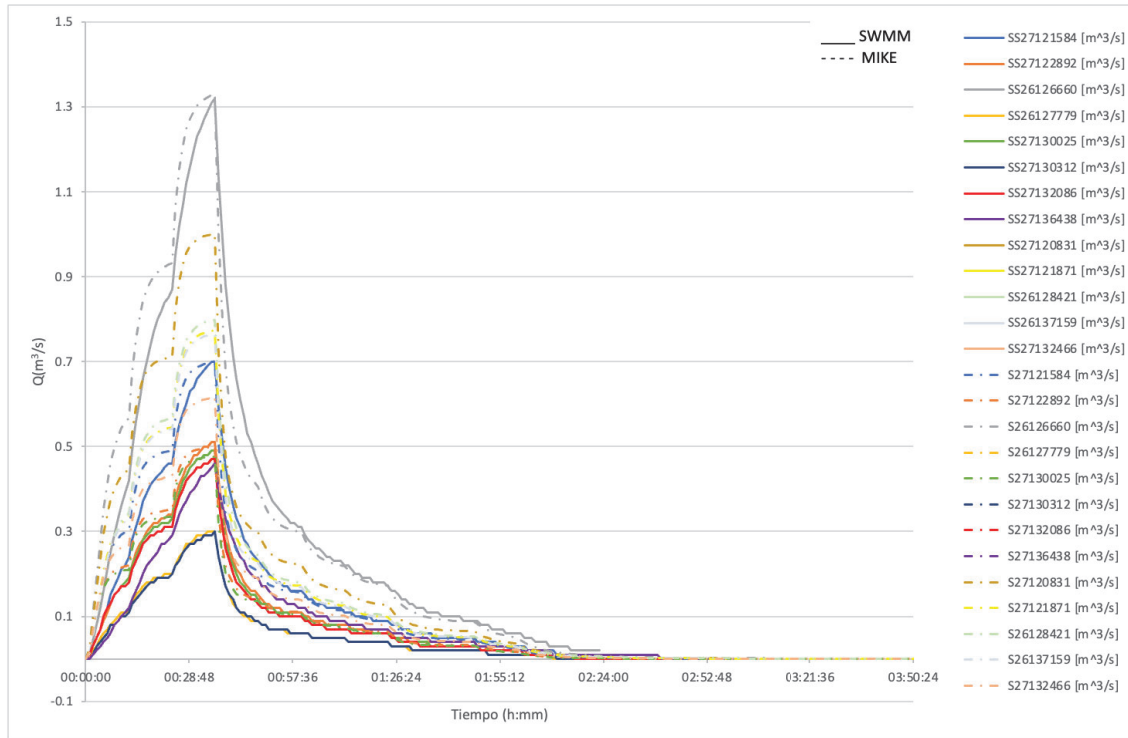


Imagen N° 35. Hidrograma de subcuencas validadas. Fuente: elaboración propia. Nota: las líneas punteadas corresponden a las subcuencas modeladas en MIKE mientras que las líneas continuas en SWMM.

Dichos resultados gráficos también fueron plasmados en el cuadro 5. Se adoptó que un error menor al 10% sería aceptable a los fines del presente proyecto. Como se indica a continuación, el error tanto para el caudal pico como para el volumen acumulado de cada subcuenca se encuentra ampliamente por debajo del rango elegido.

Tabla N° 5. Caudal pico y volumen acumulado para cada subcuenca en MIKE y SWMM y su error

CUENCA	MIKE		SWMM		ERROR	
	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)
S27121584	0.70	1558.79	0.70	1518.00	0%	-3%
S27122892	0.50	1105.90	0.51	1080.60	2%	-2%
S26126660	1.33	2970.61	1.32	2890.20	-1%	-3%
S26127779	0.29	642.24	0.30	633.00	3%	-1%
S27130025	0.48	1053.95	0.49	1034.40	3%	-2%
S27130312	0.29	639.76	0.30	622.80	4%	-3%
S27132086	0.45	1003.63	0.47	987.60	4%	-2%
S27136438	0.47	1070.76	0.46	1027.80	-2%	-4%
S27120831	1.00	2241.05	1.04	2247.60	4%	0%
S27121871	0.77	1720.16	0.77	1689.00	0%	-2%
S26128421	0.80	1789.50	0.81	1785.60	1%	0%



CUENCA	MIKE		SWMM		ERROR	
	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)	$Q_p(m^3/s)$	Volumen Acumulado (m^3)
S26137159	0.76	1696.73	0.77	1683.00	1%	-1%
S27132466	0.62	1379.67	0.62	1331.40	0%	-4%

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) < 0 falta agua en SWMM; (**) > 0 sobra agua en SWMM.

El caudal pico en algunas ocasiones se encuentra levemente por encima del presente en MIKE. Por otro lado, el volumen acumulado es menor en el modelo de SWMM. Probablemente esas diferencias y falta de agua se deba a que el modelo elaborado para el presente trabajo desprecia las áreas verdes. Se considera únicamente el área impermeable y se le da el mismo tratamiento con el modelo de Horton, ya que no es posible discriminar con distintos modelos de infiltración a una misma subcuenca. Sin embargo, la diferencia es insignificante.

En conclusión, se pudo validar el modelo hidrológico propuesto.

4.6.4. Resultados

Una vez validado el modelo y obtenida la versión final hidrológica del código utilizado, se corrió la simulación para obtener los resultados hidrológicos de la cuenca estudiada. Como se indicó, los resultados son para un tiempo de recurrencia de 10 años y una duración del análisis de 4 horas.

Como se observa en la imagen 36, en la zona de interés casi la totalidad de las subcuencas presentan entre el 60% y el 80% de área impermeable. Es decir que la disponibilidad de espacios permeables en la cuenca Radio Antiguo es bajo, rondando el 70% de área impermeable en el barrio de San Telmo. Se destaca que el corredor de la Av. 9 de Julio cuenta con menos del 60% de área impermeable, mientras que las subcuencas de la zona de Retiro, Barrio Parque y Palermo (cuenca Ugarteche) tienen un mayor porcentaje de área permeable.

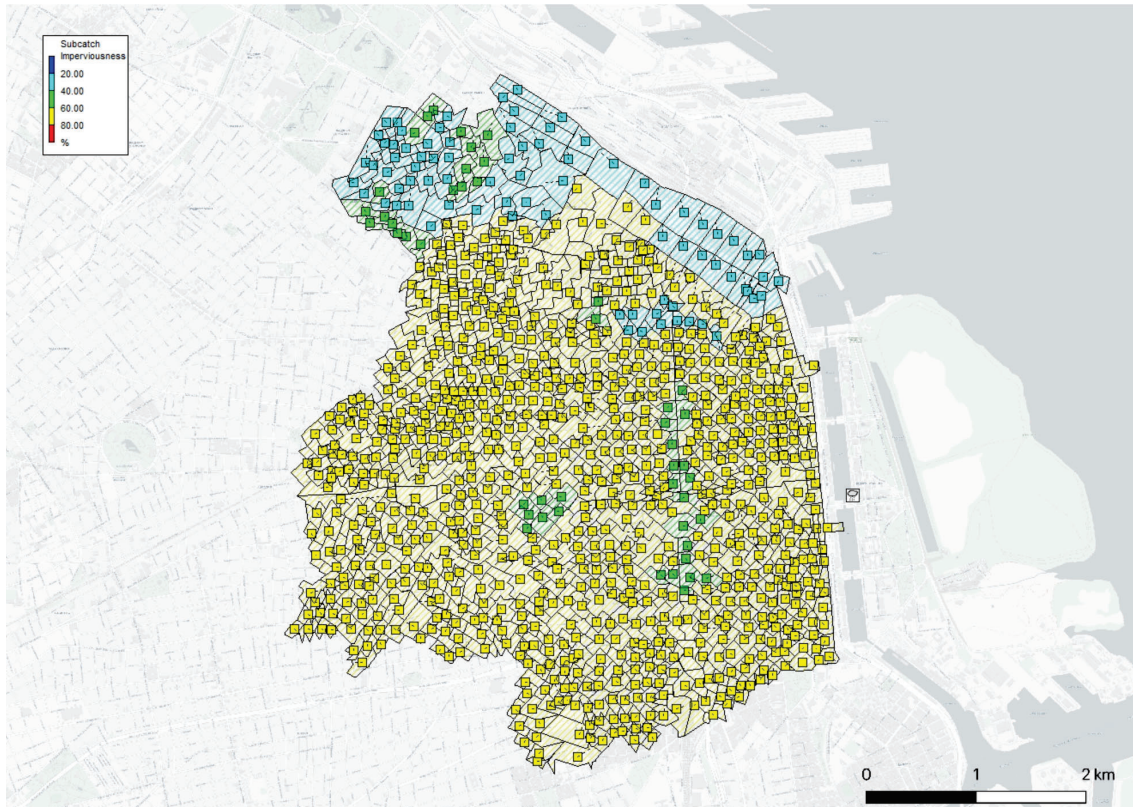


Imagen N° 36. Área impermeable en cada subcuena (en porcentaje). Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

Los coeficientes de escorrentía considerados para cada subcuena dependen de la cobertura vegetal, la presencia de asfalto o concreto, entre otras cosas, que influyen la infiltración, el almacenamiento o retención de las precipitaciones. En la cuenca de estudio los coeficientes de escorrentía presentan la misma distribución del mapa de áreas impermeables (figura anterior), ya que, como es de esperar, a mayor área impermeabilizada mayor coeficiente de escorrentía. Los parámetros obtenidos son:

- Entre 0.6 y 0.8 para las subcuencas en color amarillo
- Entre 0.4 y 0.6 para aquellas de color verde
- Entre 0.2 y 0.4 para las subcuencas de color celeste

Estos valores se encuentran en línea con los establecidos en la bibliografía (véase imagen A.5), donde suelen tener coeficientes de 0.8 para superficies asfálticas en 10 años de recurrencia y coeficiente de 0.25 para zonas verdes en condiciones buenas (pasto en más del 75% del área) y una superficie plana.

La escorrentía total es mayor a los 40 mm en casi la totalidad de la cuenca, con excepción a la zona de la cuenca Ugarteche y la zona de Barrio Parque y Retiro.

El pico de escorrentía varía entre 0.5 mm/h y 2 mm/h en ciertas subcuencas en particular (imagen 37). En la zona de intervención la escorrentía llega a valores menores a 1.5 mm/h. No se observa el mismo patrón que para las áreas impermeables o la infiltración en las subcuencas ya que la distribución del pico de la escorrentía está relacionada a la rugosidad del sistema (N de Manning) no únicamente el volumen de la lluvia y área impermeabilizada.

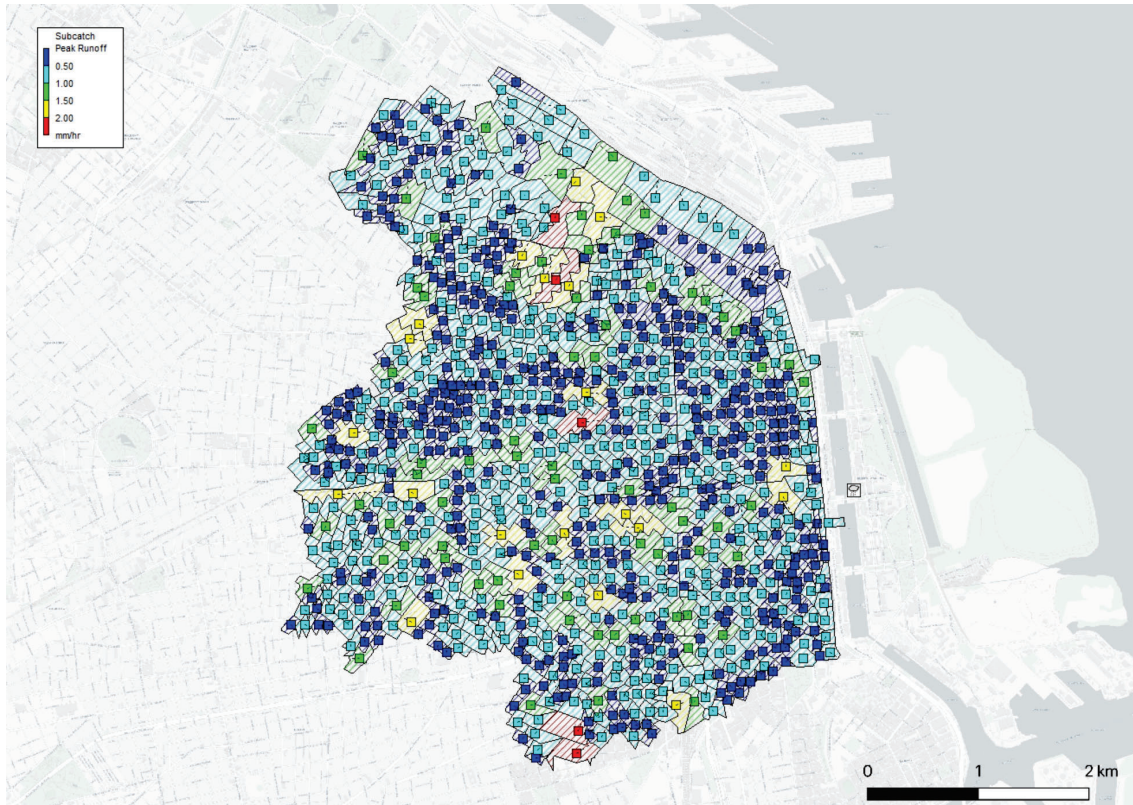


Imagen N° 37. Pico de escorrentía en cada subcuenca (mm/h). Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

La infiltración total se puede observar en la imagen 38. En el barrio de San Telmo la infiltración es menor a los 25 mm, siendo una zona altamente impermeabilizada, mientras que la zona norte presenta mayor volumen de infiltración (entre 25 y 30 mm) y la zona de Retiro, Barrio Parque y Palermo (cuenca Ugarteche) aún mayor infiltración.

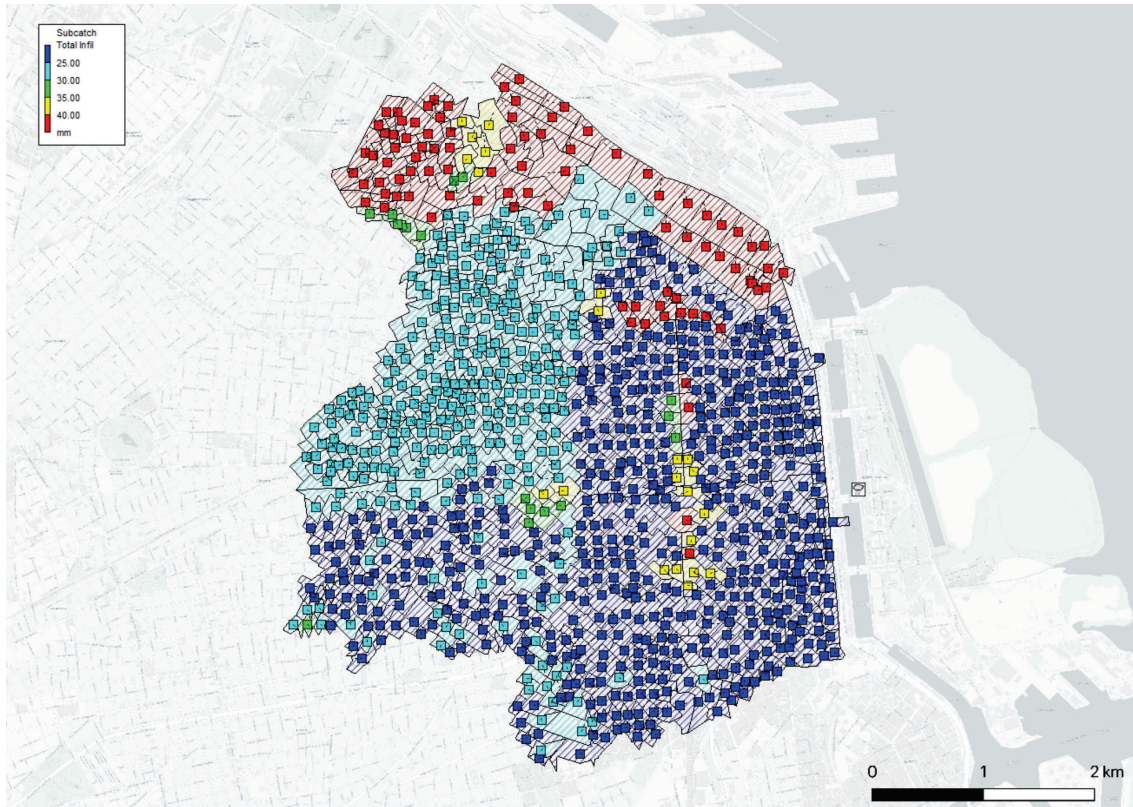


Imagen N° 38. Infiltración total en cada subcuenca (mm). Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

En relación a la hidrografía, los resultados de la modelación arrojan la evolución temporal de distintos parámetros para la totalidad del sistema. El hietograma para la lluvia de diseño de un período de retorno de 10 años se observa en azul en la imagen 39. Se destaca la variación de la lluvia en un intervalo de tiempo, teniendo el pico de la misma con un valor aproximado de 130 mm/h entre los 30 minutos y 45 minutos. A su vez, se grafica la infiltración del sistema, que alcanza un máximo de alrededor de 30 mm/h entre la media hora y la primera hora de lluvia.

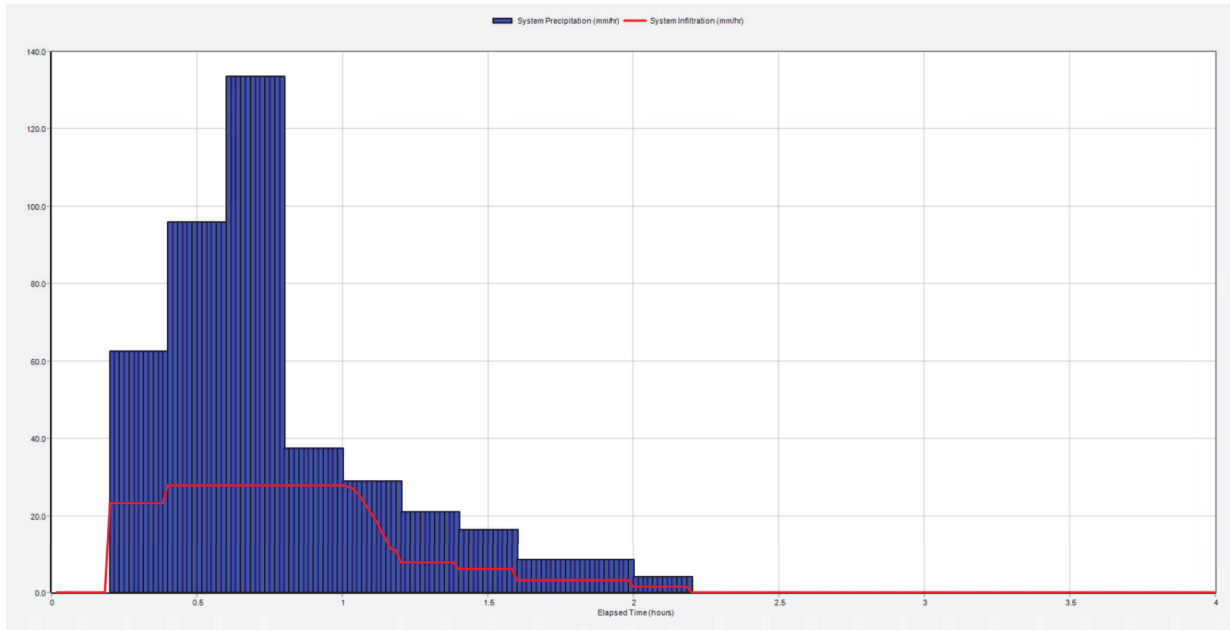


Imagen N° 39. Hietograma e infiltración del sistema. Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

En el siguiente gráfico (imagen 40) se superpusieron los resultados de escorrentía del sistema con el ingreso total y el egreso, así como la inundación. El ingreso total (*total inflow*) expresa la cantidad total de agua que ingresa al sistema de drenaje o la cuenca en un momento dado, lo cual puede incluir la precipitación, la escorrentía superficial, el flujo de entrada desde otras áreas, etc. La salida o egreso (*outflow*) es la cantidad total de agua que sale del sistema en un momento dado, y puede incluir el caudal a través de desagües, conductos, canales, etc. La inundación (*flooding*) representa la cantidad de agua que no puede ser manejada por el sistema y causa inundaciones. Es la diferencia entre el ingreso total y el flujo de salida en un momento dado.

La escorrentía e ingreso del sistema alcanza un pico a los 48 minutos, para luego disminuir de forma exponencial. La salida del sistema se comporta de forma creciente hasta aproximadamente los 50 minutos y luego disminuye de forma lineal. La inundación del sistema, de forma esperable, es significativamente menor en relación a los otros parámetros analizados. Su valor es cero en los primeros 66 minutos y luego aumenta hasta un valor fluctuante alrededor de los 6 cm³/s entre la 1.5 h del sistema y las 4 horas.

En todos los casos el sistema desagota, de forma de volverse asintótico a cero.

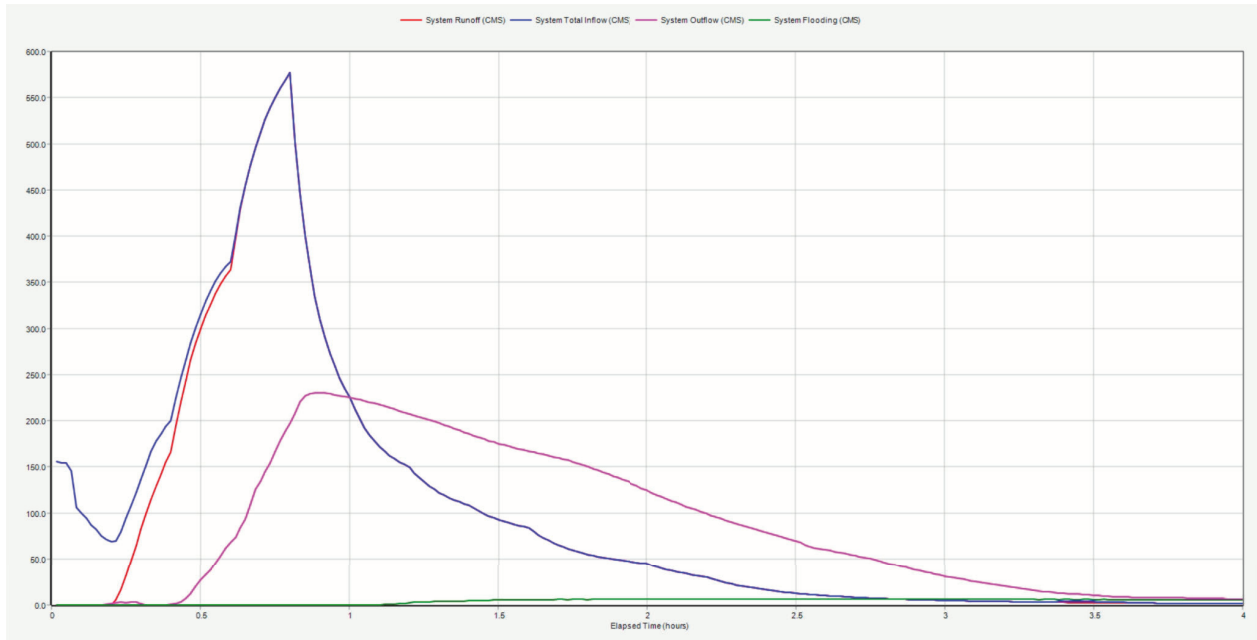


Imagen N° 40. Hidrogramas de escorrentía, ingreso total, salida e inundación del sistema expresado en forma de caudal (cms = cm^3/s) en función del tiempo. Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

Dichos gráficos y otros resultados particulares se pueden estudiar discriminando para cada subcuenca. En la validación del modelo se calculó el caudal para las subcuencas seleccionadas.

4.7. Modelo hidrodinámico actual

La hidráulica del SWMM cuenta con distintos elementos para modelar el sistema, véase dicha descripción en la sección 3.5.4. *Hidráulica* en el *Capítulo 3 - Marco Teórico*.

En la confección del modelo hidrodinámico se utilizó de referencia los lineamientos y criterios de diseño empleados por el área de proyectos hidráulicos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA, 2020a).

4.7.1. Datos y diseño del Modelo

Se utilizaron como referencia datos existentes del sistema de drenaje de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, así como parámetros y valores utilizados usualmente en el diseño de conductos y elementos hidráulicos urbanos.

Se incorporaron los conductos existentes en el modelo y se verificaron con los existentes en otras bases de datos: (i) archivo .dwg utilizado para el mantenimiento de los conductos pluvio-cloacales del Radio Antiguo, (ii) documentación en GIS con el trazado de los conductos de la zona y (iii) modelo hidrodinámico existente en otros softwares (migrado a MIKE+ en la actualidad). Esta información fue suministrada por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. De esta forma se fueron revisando y diseñando cada uno de los elementos del sistema de drenaje.

En relación a las intersecciones de los nodos, se adoptó una superficie donde el agua se acumula en caso de inundación (*ponded area*) de 200 m^2 para las intersecciones de conductos y



de 6,000 m² para las calles. Esto significa que dicho volumen de agua se almacena, no escurre o “desaparece”.

Se diseñaron los nodos de los conductos con una profundidad máxima del agua referida a la profundidad del conducto y una cota de fondo. La profundidad que excede la profundidad máxima del nodo antes de que ocurra una inundación fue adoptada con un valor de 0 para las calles y 10 m para los conductos. Esto implica que en las calles no se permite acumulación de agua, por lo que cualquier exceso de agua se considera como una inundación. Por su parte, en los conductos se tolera cierta cantidad de agua antes de que el volumen salga del sistema de drenaje y considerar inundación (hasta 10 metros sobre la profundidad máxima del nodo).

En relación a las descargas, algunas de las mismas son libres mientras otras fijas. Las descargas libres son aquellas que desembocan en distintas zonas de la Ciudad, tal como la zona de Abasto, Barrio Parque o Barracas. Para los conductos que descargan en el Río de la Plata se estableció una elevación del agua fija de 1.25 m como condición de borde, valor que corresponde a la pleamar máxima del río.

Se adoptaron los siguientes valores del coeficiente de rugosidad - número de Manning - para los conductos y las calles en base a simulaciones análogas en otras cuencas de la Ciudad y a los datos de base utilizados:

- N calle: 0.01
- N conducto: 0.017 (véase valores de n de Manning en imagen A.6)

Los conductos presentan una longitud y profundidad determinada por la información preexistente.

El sistema de drenaje es diseñado considerando que no existe un caudal inicial en los conductos y en la calle al comienzo de la simulación.

Se adoptaron pérdidas bajas debidas a la entrada y salida de la conducción. Los valores utilizados fueron iguales para los conductos como para las calles: $Q_{\text{pérdida-entrada}} = 0.15$, $Q_{\text{pérdida-salida}} = 0.015$.

Las entradas de agua de lluvia al sistema de drenaje se realizan mediante los sumideros diseñados de tipo lateral con forma circular. Se adoptó un coeficiente de descarga del orificio de 0.707.

Los vertederos utilizados son de tipo rectangular transversal. El coeficiente de descarga adoptado para la sección central del vertedero fue de 0.85 m³/s, en base a las modelaciones existentes en otras cuencas de la Ciudad, si bien los valores aconsejados por el manual del SWMM son entre 1.38 a 1.84 (Rossman & Huber, 2016).

Geometría secciones transversales

En el presente modelo las calles fueron diseñadas como conductos abiertos con una geometría transversal adecuada a la situación y parámetros específicamente diseñados. En particular, se incluyeron 12 tramos transversales que fueron asociados a cada una de las más de 1,700 calles del modelo. Dicha asociación fue realizada mediante una forma “irregular” y el tramo transversal correspondiente a cada una. Se cargaron datos de la elevación de la calle en la sección de forma de modelar cómo se mueve el agua a través de la misma. Se adoptó una rugosidad - N de Manning - para las calles de 0.01. Se presenta a modo de ejemplo el tramo transversal de la calle 30, es decir aquella que tiene 30 metros de ancho, que es la que se utilizó sobre la Av. San Juan.

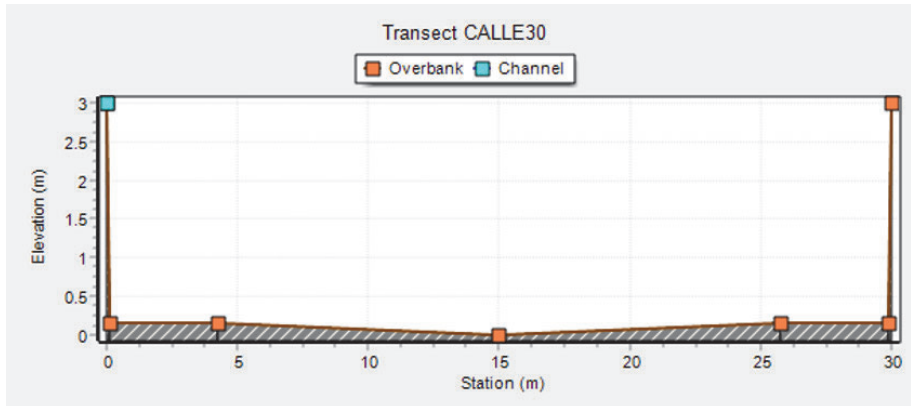


Imagen N° 41. Tramo transversal de la calle 30. Fuente: diseño realizado en SWMM.

La geometría de los más de 3,500 conductos fue diseñada de otro modo. Se adoptaron ciertos conductos con geometría circular, rectangulares cerrados y personalizados (*custom*). Cada uno de los mismos cuenta con distintos parámetros geométricos tal como se indica en la tabla a continuación.

Tabla N° 6. Tipos de geometría de la sección transversal

Forma sección	Geom 1		Geom 2	
	Significado	Rango valores	Significado	Rango valores
Personalizada	altura máxima	0.61 - 4.55 m	Curva de forma	MODELO01
Circular	radio	0.15 - 3.657 m	-	0
Rectangular cerrado	altura máxima	0.8 - 3.65 m	ancho de fondo	0.75 - 4.2 m

Fuente: elaboración propia.

El parámetro geométrico 1 para la sección personalizada es la altura máxima o profundidad máxima del conducto. Ese valor es multiplicado por los valores de la curva de forma (Modelo 01) para generar la sección del conducto (mayor o menor que el modelo original).

Se adoptó en todos los casos un solo compartimiento por conducto.

A continuación se presenta una imagen del modelo utilizado para las secciones ovoidales utilizadas para los conductos típicos del Radio Antiguo que fueron descriptos anteriormente.

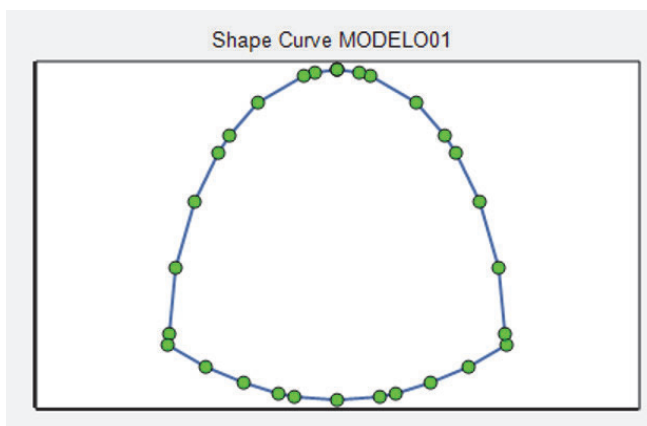


Imagen N° 42. Sección de conductos con forma personalizada. Fuente: diseño realizado en SWMM.

Los vertederos fueron diseñados como un canal rectangular abierto con una altura y longitud de 1 m.



4.7.2. Validación del Modelo

Se realizó la validación del modelo hidráulico mediante la comparación de algunos elementos del sistema: conductos y calles, nodos de los mismos y los conductos de desagüe (*outfalls*). Se compararon los hidrogramas (caudal máximo y hora producido) y limnigramas de los nodos (el nivel piezométrico máximo del agua y hora producido). Al igual que en la hidrología, se tomó como referencia los resultados obtenidos del modelo existente en el programa MIKE+ de la empresa danesa DHI –información brindada por el GCBA–. Se realizó para 10 años de recurrencia siguiendo los criterios de diseño del Gobierno de la Ciudad (GCBA, 2020a).

Modificaciones

Se fue diseñando el modelo elaborado para que los resultados obtenidos sean sensatos y coincidentes con aquellos de referencia en MIKE. En base a eso se realizaron las siguientes pruebas y modificaciones principales:

- Se evaluó la modificación en el coeficiente de descarga (*Q Coeff*) tanto para los sumideros como para los vertederos. Se redujo el valor en los vertederos de 0.85 a 0.66 y se aumentó en los sumideros de 0.707 a 0.9. No se observaron resultados favorables por lo que se modeló el sistema con los coeficientes inicialmente adoptados.
- Se modificó la profundidad que excede la profundidad máxima del nodo antes de que ocurra una inundación. Se colocó 0 para las calles y 10 m para los conductos.
- Se probó la sensibilidad del modelo al eliminar las pérdidas tanto de calle como de conductos. No se observaron resultados apreciables por lo que se incluyeron dichas pérdidas en el sistema.
- Para las descargas del sistema que desembocan al Río de la Plata se colocó una descarga fija de 1.25 m como condición de borde.
- Para las intersecciones de los nodos se puso una superficie de acumulación del agua en caso de inundación (*ponded area*) de 200 m² para las juntas de conductos y de 6,000 m² para las calles.
- Para el caso de los orificios se indicó que no contengan una compuerta para prevenir el reflujo, es decir que el agua fluya en dirección contraria.
- La mayor consideración realizada para el diseño del modelo fue en relación a los perfiles de calles y conductos. Dicho trabajo fue realizado mediante la asociación de datos en una planilla de cálculo para los más de 5,000 conductos y calles, y luego modificando el archivo formato *.inp* para poder correrlo en SWMM.
 - Calles: se agregó en la sección transectas las 12 calles utilizadas de modelo en la cuenca Radio Antiguo. Se adoptó un N de Manning para las calles de 0,01 y se colocó el perfil de la calle según la elevación de la misma para cada uno de los casos. Luego se asoció cada una de las calles a alguna de las transectas. Se asoció a una forma de canal irregular y luego al corte de la calle correspondiente.
 - Conductos: en vez de modelarlos como conductos circulares o rectangulares en su totalidad, se modificó para incluir el caso personalizado. En SWMM lo que se realiza es utilizar el modelo de base (MODELO01) y luego multiplicarlo por la geometría correspondiente para generar distintos tipos de modelos. Se revisó y modificó la base de datos para los conductos y se asoció cada uno al tipo de caso personalizado (con el modelo de base y el factor de corrección), a su vez se dejaron aquellos conductos con secciones circulares y rectangulares que corresponden.

Comparación

En el siguiente mapa se indican los conductos y nodos seleccionados para realizar la validación del modelo. Los mismos fueron elegidos de forma arbitraria en el área de influencia.

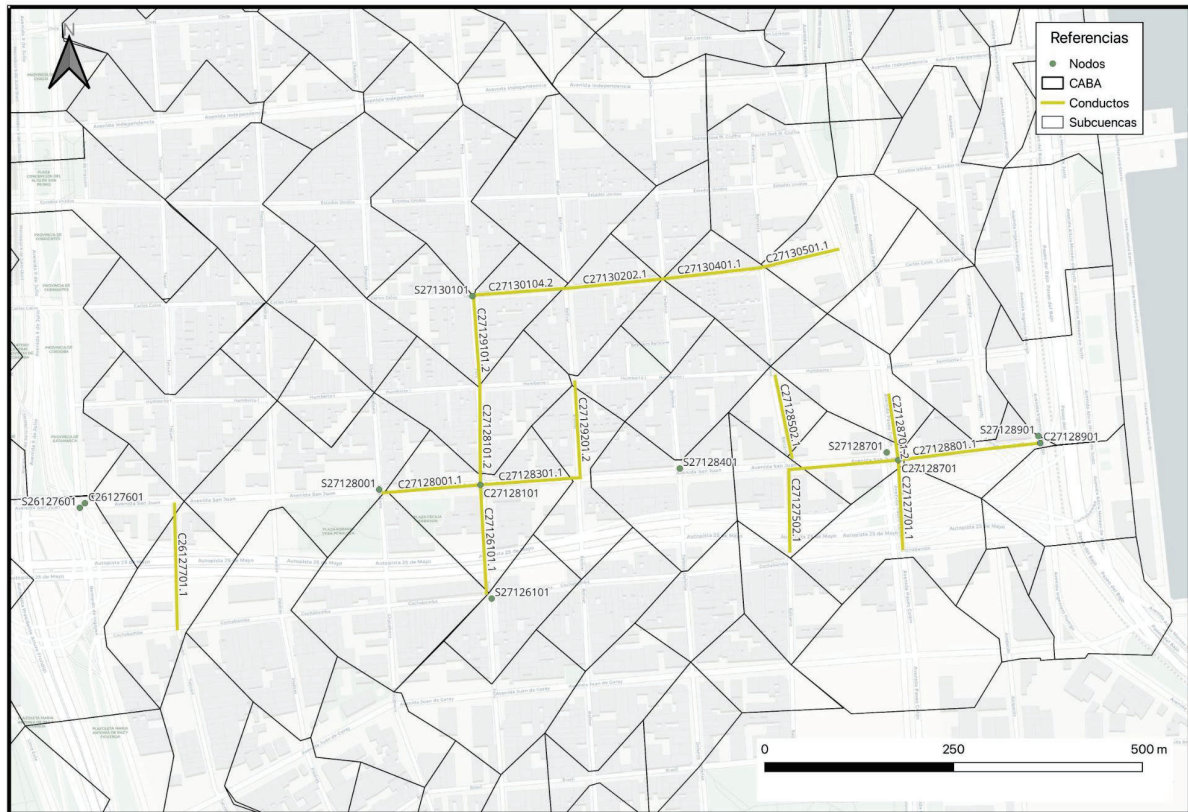


Imagen N° 43. Enlaces y nodos utilizados para validación del modelo hidrológico elaborado. Fuente: elaboración propia.

Conductos y calles

Las acciones realizadas para la generación de los datos para luego comparar y validar el modelo fueron:

- Exportar los resultados de caudal para cada conducto y calle.
- Graficar el hidrograma y cálculo de la hora en la que ocurre el máximo.
- Comparación de resultados MIKE y SWMM y cálculo del error. Comparación de hidrogramas.

Ya que el caudal es directamente proporcional a la velocidad, al validar el primer valor se puede inferir el comportamiento del segundo para un área fija:

$$Q = v * A \quad (\text{Ecuación 18})$$

En la imagen 44 y 45 se observa el hidrograma comparado entre el modelo para el presente proyecto y el modelo existente en MIKE tanto para conductos como para calles. Se puede notar una alta coincidencia en relación a la forma de los hidrogramas y similitud en relación al caudal pico — este punto se evaluó analíticamente en el cuadro 7 —.

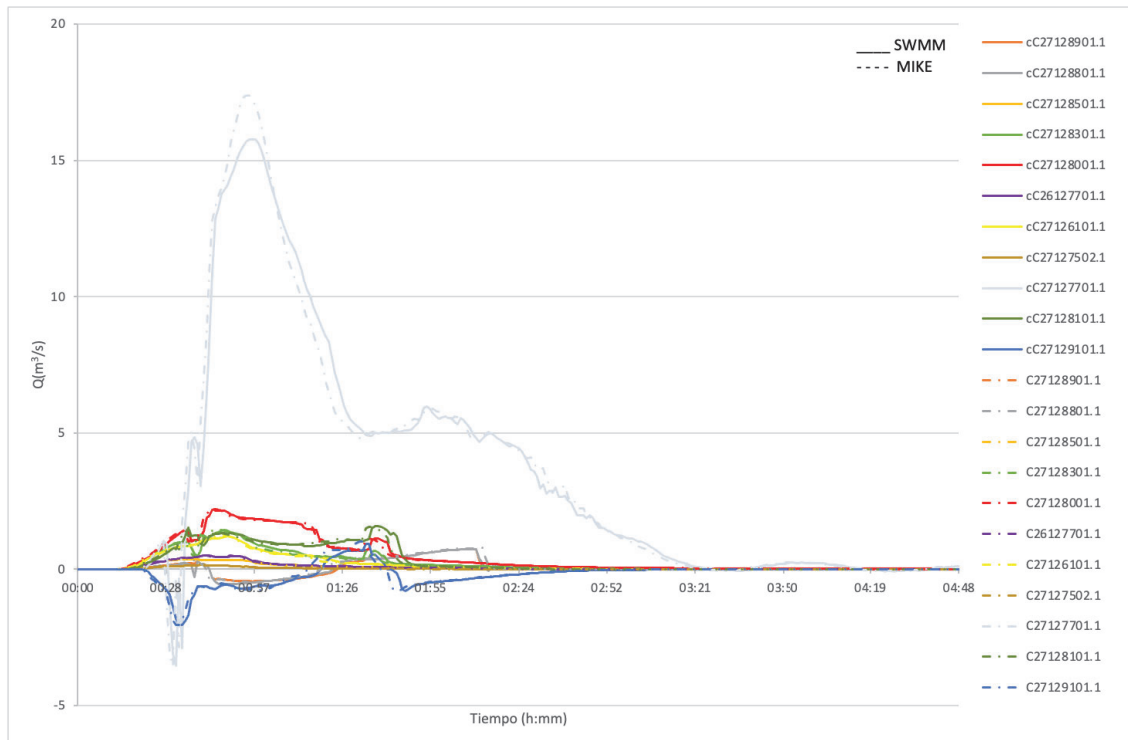


Imagen N° 44. Hidrograma de conductos validados. Fuente: elaboración propia. Nota: las líneas punteadas corresponden a las subcuencas modeladas en MIKE mientras que las líneas continuas en SWMM.

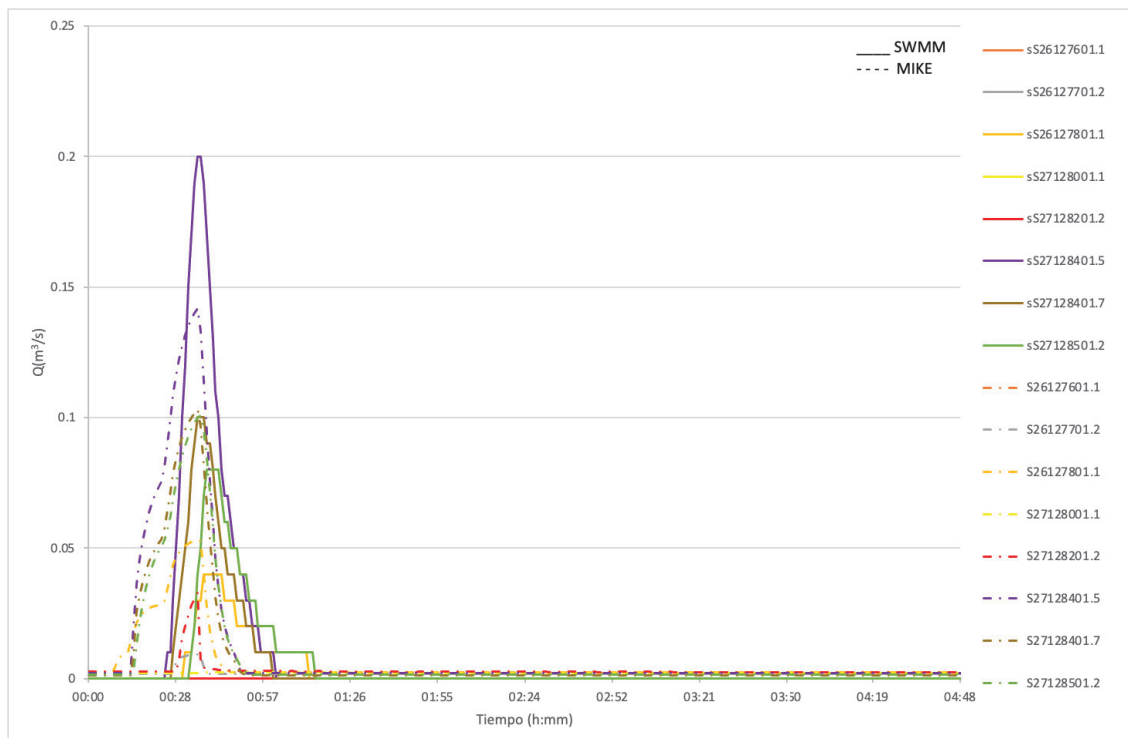


Imagen N° 45. Hidrograma de calles validadas. Fuente: elaboración propia. Nota: las líneas punteadas corresponden a las subcuencas modeladas en MIKE mientras que las líneas continuas en SWMM.



Dichos resultados gráficos también fueron plasmados en la tabla 7. Se adoptó que un error menor al 10% sería aceptable a los fines del presente proyecto.

Las calles que se encuentran vacías o con un caudal máximo menor a $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ no fueron incluidas en la tabla. Se observa que las calles no conciden en su totalidad con la referencia en MIKE, sin embargo, no se considera como una limitación ya que la hidrología y el resto de los elementos hidráulicos cumplen con los criterios considerados. En particular, al tener un buen resultado de los conductos podemos estar seguros que tanto la hidrología como el agua que escurre en calle termina efectivamente en el conducto. Por lo que cumple con los requisitos necesarios para el correcto desarrollo del presente trabajo.

Tabla N° 7. Caudal pico y horario máximo para cada enlace en MIKE y SWMM y su error

ENLACE	MIKE		SWMM		ERROR	
	$Q_{\text{MAX}} (\text{m}^3/\text{s})$	Hora _{MAX} (h:mm)	$Q_{\text{MAX}} (\text{m}^3/\text{s})$	Hora _{MAX} (h:mm)	$Q_{\text{MAX}} (\text{m}^3/\text{s})$	Hora _{MAX} (h:mm)
CONDUCTOS						
C27128901.1	0.79	02:12	0.74	02:09	-6%	-2%
C27128801.1	0.79	02:12	0.74	02:09	-6%	-2%
C27128501.1	0.37	00:36	0.37	00:37	-1%	3%
C27128301.1	1.47	00:45	1.43	00:48	-3%	7%
C27128001.1	2.19	00:43	2.21	00:45	1%	5%
C26127701.1	0.51	00:41	0.51	00:42	0%	2%
C27126101.1	1.26	00:48	1.21	00:49	-4%	2%
C27127502.1	0.16	00:39	0.16	00:40	-2%	3%
C27127701.1	17.39	00:55	15.78	00:56	-9%	2%
C27128101.1	1.56	01:35	1.58	01:38	1%	3%
C27129101.1	1.02	01:33	0.94	01:35	-8%	2%
CALLES						
S26127801.1	0.05	00:36	0.04	00:38	-25%	6%
S27128401.5	0.14	00:36	0.20	00:36	41%	0%
S27128401.7	0.10	00:36	0.10	00:36	-3%	0%
S27128501.2	0.10	00:37	0.08	00:39	-21%	5%

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) < 0 falta agua en SWMM; (**) > 0 sobra agua en SWMM.

Nodos

Las acciones realizadas para la generación de los datos para luego comparar y validar los nodos del modelo fueron:

- Exportar los resultados de la altura del agua para los nodos de calle y conductos seleccionados.
- Graficar el limnigrama y cálculo de la hora en la que ocurre el máximo.
- Comparación de resultados MIKE y SWMM y cálculo del error. Comparación de limnigramas.

Los valores utilizados para la evaluación de dichos resultados fueron el nivel de agua exportado de MIKE, que refiere a la elevación del agua o nivel piezométrico referido al sistema altimétrico. Expresa a qué altura se encuentra la superficie del agua. Específicamente, los valores de carga hidráulica resultantes del modelo en SWMM expresan la altura del agua debido a la presión en el sistema así como la elevación física del nodo. Ambos parámetros son análogos y comparables.

En la imagen 46 se observa el limnigrama comparado entre el modelo para el presente proyecto y el modelo existente en MIKE. Al igual que los casos anteriores, la forma del limnigrama es análoga en ambos casos, respetando tendencias y nivel máximo.

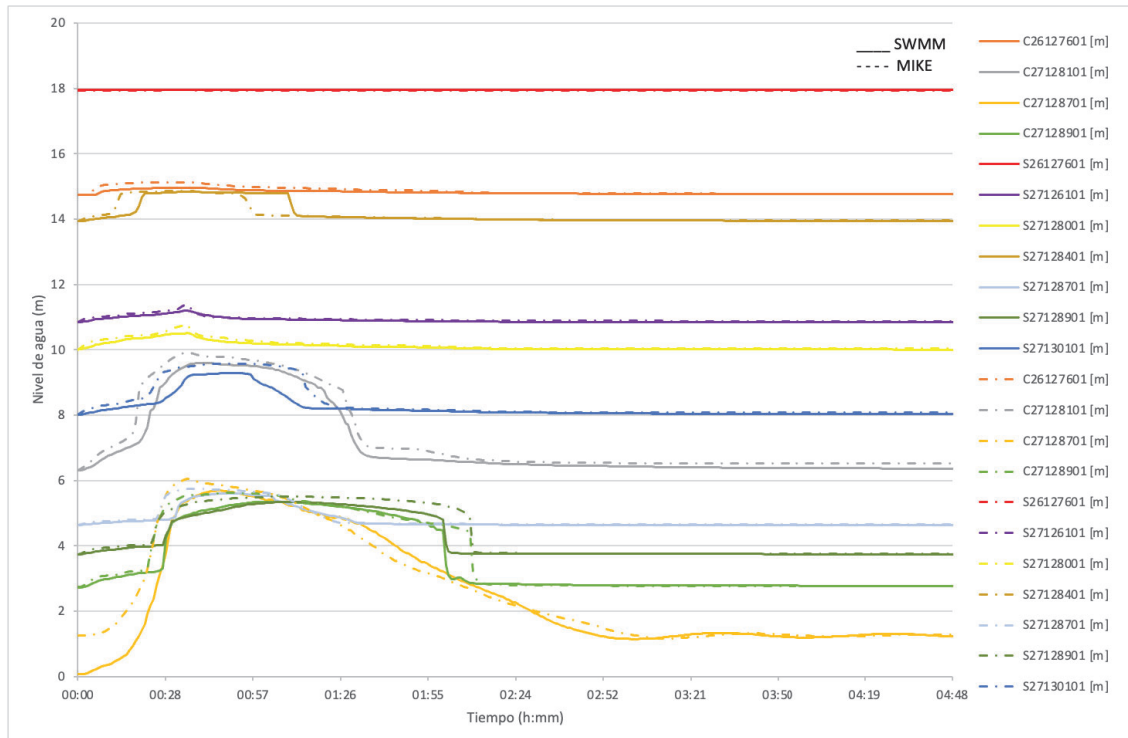


Imagen N° 46. Limnigramas de nodos validados. Fuente: elaboración propia. Nota: las líneas punteadas corresponden a las subcuencas modeladas en MIKE mientras que las líneas continuas en SWMM.

Dichos resultados gráficos también fueron plasmados en el cuadro 8. Se adoptó que un error menor al 10% sería aceptable a los fines del presente proyecto. Como se indica a continuación, el error para el horario máximo se encuentra por fuera del margen aceptado. Sin embargo, el parámetro de mayor importancia, es decir el nivel máximo del agua, coincide para todos los casos.



Tabla N° 8. Nivel de agua máximo y horario para cada nodo en MIKE y SWMM y su error

NODO	MIKE		SWMM		ERROR	
	Nivel _{MAX} (m)	Hora _{MAX} (h:mm)	Nivel _{MAX} (m)	Hora _{MAX} (h:mm)	Nivel _{MAX} (m)	Hora _{MAX} (h:mm)
NODOS CONDUCTOS						
C26127601	15.13	00:38	14.95	00:25	-1%	-34%
C27128101	9.93	00:36	9.6	00:40	-3%	11%
C27128701	6.05	00:37	5.69	00:46	-6%	24%
C27128901	5.62	00:50	5.35	01:05	-5%	30%
NODOS CALLE						
S26127601	17.96	00:36	17.95	00:00	0%	-100%
S27126101	11.40	00:36	11.2	00:36	-2%	0%
S27128001	10.78	00:36	10.51	00:36	-3%	0%
S27128401	14.86	00:36	14.83	00:33	0%	-8%
S27128701	5.74	00:38	5.6	00:48	-2%	26%
S27128901	5.50	01:08	5.34	01:07	-3%	-1%
S27130101	9.58	00:51	9.29	00:49	-3%	-4%

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) < 0 falta agua en SWMM; (**) > 0 sobra agua en SWMM.

Salidas

Las acciones realizadas para la generación de los datos para luego comparar y validar el modelo fueron:

- Exportar los resultados de descarga (caudal) para las distintas salidas.
- Graficar el hidrograma y cálculo de la hora en la que ocurre el máximo.
- Comparación de resultados MIKE y SWMM y cálculo del error. Comparación de hidrogramas.

En la imagen 47 se observa el hidrograma comparado entre el modelo para el presente proyecto y el modelo existente en MIKE. Se observa que las salidas del sistema presentan comportamientos análogos entre ambos modelos. Sin embargo, como se observa analíticamente en el cuadro 9, los picos y horarios de los mismos no coinciden estrictamente con aquellos del programa MIKE. Esto no ha sido considerada una limitación en el modelo actual, ya que el área de San Telmo no cuenta con salidas cercanas por lo que se considera que no afectará en las modelaciones del proyecto.

Se observa en el gráfico que en el modelo SWMM existen valores negativos de caudal. Esto es debido a una limitación del software que considera que, al encontrarse a una cota menor a la del Río de la Plata (1.25 m), el agua entra al conducto por el fenómeno de sudestada. De lo contrario, en el modelo existente en MIKE a una cota menor de aquella de salida el conducto se encuentra lleno, no ingresando agua (valores negativos).

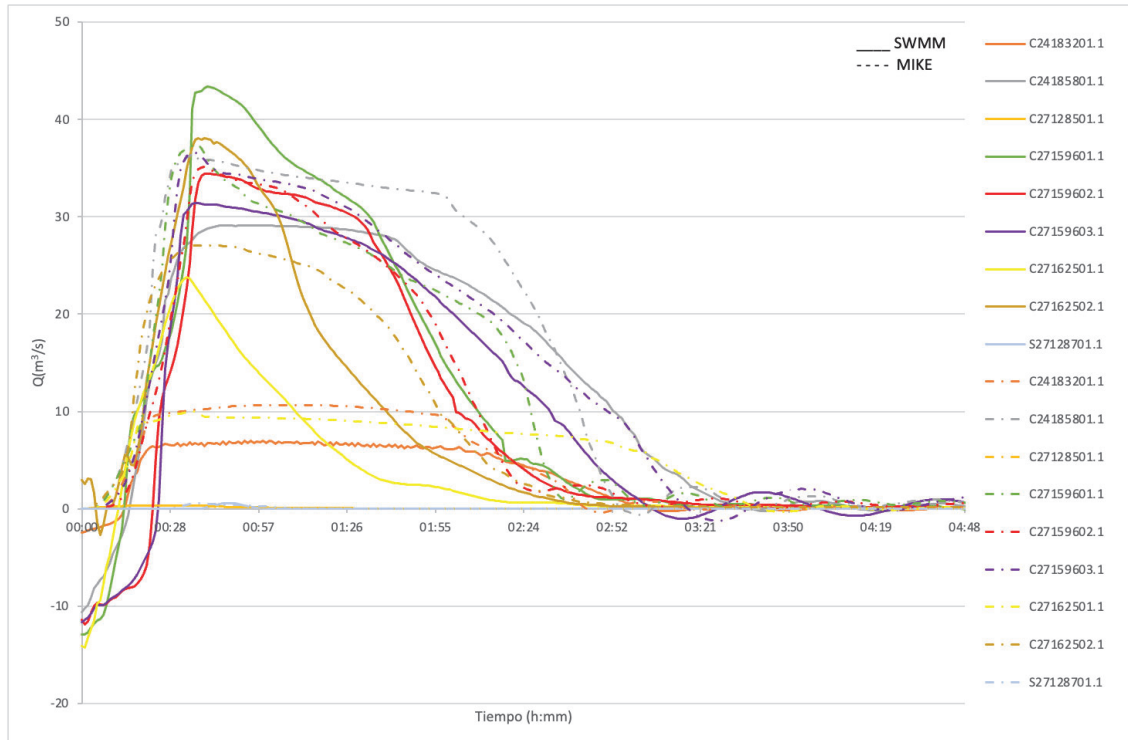


Imagen N° 47. Hidrogramas de salidas validadas. Fuente: elaboración propia. Nota: las líneas punteadas corresponden a las subcuencas modeladas en MIKE mientras que las líneas continuas en SWMM.

Dichos resultados gráficos también fueron plasmados en la tabla 9. Se adoptó que un error menor al 10% sería aceptable a los fines del presente proyecto. Como se ha dicho anteriormente, en la mayoría de los casos el error no se encuentra dentro del margen aceptado.

Tabla N° 9. Caudal máximo y horario para cada salida en MIKE y SWMM y su error

SALIDA	MIKE		SWMM		ERROR	
	Q_{MAX} (m³/s)	Hora _{MAX} (h:mm)	Q_{MAX} (m³/s)	Hora _{MAX} (h:mm)	Q_{MAX} (m³/s)	Hora _{MAX} (h:mm)
C24183201.1	10.67	01:07	7.02	00:55	-34%	-18%
C24185801.1	36.46	00:36	29.14	00:58	-20%	61%
C27128501.1	0.36	00:17	0.37	00:23	2%	35%
C27159601.1	37.41	00:37	43.36	00:41	16%	11%
C27159602.1	35.10	00:40	34.46	00:41	-2%	2%
C27159603.1	36.54	00:37	31.44	00:37	-14%	0%
C27162501.1	10.03	00:36	23.80	00:34	137%	-6%
C27162502.1	27.08	00:37	38.08	00:38	41%	3%
S27128701.1	0.56	00:38	0.58	00:48	4%	26%

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) < 0 falta agua en SWMM; (**) > 0 sobra agua en SWMM.

Si bien ciertos elementos hidrodinámicos (caudal máximo de calles, horario máximo de algunos nodos y caudal de algunas salidas) no se encontraron dentro del rango de error adoptado para

el presente trabajo, se considera que se pudo validar el modelo hidráulico propuesto para los fines del corriente proyecto, principalmente mediante la alta coincidencia de los conductos.

4.7.3. Resultados

Una vez validado el modelo y obtenida la versión final hidráulica del código utilizado, se corrió la simulación para obtener los resultados hidrológicos de la cuenca estudiada. Los resultados son para un tiempo de recurrencia de 10 años y una duración del análisis de 6 horas.

La pendiente de los conductos y las calles se encuentra entre el 1 y el 5% (imagen 48). En el caso de la Av. San Juan en el tramo entre Balcarce y Paseo Colón la pendiente se encuentra entre el 5 y el 10%, ya que la topografía del terreno presenta marcados desniveles (véase 13).



Imagen N° 48. Pendiente de los conductos y calles. Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

El nivel máximo de agua en las calles de la cuenca de interés es de 3 metros, con excepción de aquellas ubicadas sobre Av. Paseo Colón. Mientras que los conductos cuentan con una altura interna máxima del agua menor a 2 metros (sin considerar aquellos sobre Paseo Colón).

La velocidad promedio del fluido en los conductos y en las calles es de 0.01 m/s. Mientras que la velocidad máxima de los conductos varía entre 1 y 4 m/s y aquella en las calles es menor a 1 m/s (imagen 49). El caudal máximo de la gran mayoría de los conductos y calles de la cuenca es menor a 5 m³/s. La gran mayoría de los conductos y calles están menos de 1 hora trabajando a sección llena.



Imagen N° 49. Velocidad máxima de los conductos y calles. Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

En la imagen 50 se observa la Av. San Juan desde Av. 9 de Julio hasta Azopardo en el pico de la misma (42 minutos). El volumen de agua en la calle es muy bajo debido a que la sección es grande (30 metros).

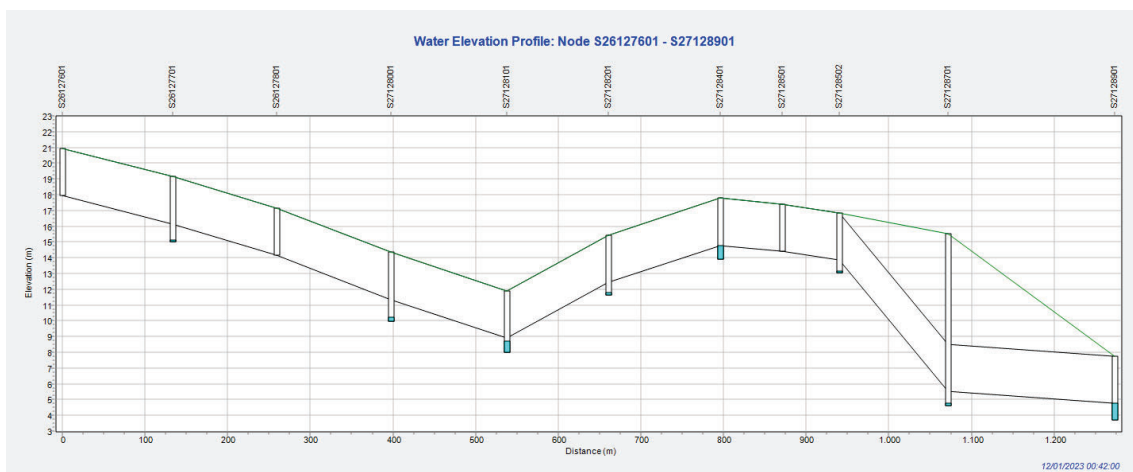


Imagen N° 50. Resultado modelación sobre Av. San Juan. Nota: comienza en Bernardo de Irigoyen/Av. 9 de Julio (izquierda - nodo S26127601)) y finaliza en Azopardo (derecha - nodo S27128901). Fuente: simulación realizada en SWMM.

A continuación se presenta la situación actual de los conductos sobre Av. San Juan a partir de la simulación realizada en el pico de cada tramo de conductos. La línea negra representa el perfil del conducto, aquella verde es la elevación del terreno y nivel máximo que puede alcanzar el

agua antes de desbordarse fuera del mismo, la línea azul es el nivel del agua en el conducto en un momento específico.

Se puede notar que el agua supera al conducto en prácticamente todos los tramos analizados. Esto significa que en el pico de la lluvia, el agua ha llenado completamente el conducto y alcanzó niveles por encima de su capacidad o se encuentra trabajando casi al máximo de su capacidad para la zona. De este modo, se está trabajando a sección llena en una situación de colapso. Sin embargo, en ninguno de los casos supera el nivel del terreno, por lo que no alcanza una situación de desbordamiento crítico. En todo caso alcanza una situación de incomodidad de agua en la calle, pero no inundación.

En los tramos que el nivel del agua está muy cerca del borde del conducto, la implementación de un SUDS podría ayudar a evitar esta problemática.

En la imagen 51 se observa el perfil de conductos iniciando en la calle San José, cruzando 9 de Julio y finalizando en Tacuarí. Se trata de los conductos aguas arriba de la zona de intervención. El comportamiento hidráulico de este perfil se muestra con el nivel de agua dentro de los límites del conducto, de forma que no se observa sobrecarga e insuficiencia, si bien en algunos tramos se encuentra trabajando a sección llena.

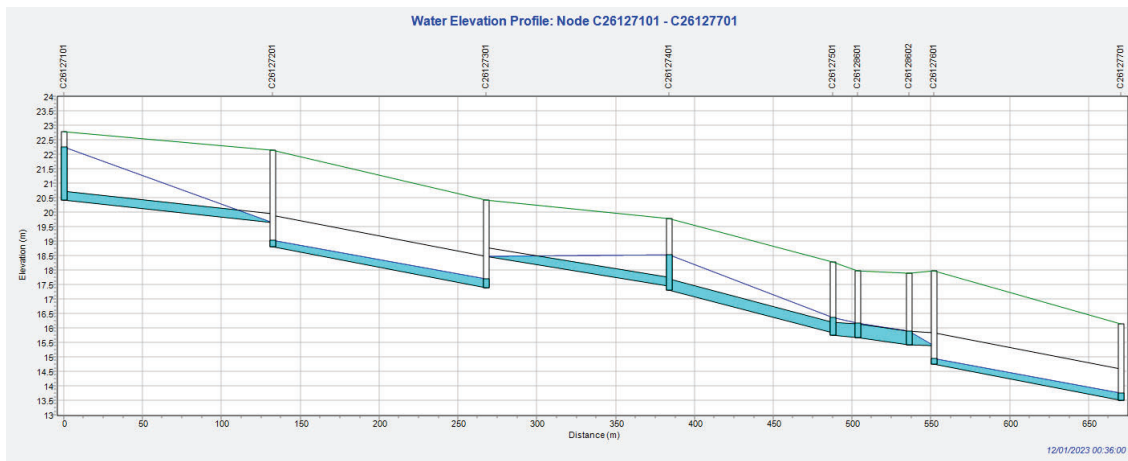


Imagen N° 51. Resultado modelación de conductos en tramo entre San José y Tacuarí. Fuente: simulación realizada en SWMM.

En los conductos presentados a continuación, hay un tramo inicial y medio con una capacidad de flujo moderado y un conducto prácticamente lleno. La topografía tiene su punto bajo en calle Perú (véase imagen 13 del presente capítulo), comportamiento respetado por los conductos.

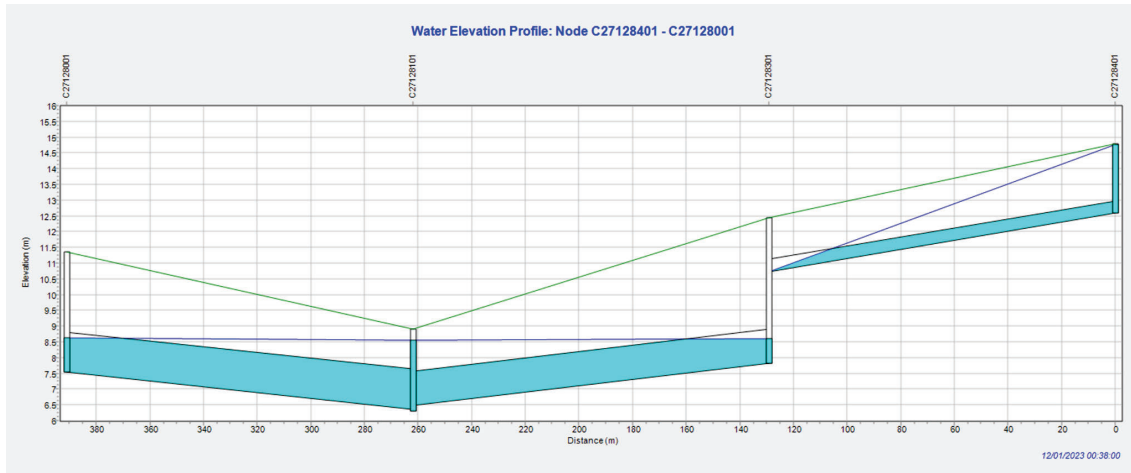


Imagen N° 52. Resultado modelación de conductos en tramo entre Chacabuco y Defensa. Fuente: simulación realizada en SWMM.

En la imagen 53 se observa un tramo inicial que cuenta con una alta capacidad de flujo, una pendiente pronunciada y un conducto casi lleno en esta sección. Luego, hay un cambio brusco en elevación luego de cruzar Av. Paseo Colón, con una caída significativa en el terreno. Por último, hay un flujo constante con menos capacidad y un terreno prácticamente plano.

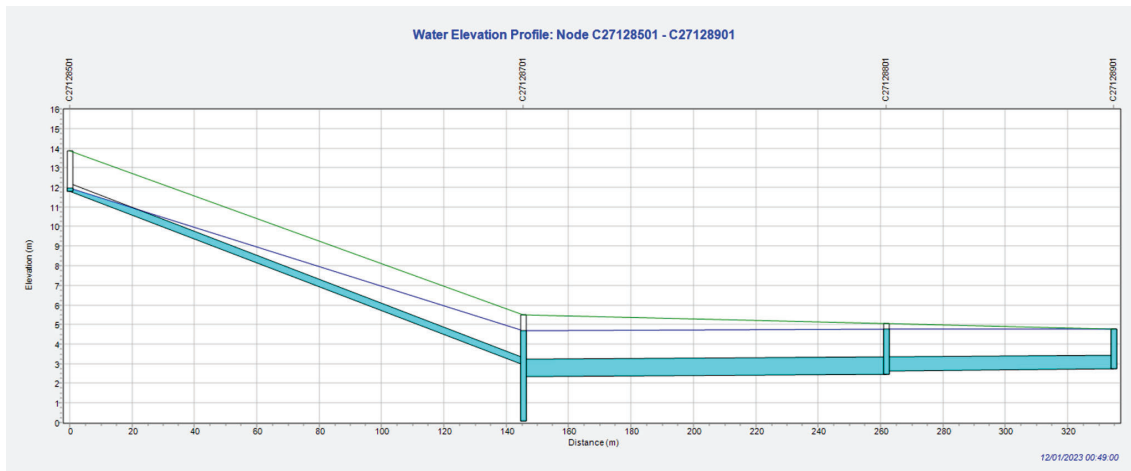


Imagen N° 53. Resultado modelación de conductos en tramo entre Balcarce e Ing. Huergo. Fuente: simulación realizada en SWMM.

En relación a los nodos de la Cuenca Radio Antiguo, en la imagen 54 se observa la elevación máxima del agua en los nodos, de forma que permite evaluar la capacidad del sistema de drenaje y detectar posibles puntos de sobrecarga del sistema. Si bien se observan algunos puntos por encima de los 20 m de elevación, los mismos no se encuentran en el área de intervención.



Imagen N° 54. Elevación máxima del agua en los nodos (m). Fuente: elaboración propia en base a simulación realizada en SWMM.

4.8. Conclusiones

El exhaustivo diagnóstico realizado en la cuenca Radio Antiguo permitió identificar las características clave del sistema de drenaje, así como sus principales limitaciones y oportunidades de mejora. Los puntos más destacados son los siguientes:

- La cuenca Radio Antiguo cuenta con un sistema pluvio-cloacal diseñado en 1871, adaptado a una situación base histórica que ha sido ampliamente superada por el aumento en la intensidad de las lluvias, la impermeabilización del suelo y el crecimiento poblacional. Esto ha llevado a que el sistema opere a sección llena en varios tramos, indicando un estado crítico cercano al colapso. Prácticamente no se han realizado modificaciones en el sistema de desagües de dicha cuenca.
- Según la bibliografía consultada, la cuenca presenta un bajo riesgo hídrico general, aunque se han identificado deficiencias de conducción localizada para eventos de hasta cinco años de recurrencia.
- Se logró modelar y validar con éxito la hidrología e hidrodinámica del sistema mediante el software SWMM de la EPA, proporcionando resultados fiables y representativos de las condiciones actuales de la cuenca a los fines del presente proyecto.
- A nivel hidrológico, los resultados indicaron:
 - Un elevado porcentaje de áreas impermeables (entre el 60 y el 80%), que junto con factores como el coeficiente de escorrentía y las características de la precipitación, contribuye a un alto volumen de escorrentía total en las subcuencas (mayor a 40 mm durante el periodo modelado).



- Una baja capacidad de infiltración (menor a 25 mm), acentuando la dependencia del sistema de conducción.
- Picos de esorrentía medios, que contribuyen al rápido llenado de los conductos.
- A nivel hidrodinámico, los resultados señalaron:
 - Altas pendientes en las calles y conductos, que favorecen el transporte del agua, aunque las velocidades de flujo se mantienen moderadas, con valores menores a 1 m/s en las calles y entre 1 y 4 m/s en los conductos.
 - Conductos operando a sección llena durante menos de una hora, sin alcanzar sobrecarga según la elevación máxima del agua en los nodos.
 - Durante los picos de lluvia, los conductos sobre Av. San Juan operan a sección llena, generando incomodidad en la vía pública pero sin desbordamientos significativos que produzcan inundaciones.

Este análisis pone de manifiesto las limitaciones del sistema actual y la necesidad de implementar soluciones que optimicen la gestión del agua pluvial en la cuenca. Si bien el área no presenta un alto riesgo hídrico, las condiciones actuales justifican el desarrollo del presente proyecto como una medida preventiva e integral que permita mejorar la resiliencia del sistema y reducir las molestias urbanas.

Capítulo 5: Diseño del Proyecto

5.1. Proyecto Urbanístico y Selección de Alternativas

5.1.1. Interferencias

Para definir el tipo de proyecto a realizar se comenzó relevando el terreno y realizando un análisis de interferencias, en adición a las interferencias de servicios evaluadas en etapa de diagnóstico. El objetivo puntual de este estudio fue identificar la mano en la cual sería conveniente realizar el proyecto de SUDS.

Se destaca que, al momento de seleccionar la ubicación del proyecto, el área no contaba con transporte público. Sin embargo, en la actualidad el colectivo 126 volvió a pasar por la zona recorriendo 4 cuadras sobre la Av. San Juan. Los ramales A y B recorren la avenida entre Bernardo de Irigoyen doblando en Perú a la izquierda, y contando con una parada en la zona del proyecto.

Se contabilizaron los estacionamientos y entradas y salidas a edificios, así como otros tipos de interferencias que generan cortes en la linealidad del proyecto. En total se identificaron 13 de la mano derecha y 18 de la mano izquierda (véase el detalle en la tabla A.9 del Anexo).

En el plano a continuación se plasmaron dichas interferencias (véase en mayor detalle en el Plano N° 1).



Imagen N° 1. Interferencias en la zona de intervención. Fuente: elaboración propia.



De este análisis se destacan las siguientes conclusiones:

- Mano izquierda:
 - Presencia de una escuela y otro tipo de entidades educativas y recreativas
 - Mayores entradas a edificios
- Mano derecha:
 - Una parada de colectivo
 - Presencia de espacios verdes

En base a dichas conclusiones se optó por realizar el proyecto de mano derecha, potenciando los espacios verdes con el SUDS, evitando las instituciones educativas y minimizando los cortes en la linealidad del proyecto.

5.1.2. Geometría de elementos de calle

Para la definición del tipo de proyecto urbanístico se tuvieron en cuenta los distintos elementos de calle disponibles. Se utilizó de base los manuales de la National Association of City Transportation Officials - NACTO - (NACTO, 2011; 2013; 2016) y las guías y criterios de diseño utilizados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Los elementos de calle que se identificaron necesarios evaluar para el proyecto fueron:

- Acera
- Buffer
- Ciclovía
- Calzada
- SUDS

En relación a la acera, las alternativas consideradas en base a las características de la zona fueron las identificadas en la imagen 2. Se trata de (i) una acera estrecha con un ancho total de 3 metros, con un mínimo recomendado de paso libre de 2.4 m, (ii) una acera de tipo “cinta” que implicaría la unificación de las cazuelas para generar un corredor verde de aproximadamente 1.5 metros de ancho y, por último, (iii) una acera estrecha con árboles o mobiliario urbano tal como existe en la situación actual. En todos los casos son para calles con baja densidad o, en el último caso, para calles residenciales de densidad media (NACTO, 2013; 2016).

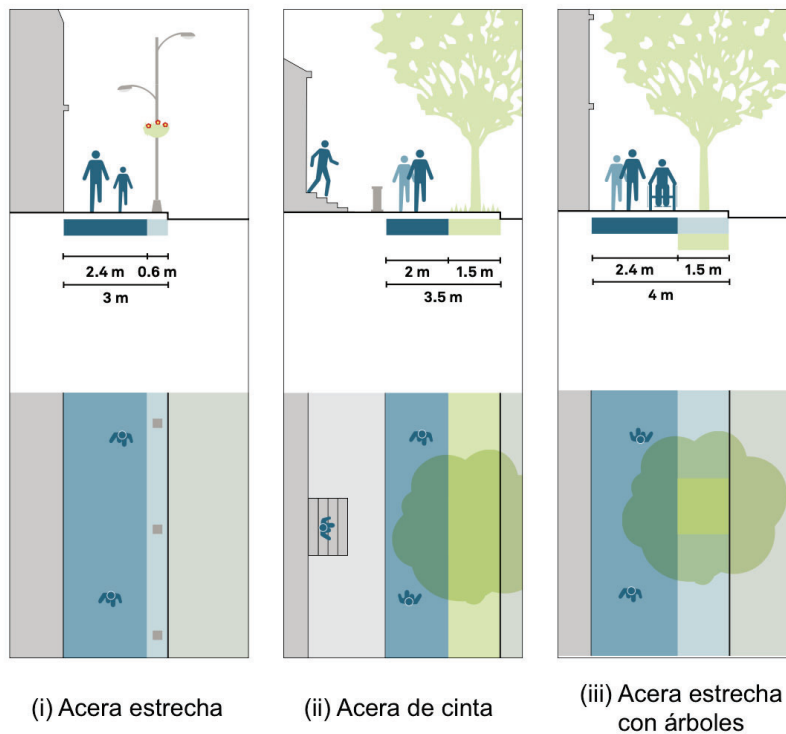


Imagen N° 2. Alternativas de acera. Fuente: NACTO (2016).

El proyecto plantea la incorporación de instalaciones para ciclistas, de forma de generar un corredor apto para este tipo de transporte que conecte las ciclovías existentes en la zona. Se considera prioritaria la alternativa de una ciclovía por sobre una biciesenda⁵.

Las ciclovías pueden contemplar la instalación de un buffer que, según el uso, cuenta con distinta geometría. Un buffer cuyo objetivo es la instalación de plantas y aislación de la ciclovía se recomienda con un mínimo de 1 metros, mientras para estacionar autos se recomienda entre 2.1 m y 2.7 m (NACTO, 2011; 2013; 2016). La Ciudad utiliza en algunas situaciones buffer de aproximadamente 75 cm. Se considera que el buffer es únicamente necesario en los casos en los cuales la ciclovía se encuentra adyacente a la calzada, de forma de cumplir un rol de seguridad vial.

Para el proyecto se evaluaron alternativas tanto de ciclovías bidireccionales como unidireccionales (imagen 3). Dentro de aquellas bidireccionales (*bidireccional cycle tracks*) se recomienda la siguiente geometría: 3.6 metros - mínima 2.4 m - más un buffer de 1 m según NACTO (2011); un ancho de 2.5 m con un buffer de 75 cm de acuerdo a los proyectos del GCBA. A su vez, las ciclovías unidireccionales consideradas pueden ser en altura (*raised cycle track*) o sobre el nivel de la calle con buffer (*buffered cycle lane*). Las ciclovías unidireccionales varían entre los 1.8 y 2 metros (NACTO, 2016). En el caso de estas ciclovías se plantean en paralelo al sentido vehicular, no a contracorriente.

⁵ Una ciclovía es una infraestructura cuya traza se encuentra ubicada sobre la calzada, delimitada por separadores físicos. Una biciesenda se implanta sobre veredas, parques, plazas y en vías peatonales separadas de la calzada.

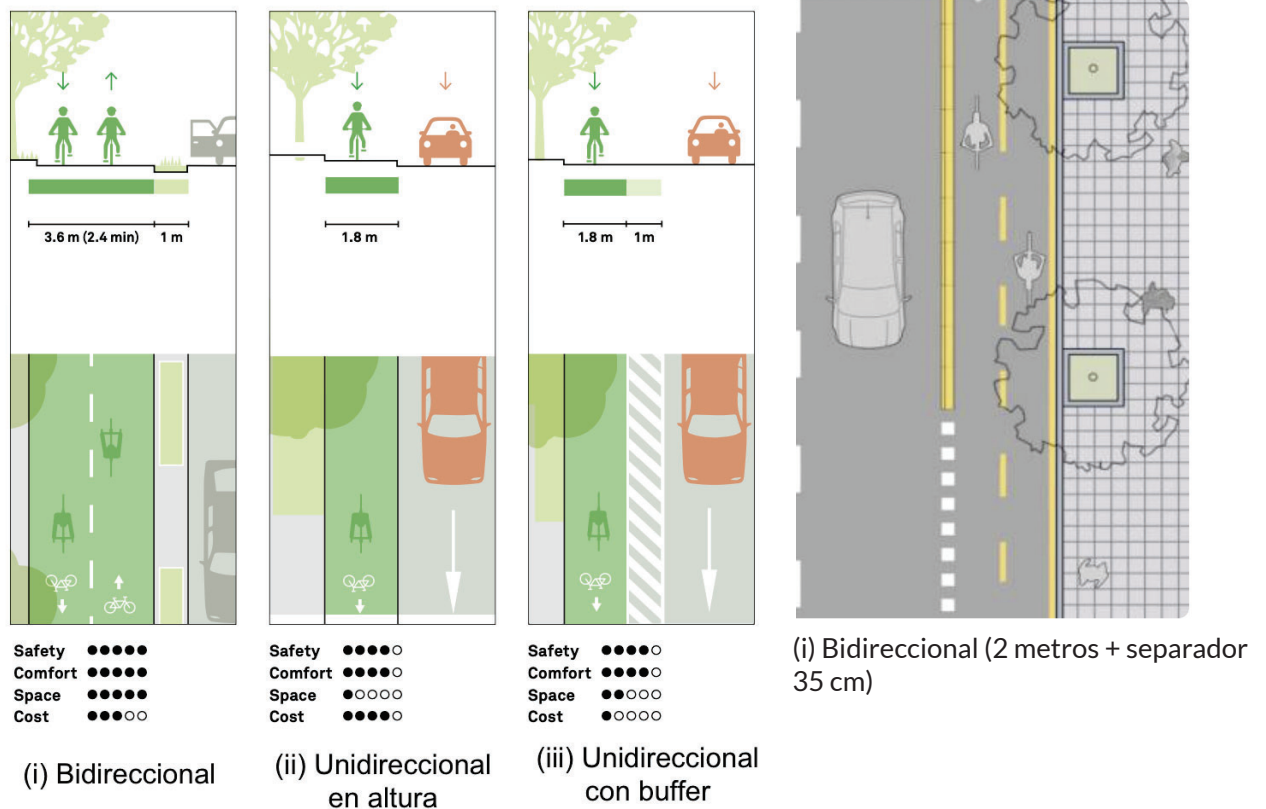


Imagen N° 3. Alternativas de ciclovía. Fuente: NACTO, 2016 (izq.) y [GCBA](#), en línea (der.).

La calzada ideal es de 3 metros para evitar sobrantes viales y, de esta forma, que sean carriles aptos para vehículos grandes (NACTO, 2011; 2013; 2016). En este caso la calzada promedio es de 3 metros por lo que no se consideran otras alternativas al respecto.

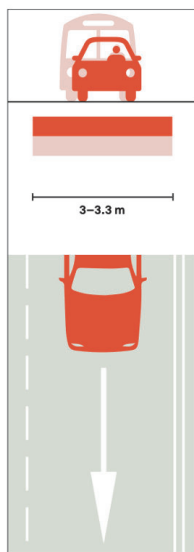


Imagen N° 4. Carriles para vehículos grandes. Fuente: NACTO (2016).



La geometría para los SUDS se plantea con el ancho sobrante considerando la ocupación del 50% de la calzada, es decir tres de los seis carriles existentes. Esto implica un ancho que varía entre los 6 y 8 metros.

Por último, el cruce peatonal no debe ser considerado de menos de 3 metros de ancho (NACTO, 2016).

El resto de los elementos de calle (señales de tránsito, signos en el pavimento, etc.) se plantean tal como se llevan a cabo en el resto de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires según los lineamientos del GCBA.

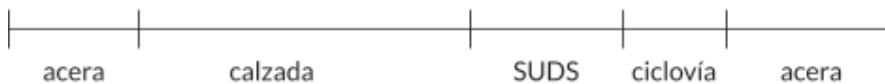
5.1.3. Alternativas iniciales

Luego de evaluar los distintos elementos de calle y de generar intercambios con el GCBA, se realizó un borrador general de las distintas alternativas iniciales, considerando en esta instancia únicamente el corte de la calle con la ubicación de los elementos.

Actualmente las aceras son de más de 3 metros en todos los casos. Para el presente proyecto no se consideró una intervención sobre las mismas debido al uso gastronómico y comercial en algunas de las cuadras.

Se presentan a continuación las siete alternativas consideradas.

Opción A



Opción B



Opción C





Opción D



Opción E



Opción F



Opción G



Imagen N° 5. Alternativas iniciales consideradas. Fuente: elaboración propia.

Nota: las opciones A, B y C pueden considerar ciclovías uni o bidireccionales. La opción D, E, F y G considera dos ciclovías unidireccionales.

5.1.4. Preselección y criterios

Se establecieron los criterios a tener en consideración para la preselección y definición de alternativas para el proyecto en cuestión. Los mismos fueron:

1. Económico:

A grandes rasgos se tuvo en cuenta el costo asociado que implicaría la excavación para la materialización del proyecto. A su vez, se consideró el gasto inicial de las alternativas incluyendo materiales y el costo de la repavimentación de las áreas afectadas por las obras y el mantenimiento futuro de la infraestructura propuesta.



2. Hidráulico:

Se consideró la capacidad de cada alternativa de gestionar el agua de lluvia según la capacidad de almacenamiento y la posibilidad de tratar la escorrentía existente según las pendientes de la calzada.

3. Urbanístico:

Se considera cómo cada alternativa se integra con el entorno urbano existente, teniendo en cuenta la estética, la biodiversidad y la accesibilidad de los espacios verdes adyacentes. A su vez, se tiene en cuenta la contribución a la mejora y conservación de los espacios verdes existentes, potenciando su uso y disfrute por parte de la comunidad local. En este criterio se considera la utilización de los SUDS con uso recreativo encontrándose adyacente a la vereda, se incluye también la planificación urbana de la Ciudad por parte del GCBA.

4. Social:

Se considera cómo cada opción minimiza las interferencias con los accesos a cocheras y propiedades vecinas, así como presencia de instituciones educativas y deportivas, priorizando la comodidad y seguridad de los residentes.

5. Vial:

Se considera cómo cada alternativa afecta el flujo de tráfico en la Av. San Juan, priorizando la seguridad vial y la comodidad de conductores, ciclistas y peatones. Asimismo, se evalúa cómo se distribuye el espacio entre vehículos, ciclistas y peatones, asegurando una circulación eficiente y segura para todos los usuarios de la vía y el ancho remanente de la calzada.

En base a estos criterios se preseleccionaron alternativas. Se definió si cada una de las alternativas iniciales cumplían o no con los criterios establecidos, colocándose un valor de “3” cuando presentaba el mayor beneficio en relación al mismo, “1” cuando no favorece a dicho componente y “2” cuando no afecta particularmente. Se avanzó para analizar en mayor detalle las dos alternativas que presentaron un número de beneficios mayor a 10 en relación a los criterios analizados.

Tabla N° 1. Preselección de alternativas en base a los criterios considerados

Alternativa	Criterio					Definición
	Económico	Hidráulico	Urbanístico	Social	Vial	
Opción A	3	1	1	3	3	11
Opción B	3	1	3	3	2	12
Opción C	2	1	3	1	2	9
Opción D	1	1	3	1	1	7
Opción E	1	1	1	1	2	6
Opción F	1	3	1	1	1	7
Opción G	1	3	3	1	1	9

Fuente: elaboración propia.

5.1.5. Alternativas

De esta forma, se procedió a analizar en detalle las opciones A y B, considerando que el proyecto se va a desarrollar de mano derecha debido al análisis de interferencias realizado anteriormente. A su vez, se consideró la opción de desarrollar tanto ciclovía unidireccional como bidireccional en ambos casos. Para cada una de las situaciones analizadas se consideró la posibilidad de mantener la calzada abovedada actual o repavimentar mediante la implementación de una calle de convivencia.

Se presentan los planos de las alternativas consideradas, con su vista en planta y corte con las medidas correspondientes. Para mayor detalle véase Planos N° 3 a 6.



Imagen N° 6. Vista en planta *Alternativa A* con ciclovía bidireccional. Fuente: elaboración propia.

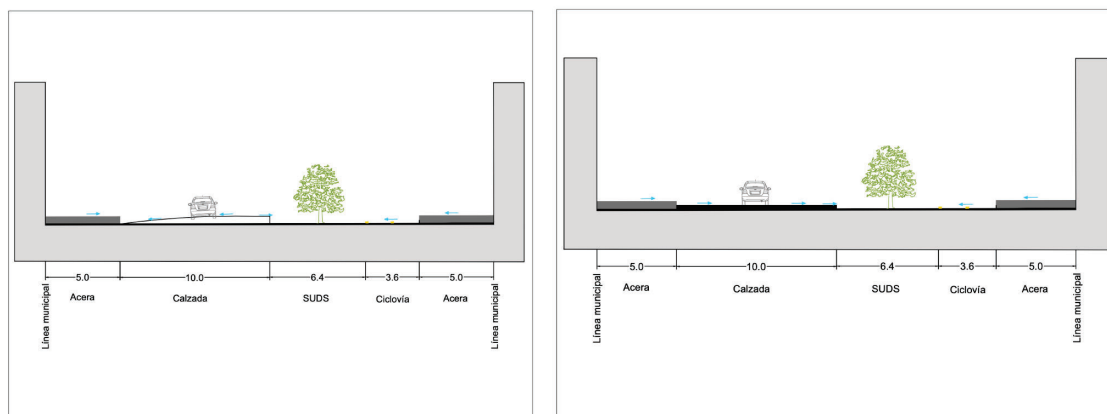


Imagen N° 7. Vista en corte *Alternativa A* con ciclovía bidireccional. Calle con pendientes actuales (izq.) y calle de convivencia (der.). Fuente: elaboración propia.



Imagen N° 8. Vista en planta *Alternativa A* con ciclovía unidireccional. Fuente: elaboración propia.

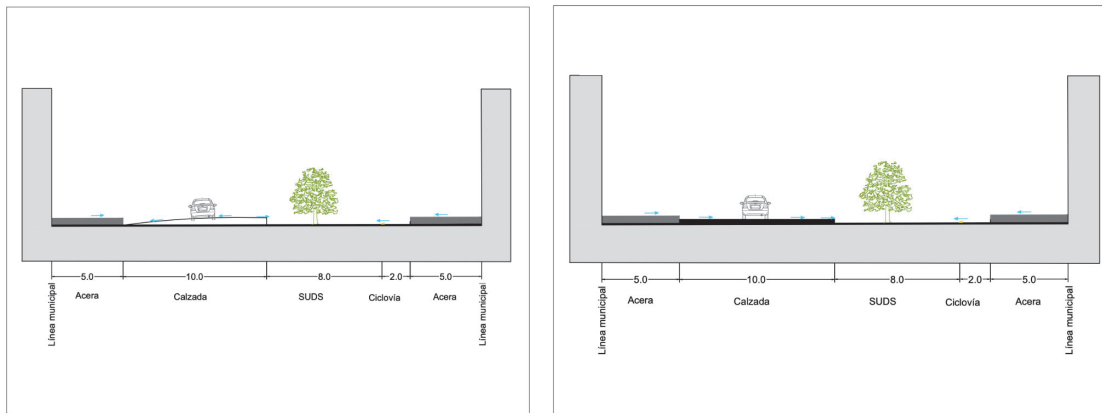


Imagen N° 9. Vista en corte *Alternativa A* con ciclovía unidireccional. Calle con pendientes actuales (izq.) y calle de convivencia (der.). Fuente: elaboración propia.



Imagen N° 10. Vista en planta *Alternativa B* con ciclovia bidireccional. Fuente: elaboración propia.



Imagen N° 11. Vista en corte *Alternativa B* con ciclovia bidireccional. Calle con pendientes actuales (izq.) y calle de convivencia (der.). Fuente: elaboración propia.



Imagen N° 12. Vista en planta *Alternativa B* con ciclovia unidireccional. Fuente: elaboración propia.



Imagen N° 13. Vista en corte *Alternativa B* con ciclovia unidireccional. Calle con pendientes actuales (izq.) y calle de convivencia (der.). Fuente: elaboración propia.

Los argumentos desarrollados para cada una de las alternativas fueron:

- **Pendiente:**
 - Se optó por mantener las pendientes existentes actualmente por el alto costo que implicaría una repavimentación, si bien la totalidad de la escorrentía se trataría en esta última situación.
- **Ciclovia:**
 - La planificación urbana llevada a cabo por el GCBA implica el diseño de ciclovías unidireccionales en avenidas, en el sentido de la misma. Siguiendo este criterio, lo ideal sería proyectar sobre Av. San Juan una ciclovia unidireccional la cual tenga su par vial en Av. Independencia.



- Alternativa B:
 - Paisajísticamente los SUDS cercanos a la vereda generan sinergia con los espacios verdes existentes y generan un espacio recreativo de valor (alternativa B).
- Alternativa A:
 - Utilizando la alternativa A no se cuenta con un buffer de forma que la calzada contaría con un sobreebanco de calzada.
 - La ciclovía se encuentra alejada de los autos, de forma que es más seguro vialmente.

En base a las conclusiones identificadas anteriormente, se seleccionó la **alternativa A con ciclovía unidireccional**.

5.2. Proyecto Técnico: Memoria de Cálculo

5.2.1. Consideraciones iniciales

Para la evaluación de alternativas y memoria de cálculo se consideraron tres tipos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable: cuneta verde, zanja de infiltración y área de biorretención. En la sección 3.4. punto 8, 7 y 11 respectivamente se presenta una descripción de dichas tipologías (capítulo 3 - Marco Teórico).

En primer lugar se tuvo en cuenta el área a intervenir, con el ancho y longitud de intervención seleccionado anteriormente. Se presenta en la siguiente tabla el cómputo de superficies general.

Tabla N° 2. Cómputo de superficies

Superficie	Valor
Longitud Intervención (m)	943.49
Ancho ciclovía (m)	2
Área ciclovía (m ²)	1,886.98
Ancho SUDS (m)	8
Área SUDS (m ²)	7,547.92
Área total (m²)	9,434.90

Fuente: elaboración propia.

El ancho superior (W_s) es el ancho del SUDS a la altura del nivel del terreno. La longitud de cada celda (L_{SUDS}) es considerada a los fines del diseño con una longitud estándar, es decir la longitud total de la intervención dividida en 7 cuadras. En etapa de proyecto ejecutivo se deberá estudiar la intervención en cada cuadra. De esta forma se calculó el área máxima de cada celda del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible:

$$A_{Máx\ SUDS} = W_{Sup} * L_{SUDS} \quad (Ecuación\ 19)$$

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla N° 3. Valores por celda

Parámetros	Valor
W_{Sup} (m)	8
L_{SUDS} (m)	134.78
$A_{Max SUDS}$ (m ²)	1,078.27

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al área a intervenir se utilizó el software QGIS para el cálculo de la intersección de los SUDS con cada una de las subcuencas. Se presenta la misma en el mapa de la imagen 14.

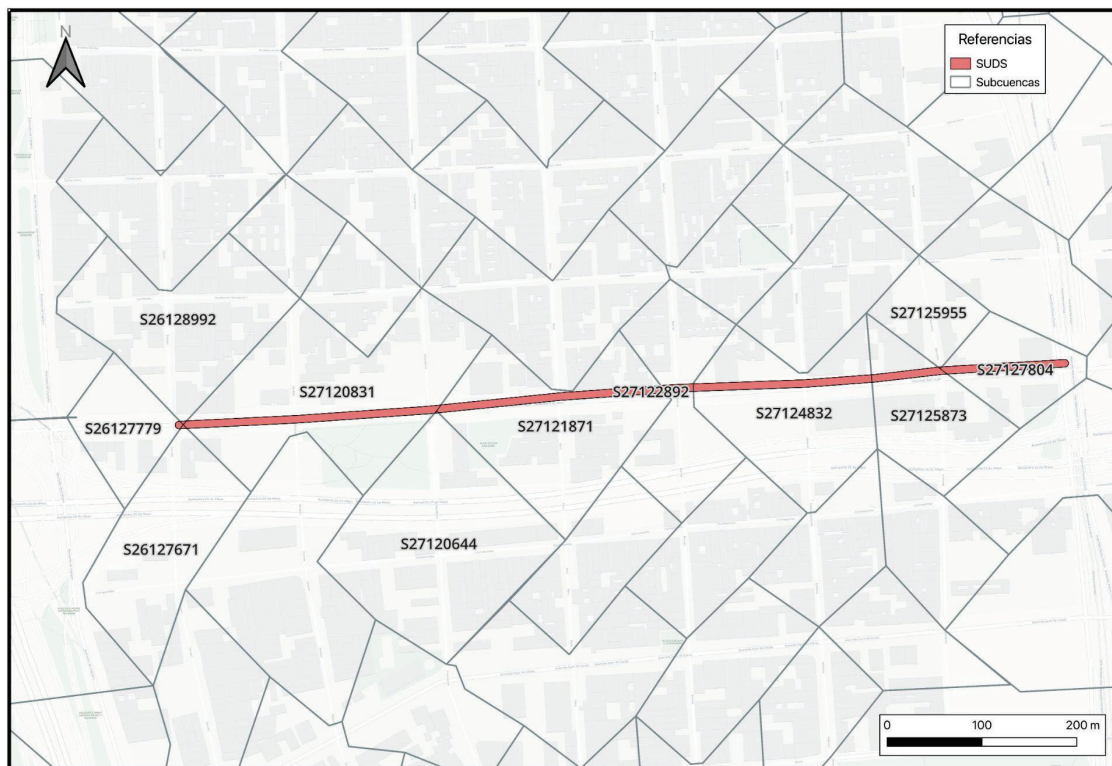


Imagen N° 14. Intersección área a intervenir SUDS y las subcuencas correspondientes. Fuente: elaboración propia.

Como se indicó, el área de la intersección fue calculada mediante las herramientas presentes en QGIS. De este modo se calculó la ocupación de los SUDS mediante el cociente entre el área de los SUDS y de cada subcuenca. Luego, se adoptó el número de unidades a diseñar teniendo como premisa de diseño que el sistema no tenga una longitud mayor a una cuadra (aproximadamente 130 m) y se calculó el área de cada unidad y la longitud de cada una. El ancho del sistema fue adoptado en base a los parámetros urbanísticos definidos en el apartado anterior o medido en el mapa para los casos que ocupan un área muy pequeña de la subcuenca. Las ecuaciones utilizadas se indican a continuación:

$$Ocupación\ SUDS\ (\%) = A_{intersección} (m^2) / A_{subcuenca} (m^2) \quad (Ecuación\ 20)$$

$$A_{unidad} (m^2) = A_{intersección} (m^2) / N^o\ unidades \quad (Ecuación\ 21)$$



$$L_{SUDS\ Unidad}(m) = A_{unidad}(m^2) / W_{SUDS}(m) \quad (Ecuación\ 22)$$

Luego, se calculó el aporte del área impermeable tratada. Para esto se consideró el ancho de la calzada impermeabilizada según la acera a intervenir:

$$A_{impermeable}(m^2) = L_{impermeable}(m) * W_{impermeable}(m) \quad (Ecuación\ 23)$$

$$A_{impermeable}(\%) = A_{impermeable}(m^2) / A_{subcuenca}(m^2) \quad (Ecuación\ 24)$$

Se consideró un área permeable a tratar del 0%.

En relación a la saturación inicial, se consideró del 5% para todas las subcuencas. Una saturación inicial baja implica que el SUDS va a poder absorber mayor caudal de agua al inicio de la lluvia, lo cual es eficiente para el tipo de tormentas que existen en la zona de estudio. De esta forma, el contenido de humedad de la capa superficial del suelo depende de la porosidad y de la saturación inicial. El porcentaje de saturación inicial va a influir en la retención inicial del agua, el escurrimiento superficial y los procesos de infiltración.

A continuación se presenta la tabla con los resultados para las 11 subcuencas de interés.



Tabla N° 4. Datos de entrada de SUDS y subcuencas

Subcuenca	Área Subcuenca ha	Área Intersección SUDS m ²	Ocupación SUDS %	N° Unidades	Área Unidad m ²	Ancho SUDS m	Longitud SUDS m	Longitud aporte impermeable m	Ancho aporte impermeable m	Área Impermeable m ²	Área impermeable tratada %
S27127804	1.06	1053.06	9.93%	1.00	1053.06	8.00	131.63	131.63	7.00	921.43	8.69%
S27125955	0.79	3.89	0.05%	1.00	3.89	1.90	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00%
S27125873	1.54	603.88	3.91%	1.00	603.88	8.00	75.48	80.00	7.00	560.00	3.63%
S27124832	2.43	1508.08	6.21%	2.00	754.04	8.00	94.26	188.51	7.00	659.79	2.72%
S27122892	1.76	252.74	1.44%	1.00	252.74	8.00	31.59	28.90	7.00	202.30	1.15%
S27121871	2.76	1907.44	6.91%	2.00	953.72	8.00	119.22	238.43	7.00	834.51	3.02%
S27120831	3.66	2139.50	5.84%	2.00	1069.75	8.00	133.72	267.44	7.00	936.03	2.56%
S27120644	3.66	4.36	0.01%	1.00	4.36	2.15	2.03	4.00	7.00	28.00	0.08%
S26127779	1.02	46.58	0.46%	1.00	46.58	8.00	5.82	5.82	7.00	40.76	0.40%
S26127671	2.24	14.95	0.07%	1.00	14.95	4.00	3.74	7.10	7.00	49.70	0.22%
S26128992	2.62	13.44	0.05%	1.00	13.44	4.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00%

Fuente: elaboración propia.

Estos valores fueron cargados en el programa SWMM, para luego ser vinculados a las distintas tipologías de SUDS prediseñadas, según la siguiente interfaz.

☐ LID Occupies Full Subcatchment
 Area of Each Unit (sq ft or sq m)
 Number of Units
 % of Subcatchment Occupied
 Surface Width per Unit (ft or m)
 % Initially Saturated
 % of Impervious Area Treated
 % of Pervious Area Treated
 Send Drain Flow To:
 (Leave blank to use subcatchment outlet)

☐ Return all Outflow to Pervious Area

LID Control Name CunetaVerde

LID Control Name ZanjaInfiltracion

LID Control Name Biorretención

Imagen N° 15. Datos a cargar en SWMM. Fuente: interfaz SWMM.

Para el diseño de las distintas alternativas y la simulación del modelo en SWMM se utilizó una lluvia de 2 años de recurrencia, es decir que, estadísticamente, puede ocurrir una vez cada dos años. Se trata de un evento relativamente común y no extremadamente severo. Se utiliza este tipo de eventos para el diseño de los SUDS ya que el objetivo es poder asegurar que el sistema pueda manejar eventos de lluvia frecuentes y típicos, que son los que ocurren habitualmente. De esta forma se asegura que el sistema de drenaje sea funcional, costeable y ambientalmente beneficioso en la mayoría de las situaciones que enfrentará. Por ende, utilizar una baja recurrencia permite evaluar de manera realista el impacto y la utilidad de los SUDS en el contexto de una lluvia cotidiana.

5.2.2. Cañería de drenaje

Tanto la zanja de infiltración (alternativa 2) como el sistema de biorretención (alternativa 3) cuentan con la posibilidad de diseñar una cañería de drenaje en la capa de almacenamiento. Se realizó un predimensionamiento del caudal en cada subcuenca para poder seleccionar el tipo de cañería y calcular luego los parámetros de diseño necesarios para la modelación en SWMM.

En primer lugar, se calculó el área ocupada por los SUDS y el área impermeable a tratar mediante la sumatoria de ambas, y luego se calculó la incidencia de las mismas en cada subcuenca:

$$Incidencia_{SUDS} (\%) = A_{SUDS + Impermeable} (m^2) / A_{subcuenca} (m^2) \quad (Ecuación 25)$$

Por otro lado, se corrió en SWMM el modelo hidrológico e hidrodinámico de base para 2 años de recurrencia y se obtuvieron los resultados de la escorrentía total y la infiltración total para cada subcuenca (véase la tabla A.10 de resultados hidrológicos). Con estos resultados se calculó la lámina de lluvia generada en escorrentía e infiltración en el área tratada, luego se calculó el volumen y por último el caudal. Se consideró un período de 2 horas ya que es el lapso temporal de la lluvia de diseño adoptada (véase imagen 31 capítulo 4 y tabla A.6). Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$Escorrentía_{tratada}(mm) = Incidencia_{SUDS}(\%) * Escorrentía_{Subcuenca}(mm) \quad (Ecuación 26)$$

$$Escorrentía_{tratada}(m^3) = Escorrentía_{tratada}(m) * A_{SUDS + Impermeable}(m^2) \quad (Ecuación 27)$$

$$Infiltración_{tratada}(mm) = Incidencia_{SUDS}(\%) * Infiltración_{Subcuenca}(mm) \quad (Ecuación 28)$$

$$Infiltración_{tratada}(m^3) = Infiltración_{tratada}(m) * A_{SUDS + Impermeable}(m^2) \quad (Ecuación 29)$$

$$V_{total\ tratado}(m^3) = Escorrentía_{tratada}(m^3) + Infiltración_{tratada}(m^3) \quad (Ecuación 30)$$

$$Q_{Tot}(l/s) = V_{total\ tratado}(l) / 7200(s) \quad (Ecuación 31)$$

Se trata de un predimensionamiento inicial para tener un orden de magnitud del caudal a ser generado en cada subcuenca y de esta forma poder seleccionar qué cañería de drenaje se puede utilizar. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Tabla N° 5. Cálculos Preliminares de Caudal por Subcuenca

Subcuenca	Incidencia SUDS %	Escorrentía tratada mm	Infiltración tratada mm	Área SUDS + Impermeable m ²	Escorrentía tratada m ³	Infiltración tratada m ³	Volumen total m ³	Q total l/s
S27127804	19%	6.88	2.66	1974.49	13.58	5.25	18.83	2.62
S27125955	0%	0.02	0.01	3.89	0.00	0.00	0.00	1.37E-05
S27125873	8%	2.79	1.07	1163.88	3.25	1.25	4.50	0.63
S27124832	12%	4.27	1.66	2827.65	12.06	4.70	16.76	2.33
S27122892	3%	0.96	0.37	455.04	0.44	0.17	0.60	0.08
S27121871	13%	4.78	1.85	3576.45	17.11	6.61	23.72	3.30
S27120831	11%	4.05	1.56	4011.56	16.25	6.28	22.52	3.13
S27120644	0%	0.03	0.01	32.36	0.00	0.00	0.00	2.02E-04
S26127779	1%	0.32	0.12	87.33	0.03	0.01	0.04	0.01
S26127671	0%	0.11	0.04	64.65	0.01	0.00	0.01	1.33E-03
S26128992	0%	0.02	0.01	13.44	0.00	0.00	0.00	4.90E-05

Fuente: elaboración propia.



De este modo, sabiendo que el orden de magnitud del caudal a tratar es como máximo 3.3 l/s, se seleccionó un caño ranurado para el drenaje con las especificaciones técnicas adecuadas. Se consideró una pendiente del 1% de la zanja (véase diseño Alternativas 2 y 3 a continuación). En el anexo (imagen A.7 y A.8) se presenta el detalle del manual utilizado y los rangos de caudal utilizados para el diámetro de cañería. Se optó por utilizar una cañería de 160 mm, la cual acepta un caudal máximo de hasta 6.42 l/s. Se trata de una tubería de drenaje corrugada de doble pared de PEAD, material que presenta mayor resistencia que el PVC, con las siguientes características:

Tabla N° 6. Detalles cañería seleccionada

Parámetro	Valor
Diámetro nominal DN (mm)	160
Diámetro interior Di (mm)	135
Espesor e (mm)	12.2
Canales por metro	366
Cortes perimetrales	4
Longitud ranura l (mm)	25.4
Ancho ranura a (mm)	1.7
Sección de drenaje (cm ² /m)	105.3

Fuente: [Ingemecánica](#).

Una vez seleccionado el tipo de sistema de drenaje, se procedió a calcular los parámetros de diseño necesarios para la modelación en SWMM. Para esto se utilizó la sección 6.5.8 del Manual del software (Rossman & Huber, 2016). Los principales parámetros que se utilizan para modelar son los siguientes:

- Coeficiente de flujo de descarga – C_{3D} (*flow coefficient*): determina la velocidad a la que el agua fluye a través del drenaje.
- Exponente de flujo de descarga – η_{3D} (*flow exponent*): determina el cambio del flujo con respecto a la presión o nivel del agua.

Se utilizó un enfoque que asume que el caudal está limitado por la velocidad a la que el agua puede entrar en las ranuras de la tubería, de este modo se utiliza la ecuación de un orificio (Rossman & Huber, 2016):

$$q = C_{3D} * (h_3)^{0.5} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde q es el caudal, C_{3D} el coeficiente de flujo y h_3 la altura de descarga del flujo.

Para el exponente de flujo de descarga (η_{3D}) se adopta un valor de 0.5 según este enfoque, de forma que el coeficiente de flujo es (Rossman & Huber, 2016):

$$C_{3D} = 0.6 * \sqrt{2g} * (A_{\text{ranuras tot}} / A_{\text{SUDS}}) \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde: $A_{\text{ranuras tot}}$ es el área total de las ranuras de la cañería de drenaje (ft²), A_{SUDS} el área de la unidad del sistema urbano de drenaje sostenible (ft²), g la aceleración de la gravedad (32.2 ft/s²) y C_{3D} es el coeficiente de flujo en ft/s.

De esta forma, se procedió a calcular las respectivas áreas. El área del SUDS fue calculada considerando el área total del sistema dividido 7 (véase tabla 3). El área ranurada fue calculada de la siguiente forma:



$$A_{ranura}(mm^2) = l_{ranura}(mm) * a_{ranura}(mm) \quad (Ecuación 34)$$

donde A_{ranura} es el área de una sola ranura, l_{ranura} es la longitud de la misma y a_{ranura} es el ancho.

Se calculó el número de ranuras presente en 100 metros (longitud de cuadra estándar) según las características de la cañería de la tabla 6, y con ese valor se calculó el área total ranurada en 100 metros:

$$A_{ranuras\ tot}(m^2) = N^{\circ}_{ranuras/100\ m} * A_{ranura}(m^2) \quad (Ecuación 35)$$

Con dichos valores se utilizó la ecuación 33 para calcular el coeficiente de flujo. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 7.

Tabla N° 7. Parámetros de diseño obtenidos para la cañería de drenaje

Parámetro	Valor
$A_{ranura}(mm^2)$	43.18
$N^{\circ}_{ranuras/100\ m}$	36,600
$A_{ranuras\ tot}(m^2)$	1.58
$A_{ranuras\ tot}(ft^2)$	17.01
$A_{SUDS}(m^2)$	1,078.27
$A_{SUDS}(ft^2)$	11,606.54
$g(ft/s^2)$	32.20
$C_{3D}(ft/s)$	$71 * 10^{-4}$
$C_{3D}(mm/h)$	5,531,578.95

Fuente: elaboración propia.

Otros parámetros de diseño para la cañería de drenaje fueron:

- Desplazamiento (h_{fondo}) (*offset*): es la altura desde el fondo de la unidad hasta el punto donde comienza la cañería de drenaje. Con un valor mayor se permite mayor almacenamiento antes de la salida mediante el drenaje.
- Nivel de apertura (*open level*): se refiere al nivel del agua a partir del cual la cañería comienza a abrirse, de modo de proteger contra el desbordamiento. Implicaría colocar una válvula que se abre cuando el nivel del agua alcanza el nivel de apertura definido.
- Nivel de cierre (*closed level*): refiere al nivel de agua necesario para detener la liberación de la misma. Es decir, se asegura de mantener un mínimo de agua en la unidad de control. Implicaría colocar una válvula que se cierra cuando el nivel del agua baja al nivel de cierre definido. Este nivel debe encontrarse por encima del nivel de apertura.
- Curva de control (*control curve*): describe cómo cambia el flujo en función del nivel del agua o la presión.

Se realizaron pruebas adoptando niveles de apertura y cierre, pero se confirmó que al utilizar dichos parámetros el agua no llega al conducto por la magnitud del volumen tratado.

5.2.3. Cañería subsidiaria

Como se puede notar en la imagen 29 de la sección 4.3.5 del capítulo 4, la Av. San Juan no cuenta con cañería de desagües pluviales entre la calle Tacuarí y Chacabuco (2 cuadras) y luego entre Defensa y Balcarce. De este modo, se consideró necesaria colocar una cañería subsidiaria entre Tacuarí y Chacabuco de forma de poder coleccionar el caudal de la cañería de

drenaje. Se tomaron de referencia los criterios de diseño utilizados por la DGNIRUB (GCBA, 2020a). Véase el detalle de la cañería incorporada en el Plano N° 11.

En primer lugar se diseñó el conducto, incorporando un nuevo nodo/intersección de entrada y conectándolo al nodo de salida existente. Para este tipo de situaciones, se utilizan conductos de PEAD de DN 400 y una forma circular (GCBA, 2020a). La profundidad máxima del conducto está dado por el diámetro interno del mismo (véase imagen A.7 para especificaciones) en metros.

Se midió la longitud necesaria de modo de comenzar en la esquina de Piedras y San Juan y conectarse al conducto existente a la altura de la intersección con la calle Chacabuco. Considerando una pendiente de 2‰ (GCBA, 2020a) y la elevación de fondo del nodo de salida ya existente, se calculó la elevación de fondo del nodo de entrada y posteriormente se calculó el desnivel en la salida.

$$H_{fondo\ entrada}(m) = s(\%) * l(m) + H_{fondo\ salida}(m) \quad (Ecuación\ 36)$$

Donde $H_{fondo\ entrada}$ es la elevación de fondo del nodo incorporado, s es la pendiente de la cañería, l la longitud de la cañería y $H_{fondo\ salida}$ la elevación de fondo del nodo existente.

$$\Delta H_{salida}(m) = H_{fondo\ entrada}(m) - H_{fondo\ salida}(m) \quad (Ecuación\ 37)$$

Donde ΔH_{salida} es el desnivel en la salida.

La rugosidad utilizada fue aquella para una cañería de polietileno en servicio (0.009) (véase imagen A.6). El coeficiente de pérdida de entrada y de salida de la cañería es el mismo que para el resto de la Cuenca Radio Antiguo.

La profundidad máxima de la intersección ($H_{max\ nodo}$) fue calculada del siguiente modo:

$$H_{Max\ Nodo}(m) = H_{terreno}(m) - H_{fondo\ entrada}(m) \quad (Ecuación\ 38)$$

La elevación del terreno ($H_{terreno}$) es de 11.35 m.

La profundidad de sobrecarga y el área inundable utilizada para el nodo del conducto fue la misma que se utilizó para diseñar la hidrodinámica de la totalidad de la cuenca.

En relación al sumidero, si bien el resto de la Cuenca se encuentra modelada con sumideros de forma circular con una captación controlada por el diámetro del nexo, en este caso se diseñó un sumidero rectangular equivalente a los circulares según la cantidad de rejas. Se utilizaron las siguientes relaciones:

Tabla N° 8. Relación y valores para sumidero rectangular

Diámetro (m)	# Rejas	Altura (m)	Ancho (m)
0.3	1	0.21	0.45
0.4	2	0.21	0.8
0.5	3	0.22	1.1
0.6	4	0.22	1.4
0.7	5	0.23	1.8
0.8	6	0.25	2.7

Fuente: información suministrada por especialista en MIKE. Nota: el sombreado indica los parámetros seleccionados.



Se diseñó así un sumidero rectangular con 4 rejas, un desnivel en la entrada de 1 cm por encima del nivel de calle (véase Plano N° 12). Se adoptó el coeficiente de descarga utilizado en los sumideros linderos.

De esa forma los valores obtenidos y adoptados para el diseño de la cañería son los presentados en la tabla 9.

Tabla N° 9. Valores de cañería subsidiaria

Conducto (C26127801.1_L)	
Forma	Circular
Profundidad máxima (m)	0.34
Longitud (m)	140
Pendiente (‰)	2
Rugosidad (n de Manning)	0.009
Desnivel en la entrada (m)	0.3
Desnivel en la salida (m)	0.28
Coef. de pérdida de entrada	0.15
Coef. de pérdida de salida	0.015
Intersección (C26127801_L)	
Elevación de fondo (m)	7.81
Profundidad máxima (m)	3.54
Profundidad inicial (m)	0
Profundidad de sobrecarga (m)	10
Área inundable (m³)	200
Sumidero (S26127801.3)	
Tipo	Lado (<i>side</i>)
Forma	Rectangular Cerrado
Altura (m)	0.22
Ancho (m)	1.4
Desnivel en la entrada (m)	0.01
Coeficiente de descarga	0.707107

Fuente: elaboración propia.

Nota: en el conducto se colocó 0 para el flujo inicial, máximo flujo, coeficiente de pérdida promedio, tasa de pérdida por filtración (*seepage loss rate*), y no se utiliza compuerta (*flap gate*) ni entradas (*inlets*), tal



como la totalidad del resto de los conductos de la Cuenca. La elevación de fondo del nodo de salida es 7.53 (m).

Una vez diseñado dicho conducto, se procedió a identificar a qué conducto se busca enviar el flujo de drenaje del SUDS según subcuenca. Observando los planos y el modelo, se conformó la tabla 10.

Tabla N° 10. Valores de cañería subsidiaria

Subcuenca	Destino flujo drenaje
S27127804	C27128701
S27125955	C27128501
S27125873	C27128501
S27124832	C27128401
S27122892	C27128301
S27121871	C27128101
S27120831	C27128001
S27120644	C27128001
S26127779	C26127801_L
S26127671	C26127801_L
S26128992	C26127801_L

Fuente: elaboración propia.

Se cargó la información en la interfaz del modelo.

5.2.4. Alternativa 1: cuneta verde

La cuneta verde es un tipo de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible simple, conformado por una sola capa de diseño: la superficie. Dicha capa es modelada mediante la ecuación de continuidad (véase ecuación 11 en Cap. 3 Marco Teórico sección 3.5.5.).

Los parámetros de diseño utilizados para la modelación en SWMM son los siguientes (Rossman & Huber, 2016):

- Altura del terraplén (H_T): se trata de la altura del borde de la berma/terraplén que ayuda a contener el agua previo a que se desborde.
- Fracción de volumen con vegetación (V_v): es la proporción del volumen de la superficie ocupada por vegetación. Varía entre 0 y 1, donde 0 significa sin vegetación y 1 completamente cubierta.
- Rugosidad de la superficie: es el coeficiente de Manning.
- Pendiente de la superficie (S_s): es la pendiente de la superficie de la cuneta en la dirección del flujo vertical.
- Pendiente lateral de la cuneta (S_L): es la relación entre el recorrido horizontal y la elevación vertical de las paredes laterales.

En adición a dichos parámetros, se ha diseñado la cuneta verde con otros parámetros (Rossman & Huber, 2016):

- Capa superficial (H_s): es el espesor de la capa superficial, la cual se recomienda cuente con especies vegetales nativas. Esta capa evita la erosión de los suelos en pendientes y propicia la absorción de nutrientes.
- Profundidad de encharcamiento ($H_{\max \text{ agua}}$): se trata de la profundidad máxima de agua que la cuneta puede retener antes de que ocurra un desbordamiento.
- Profundidad del borde libre (H_{FB}): se describe a través de la siguiente ecuación y tal como se esquematiza en la imagen 16.

$$H_T = H_{FB} + H_{\text{Máx agua}} \quad (\text{Ecuación 39})$$

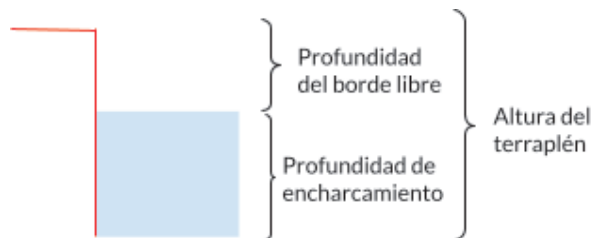


Imagen N° 16. Esquema de algunos parámetros superficiales. Fuente: elaboración propia.

- Ancho de fondo de la cuneta (W_f): es el ancho de la cuneta verde en el fondo de la misma.

$$W_f = W_s - (2 * H_{\text{Max Agua}} * S_L) \quad (\text{Ecuación 40})$$

- Fracción de huecos en superficie (V_{hs}): es la fracción del volumen de la superficie que cuenta con espacios vacíos, en tanto llenos de aire o agua, lo cual afecta a la capacidad de almacenamiento. Es el valor inverso a la fracción de volumen de vegetación.

$$1 = V_{hs} + V_v \quad (\text{Ecuación 41})$$

Se considera despreciable la porosidad del medio en la capa superficial.



- Índice de captación: es la proporción del flujo que la cuneta verde puede capturar y tratar antes de que el exceso se convierta en escorrentía por fuera del sistema. Cuanto más alto el valor, mayor proporción de flujo trata el sistema.

La capa superficial estará conformada por 40% el suelo existente, 25% de compost, 15% arena y 20% marga.

En la tabla a continuación se presentan los distintos parámetros de diseño, con los rangos aconsejados y los parámetros adoptados o calculados según las ecuaciones indicadas anteriormente.

Tabla N° 11. Parámetros de diseño cuneta verde

Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossmann & Huber (2016) ⁶	Valor utilizado
Capa: superficie (*)				
H_T	mm	300	N/A	300
V_V		0.1	0 - 0.2	0.15
n Manning		0.04	0.03 - 0.2	0.1
S_s	%	> 0.01 (aconseja 1)	0.5 - 3	1
S_L	Horiz:Vert	≥ 3:1 (aconseja 3)	2.5:1 - 4:1	4
Otros parámetros⁷				
W_F	m	> 0.5	2 - 8	6.4
H_s	cm	10 - 15	-	15
$H_{\text{máx agua}}$	m	-	0.15 - 0.61	0.2
H_{FB}	m	N/A	N/A	0.1
V_{hs}		-	0.8 - 1	0.85
índice de captación		-	5 - 10	7

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) refiere a los parámetros a ser utilizados en la modelación en SWMM.

⁶ Se recuerda que la fuente citada es el Manual del programa SWMM.

⁷ "Otros parámetros" refiere a parámetros de diseño que fueron calculados para realizar un análisis detallado, pero que no son incorporados por el programa SWMM en la modelación.

5.2.5. Alternativa 2: zanja de infiltración

La zanja de infiltración está formada por dos capas: superficie y almacenamiento. Esta última formada a su vez por la cañería de drenaje. Un esquema de la zanja de infiltración se puede observar en la imagen 17, donde se observa la capa superficial (dl) y la capa de almacenamiento (d).

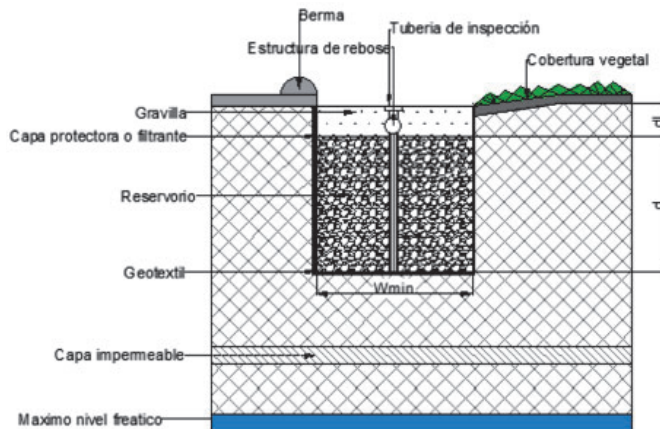


Imagen N° 17. Esquema de zanja de infiltración. Fuente: Pérez Hurtado (2020).

La capa superficial se encuentra diseñada mediante los siguientes parámetros: altura del terraplén, la fracción de volumen con vegetación, la rugosidad y la pendiente de la superficie. En adición, la superficie cuenta la fracción de huecos en superficie, la profundidad de encharcamiento ($H_{\text{max agua}}$) y la profundidad del borde libre (H_{fb}). Todos estos parámetros se encuentran descritos en la alternativa 1 (sección 5.2.4).

La capa de almacenamiento es modelada mediante la ecuación de continuidad (véase ecuación 12 en Cap. 3 Marco Teórico sección 3.5.5). Los parámetros de diseño utilizados para la modelación en SWMM se describen a continuación:

- Espesor (e): se trata de la profundidad del área de almacenamiento.
- Índice de vacíos/huecos (I_{ha}): es una medida de la relación entre el volumen de vacíos en un material poroso y el volumen de sólidos del mismo material. Determina la cantidad de agua que puede ser almacenada en esta capa de almacenamiento. Se calcula mediante la siguiente relación:

$$I_{ha} = V_{ha} / (1 - V_{ha}) \quad (\text{Ecuación 42})$$

- Tasa de filtración: es la velocidad a la que el agua puede infiltrarse desde la cama de almacenamiento al suelo ubicado bajo el mismo. Se puede utilizar para este valor la tasa mínima de infiltración del modelo de Horton.
- Factor de obstrucción: es un coeficiente que representa la probabilidad a la que la capa de almacenamiento puede obstruirse en el tiempo. Un factor alto implica una mayor tendencia a la obstrucción.

Otros parámetros de la capa de almacenamiento son:

- Fracción de vacíos/huecos (V_{ha}): mide el porcentaje del volumen total que es espacio vacío. Se trata de un parámetro análogo al indicado para la capa superficial. En el contexto de la modelación en el programa SWMM el presente parámetro coincide con la porosidad (Φ), ya que es la medida del volumen total de un material que está ocupado por espacios vacíos/huecos, lo que determina su capacidad para almacenar líquidos.

Esta relación se encuentra descripta del siguiente modo (Rossman & Simon (2022):

$$V_{ha} = \phi = I_{ha} / (1 + I_{ha}) \quad (\text{Ecuación 43})$$

- Índice de captación: se trata de la relación entre el volumen de agua de lluvia tratado por la zanja y el volumen total de escorrentía generado. Un alto valor indica que la zanja de infiltración es eficaz en el manejo del agua de lluvia, mientras que un valor bajo implica que se puede generar algún tipo de desbordamiento.

La capa de almacenamiento estará rellena en su totalidad con grava con el dren en la parte inferior. La capa superficial tendrá las mismas características de la Alternativa 1 (suelo existente 40%, compost 25%, arena 15% y marga 20%).

Los parámetros de diseño del sistema de drenaje son aquellos indicados en la sección 5.3.2., a saber: coeficiente de flujo de descarga (C_{3D}), exponente de flujo (η_{3D}), desplazamiento (h_{fondo}), nivel de apertura y nivel de cierre. Se realizó un análisis de sensibilidad de los últimos tres parámetros para evaluar el comportamiento con la modificación de los mismos. Dicho análisis confirmó que adoptando niveles de apertura y de cierre el agua infiltra o se almacena completamente, sin lograr tener una salida mediante el conducto. Para la definición del h_{fondo} dentro del rango deseado, se confirmó que con la disminución de dicha altura aumenta la salida mediante el drenaje y disminuye el almacenamiento final. Debido a que el objetivo deseado es la retención e infiltración del caudal de agua para evitar el desbordamiento en los conductos pluvio-cloacales, se adoptó un valor de 150 mm de h_{fondo} .

Se indican los valores adoptados, y los rangos utilizados de referencia, así como los parámetros calculados mediante las ecuaciones oportunamente señaladas.

Tabla N° 12. Parámetros de diseño zanja de infiltración

Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossman & Huber (2016)	Valor utilizado
Capa: superficie				
H_T	mm	300	152.4 - 304.8	300
V_V		-	0	0.05
n Manning		0.04	0.03 - 0.2	0.05
S_s	%	< 1	0	0.5
Otros parámetros⁸				
$H_{máx\ agua}$	m	-	0.15 - 0.61	0.15
H_{FB}	mm	> 300	< 305	150
V_{hs}		-	1	0.95
S_L	H:V	< 4:1	-	3
W_F	m			7.1
H_s	cm	10 - 15	-	15

⁸ "Otros parámetros" refiere a parámetros de diseño que fueron calculados para realizar un análisis detallado, pero que no son incorporados por el programa SWMM en la modelación.



Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossman & Huber (2016)	Valor utilizado
índice de captación		-	5 - 10	7
Capa: almacenamiento				
e	mm	< 2400	914.4 - 3657.6	1000
I_{ha}		0.43 - 0.67	0.25 - 0.67 0.5 - 0.75 (*)	0.7
Tasa de filtración	mm/h	12.7		12.7
Factor de obstrucción			0 (**)	0
Otros parámetros				
$V_{ha} (\Phi)$	%	0.3 - 0.4	0.2 - 0.4	0.41
Índice de captación			5 - 20	10
Capa: drenaje (***)				
C_{3D}	mm/h	N/A	N/A	5,531,578.95
η_{3D}		N/A	N/A	0.5
h_{fondo}	mm	> 80	0 - 152	150
Nivel apertura	mm	N/A	N/A	0
Nivel cierre	mm	N/A	N/A	0

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) dichos rangos fueron extraídos de la guía al usuario de SWMM realizada por Rossman & Simon (2022).

(**) se recomienda utilizar cero para ignorar el atascamiento.

(***) se recuerda que en la sección 5.3.2 fueron explicadas las distintas ecuaciones y justificaciones para los valores utilizados.

5.2.6. Alternativa 3: área de biorretención

El área de biorretención es un SUDS que se puede representar conceptualmente como una serie de 3 capas horizontales (imagen 18): superficial, suelo y almacenamiento. La última capa, de almacenamiento, es aquella que cuenta con el sistema de drenaje (cuarta sección de diseño). La capa superficial recibe el agua de lluvia y la escorrentía, láminas que se pierden en forma de evapotranspiración e infiltración a la capa de suelo. El agua percola desde el suelo hacia la capa de almacenamiento debajo de ella. La última capa, de almacenamiento, consistente en grava, pierde agua por infiltración al suelo natural y tiene una salida a través del sistema de drenaje subterráneo (Rossman & Huber, 2016).

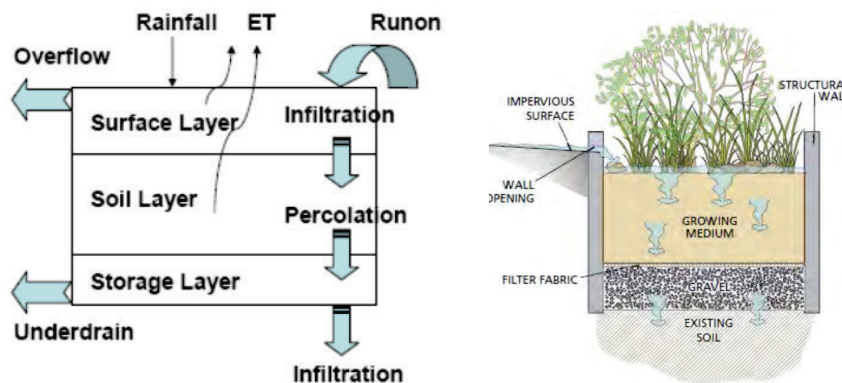


Imagen N° 18. Estructura típica de un área de biorretención. Fuente: Rossman & Huber (2016).

Tanto la capa superficial como la de almacenamiento y drenaje cuentan con los parámetros y ecuaciones indicadas en la alternativa 2 anterior (sección 5.2.5).

La capa de suelo es modelada mediante la ecuación de continuidad de flujo (véase ecuación 13 en Cap. 3 Marco Teórico sección 3.5.5) y se diseña con los siguientes parámetros (Rossman & Huber, 2016):

- Espesor (e): es la profundidad del sustrato del suelo utilizado en el área de biorretención. Mediante un análisis de sensibilidad de parámetros del área de biorretención, se comprobó que a mayor espesor de la capa de suelo existe menor infiltración y salida de caudal mediante la cañería de drenaje, es decir que el agua se almacena en el suelo y prácticamente no varía con el tiempo. Se adoptó un valor bajo de este parámetro (siempre dentro del rango aconsejado en la bibliografía) para que el sistema, con el pasar del tiempo, libere el agua almacenada hacia el drenaje o infiltre al subsuelo.
- Porosidad (Φ): es la fracción de volumen total del suelo ocupada por espacios porosos.
- Capacidad de campo (FC): se trata del contenido de agua que es retenido en el suelo luego de ser saturado con agua. Representa el contenido de humedad del suelo y se describe como el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco.
- Punto de marchitez (WP): es el punto de humedad mínima en el cual las plantas no pueden continuar extrayendo agua del suelo, llegando las mismas a una pérdida hídrica o estado de marchitez.
- Conductividad (K): la relación a la cual el agua puede moverse a través del suelo.
- Pendiente de conductividad (s_K): representa el cambio en la conductividad del suelo con respecto a la profundidad. Un valor mayor indica una variación más significativa con la profundidad.

- **Succión (Ψ):** es la tensión del agua del suelo en la interfaz entre un suelo completamente saturado y parcialmente saturado. Esto es la cantidad de succión necesaria para extraer agua del suelo. La relación entre la succión y la conductividad puede derivarse de esta ecuación (Rossman & Simon, 2022):

$$\Psi = 3.237K^{-0.328} (R^2 = 0.9) \quad (\text{Ecuación 44})$$

El tipo de suelo en CABA es un loess secundario, es decir un suelo limo arcilloso con una compactación variable (SEGEMAR, 2001). Sin embargo, para el diseño del área de biorretención se optó por utilizar suelos de mejor calidad conformados por limo y marga⁹. De esta forma, se seleccionaron los parámetros de diseño presentes en Rossman & Huber (2016) y en Rossman & Simon (2022).

Tabla N° 13. Características del suelo según clase

Clase de Textura del Suelo	K (in/h)	Ψ (in)	Φ	FC	WP
Arena	4.74	1.93	0.437	0.062	0.024
Arena limosa	1.18	2.40	0.437	0.105	0.047
Marga arenosa	0.43	4.33	0.453	0.190	0.085
Marga	0.13	3.50	0.463	0.232	0.116
Marga limosa	0.26	6.69	0.501	0.284	0.135
Marga arcillosa arenosa	0.06	8.66	0.398	0.244	0.136
Marga arcillosa	0.04	8.27	0.464	0.310	0.187
Marga arcillosa limosa	0.04	10.63	0.471	0.342	0.210
Arcilla arenosa	0.02	9.45	0.430	0.321	0.221
Arcilla limosa	0.02	11.42	0.479	0.371	0.251
Arcilla	0.01	12.60	0.475	0.378	0.265

Fuente: Rossman & Simon (2022) a partir de Rawls, W.J. et al., (1983). J. Hyd. Engr., 109:1316.

Nota: en sombreado se indican los valores adoptados.

En particular, para el punto de marchitez se utilizó un valor de 0.005. Esto implica que el suelo prácticamente no cuenta con un nivel de humedad mínima en el cual las plantas comienzan a secarse, de modo que la humedad inicial del suelo – y disponible por lo tanto para la vegetación – depende únicamente de la saturación inicial de la subcuenca y de la porosidad. Se adoptó dicho valor ya que el volumen de almacenamiento inicial en SWMM está dado por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{inicial}} = Hum_{\text{suelo}} * e_{\text{suelo}} \quad (\text{Ecuación 45})$$

$$Hum_{\text{suelo}} = WP + S_{\text{ini}} * (\Phi - WP) \quad (\text{Ecuación 46})$$

Donde V_{inicial} es el volumen inicial de almacenamiento, Hum_{suelo} es la humedad del suelo en la unidad de biorretención, e_{suelo} el espesor, WP el punto de marchitez, S_{ini} la saturación inicial del suelo y Φ la porosidad del mismo.

⁹ La marga es un tipo de suelo compuesto por una mezcla de arena, limo y arcilla.

En base a un análisis de sensibilidad de los parámetros, y considerando el objetivo del proyecto y de esta alternativa, se obtuvieron los valores propuestos. Se observó que el punto de marchitez era un parámetro con alta sensibilidad.

El suelo seleccionado a utilizar tendrá las siguientes características: limo 35%, marga 60% y arena 5%. Al igual que la alternativa anterior, la capa de almacenamiento estará conformada por grava mientras que la capa superficial será 25% compost, 40% suelo existente, 15% arena y 20% marga. Se presenta como necesario evaluar la capacidad del suelo seleccionado para poder asegurar en la práctica la efectividad del mismo. Se deberá evaluar la capacidad de drenaje y realizar pruebas de infiltración y retención de agua.

Para el diseño del sistema de drenaje se adoptó una altura de desplazamiento (h_{fondo}) mínima, para evitar el almacenamiento excesivo del agua en la unidad y lograr que la misma se evacúe mediante el caño ranurado.

Los parámetros de diseño utilizados, con sus respectivos rangos de valores, se presentan en la tabla 14.

Tabla N° 14. Parámetros de diseño área de biorretención

Capa: superficie						
Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossman & Huber (2016)	NACTO (2017)	Woods Ballard et al. (2015)	Valor utilizado
H_T	mm	300	152.4 - 304.8	102 - 452.5	150 - 300	300
V_v		-	0 - 0.2			0.2
n Manning		0.04	0.03 - 0.2			0.2
S_s	%	< 1	0			0.5
Otros parámetros						
Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossman & Huber (2016)	NACTO (2017)	Spraakman et al. (2020)	Valor utilizado
$H_{m\acute{a}x\ agua}$	m	< 3 (aconseja 0.3)		0.051 - 0.305 (*)	0.15	0.15
H_{FB}	mm			50.8 - 152.4 (**)		150
V_{hs}		-	0.8 - 1			0.8
S_L	H:V	< 4:1 (aconseja 2)		2.5:1 - 4:1		3
W_F	m			> 1.2		7.1
H_s	cm	10 - 15				15
índice de captación		-	5 - 10			7



Capa: suelo (***)					
Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossmann & Huber (2016)	Spraakman et al. (2020)	Valor utilizado
e	mm	≥ 450	609.6 - 1219.2	140 - 3200	550
Φ		Véase tabla 12.	0.45 - 0.6	Véase tabla 12.	0.501
FC			0.15 - 0.25		0.232
WP			0.05 - 0.15		0,005
K	mm/h		50.8 - 139.7		6.604
s _K			30 - 55		10
Ψ	mm		50.8 - 101.6		88.9
Capa: almacenamiento					
Parámetro	Unidad	Pérez Hurtado (2020)	Rossmann & Huber (2016)	Rossmann & Simon (2022)	Valor utilizado
e	mm	330 - 380	152.4 - 914.4	150 - 450	450
I _{ha}		0.75	0.25 - 0.67	0.5 - 0.75	0.7
Tasa de filtración	mm/h	12.7			12.7
Factor de obstrucción			0 (***)		0
Otros parámetros					
V _{ha} (Φ)	%	0.3 - 0.4	0.2 - 0.4		0.41
Índice de captación			5 - 15		10
Capa: drenaje (****)					
C _{3D}	mm/h	N/A	N/A		5,531,578.95
η _{3D}		N/A	N/A		0.5
h _{fondo}	mm	> 80	0 - 152		5
Nivel apertura	mm	N/A	N/A		0
Nivel cierre	mm	N/A	N/A		0

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) se recomienda 150 mm para calles comerciales.

(**) se recomienda 100 mm.

(***) se recomienda utilizar cero para ignorar el atascamiento.

(****) se recuerda que en la sección 5.3.2. fueron explicadas las distintas ecuaciones y justificaciones para los valores utilizados.

5.2.7. Resultados

Se corrieron los tres modelos y se compararon los resultados obtenidos con la hidrología e hidrodinámica generada en la etapa de diagnóstico.

El programa arroja los datos de precipitación, evaporación, infiltración y escorrentía. Para las subcuencas que cuentan con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible se computa el ingreso, la pérdida por evaporación, pérdida por infiltración, la escorrentía/desbordamiento superficial, el caudal de egreso mediante el conducto, el almacenamiento inicial y final. Los resultados completos se presentan en las tablas A.10 y A.11 del anexo.

El objetivo hidrológico del presente proyecto es que aumente la infiltración y, principalmente, disminuya la escorrentía. Esto, sin perder de vista que el ciclo hidrológico es un conjunto de interacciones dinámicas entre los distintos compartimientos (véase Capítulo 3), por lo que no se puede evaluar únicamente el impacto en, por ejemplo, la infiltración sin tener en consideración la evaporación, almacenamiento o escorrentía. El balance hidrológico de los SUDS se presenta del siguiente modo:

$$\text{Ingreso} = \text{Evap} + \text{Infiltración} + \text{Escorrentía} + \text{Drenaje} + \Delta \text{Almacenamiento} \quad (\text{Ecuación 47})$$

De esta forma, se comparó la infiltración entre la situación del diagnóstico de base y las tres alternativas mediante la sumatoria de la infiltración total de cada subcuenca y la pérdida por infiltración en el SUDS. La totalidad de las alternativas aumentan la infiltración en el terreno, lo cual es consistente con el aumento del área permeable por despavimentación. Se observa que la alternativa 2 es aquella que mayor infiltración presenta, seguida por la alternativa 1 y por último la alternativa 3. Es consecuente que la zanja de infiltración (alternativa 2) sea aquella que mayor volumen de agua infiltra al terreno, ya que es el objetivo de su diseño. Mientras que el área de biorretención retiene el agua, no infiltra.

Los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla.

Tabla N° 15. Resultados de infiltración para las distintas alternativas

Subcuenca	Base	Cuneta Verde		Zanja de Infiltración		Área de Biorretención	
	mm	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %
S27127804	14.28	24.24	-69.7%	96.86	-578.3%	17.62	-23.4%
S27125955	14.28	15.80	-10.6%	86.19	-503.6%	18.60	-30.3%
S27125873	14.25	24.38	-71.1%	93.09	-553.3%	18.19	-27.6%
S27124832	14.29	24.33	-70.3%	94.56	-561.7%	18.00	-26.0%
S27122892	14.27	24.39	-70.9%	91.58	-541.8%	18.46	-29.4%
S27121871	14.28	24.35	-70.5%	94.98	-565.1%	17.92	-25.5%
S27120831	14.28	24.40	-70.9%	94.32	-560.5%	18.03	-26.3%



Subcuenca	Base	Cuneta Verde		Zanja de Infiltración		Área de Biorretención	
	mm	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %
S27120644	14.29	16.50	-15.5%	90.71	-534.8%	19.41	-35.8%
S26127779	14.27	24.32	-70.4%	90.96	-537.4%	18.55	-30.0%
S26127671	14.27	20.26	-42.0%	90.72	-535.7%	18.68	-30.9%
S26128992	14.28	20.11	-40.8%	86.20	-503.6%	18.60	-30.3%

Fuente: elaboración propia en base a resultados de la simulación realizada en SWMM.

Nota: (*) < 0 aumenta la infiltración en relación a la hidrología de base (objetivo buscado); (**) > 0 disminuye la infiltración en relación a la hidrología de base.

En relación a la escorrentía, se realizó una comparación cuantitativa resumida (tabla 16). En la misma se presenta el volumen acumulado de escorrentía durante el lapso temporal establecido en la modelación. Se observa que, para el caso de la alternativa 1 aumenta significativamente la escorrentía total en relación a la hidrología de base. Esto significa que este SUDS se colmata, es decir que no tiene capacidad de conducción y el sistema se inunda. En relación al área de biorretención y a la zanja de infiltración, la escorrentía disminuye en relación a la situación de base. La alternativa 3 presenta una mayor disminución de la escorrentía con respecto a la alternativa 2.

Tabla N° 16. Resultados de escorrentía para las distintas alternativas

Subcuenca	Base	Cuneta Verde		Zanja de Infiltración		Área de Biorretención	
	mm	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %	mm	Diferencia %
S27127804	36.94	204.57	-453.8%	31.93	13.6%	30.88	16.4%
S27125955	36.99	110.44	-198.6%	36.97	0.1%	36.97	0.1%
S27125873	37.05	82.65	-123.1%	35.09	5.3%	34.50	6.9%
S27124832	36.65	1383.34	-3674.5%	33.41	8.8%	32.84	10.4%
S27122892	37.00	107.24	-189.8%	36.28	1.9%	36.12	2.4%
S27121871	36.95	107.16	-190.0%	33.45	9.5%	32.67	11.6%
S27120831	36.96	107.20	-190.0%	34.01	8.0%	33.32	9.8%
S27120644	36.53	106.81	-192.4%	36.53	0.0%	36.50	0.1%
S26127779	37.01	110.52	-198.6%	36.78	0.6%	36.72	0.8%
S26127671	37.00	86.84	-134.7%	36.96	0.1%	36.90	0.3%
S26128992	36.98	105.87	-186.3%	36.96	0.1%	36.96	0.1%

Fuente: elaboración propia en base a resultados de la simulación realizada en SWMM.

Nota: (*) < 0 aumenta la escorrentía en relación a la hidrología de base; (**) > 0 disminuye la escorrentía en relación a la hidrología de base (objetivo buscado).

Se analizó la salida superficial de los SUDS dando cero para la alternativa 2 y 3 mientras que para la alternativa 1 existe una lámina de agua debido al colapso del sistema (véase tabla A.11 en el anexo).

Como se señaló, el análisis realizado anteriormente es para la totalidad de la lámina de agua que se genera de escorrentía para una tormenta de 2 años de recurrencia en un lapso temporal de 6 horas. A su vez, se realizó un análisis de los datos hidrológicos de escorrentía para cada subcuenca y se elaboraron los respectivos hidrogramas. Los hidrogramas realizados en este caso muestran el caudal pico de la escorrentía generada en el tiempo.

Se presentan a continuación los gráficos de las subcuencas en las cuales el impacto de los SUDS es más notorio debido al porcentaje de incidencia de los SUDS en el área total de la subcuenca (véase % ocupación SUDS en tabla 4 del presente capítulo). Se observa como resultado que el caudal pico de la escorrentía superficial disminuye gracias a la implementación de SUDS, cuyo comportamiento es el buscado (véase imagen 4 - capítulo 3). El área de biorretención es aquella alternativa que presenta una mayor disminución del caudal pico para la escorrentía.

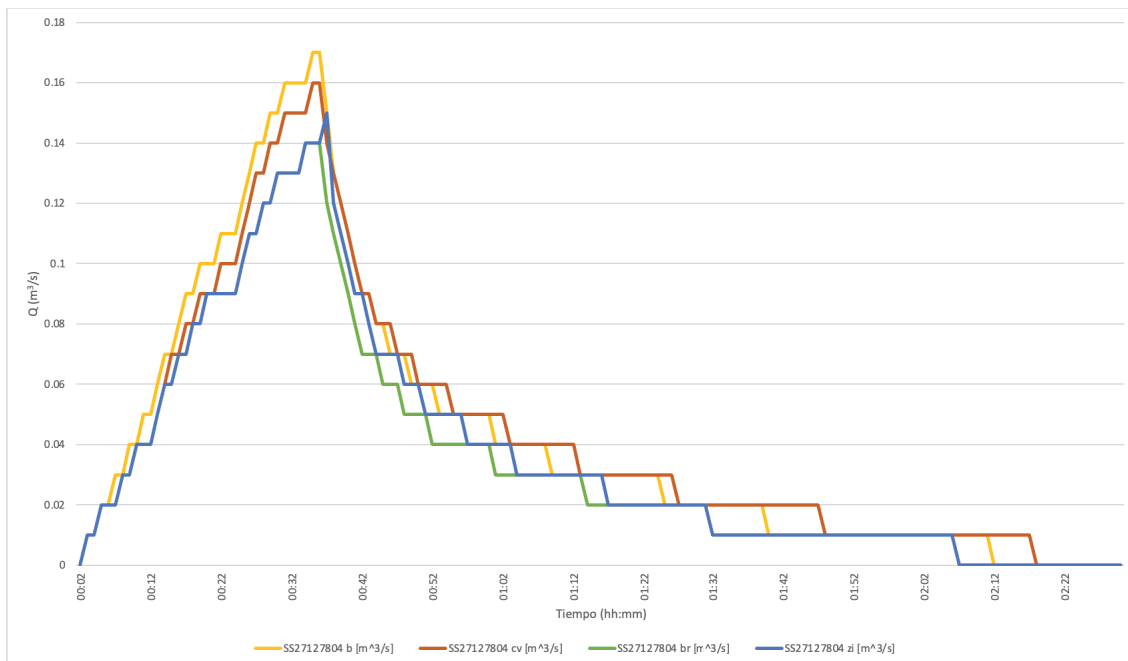


Imagen N° 19. Hidrograma subcuenca S27127804 - comparación alternativas. Fuente: elaboración propia. Nota: hidrología de base - amarillo, alternativa 1 - rojo, alternativa 2 - azul, alternativa 3 - verde.

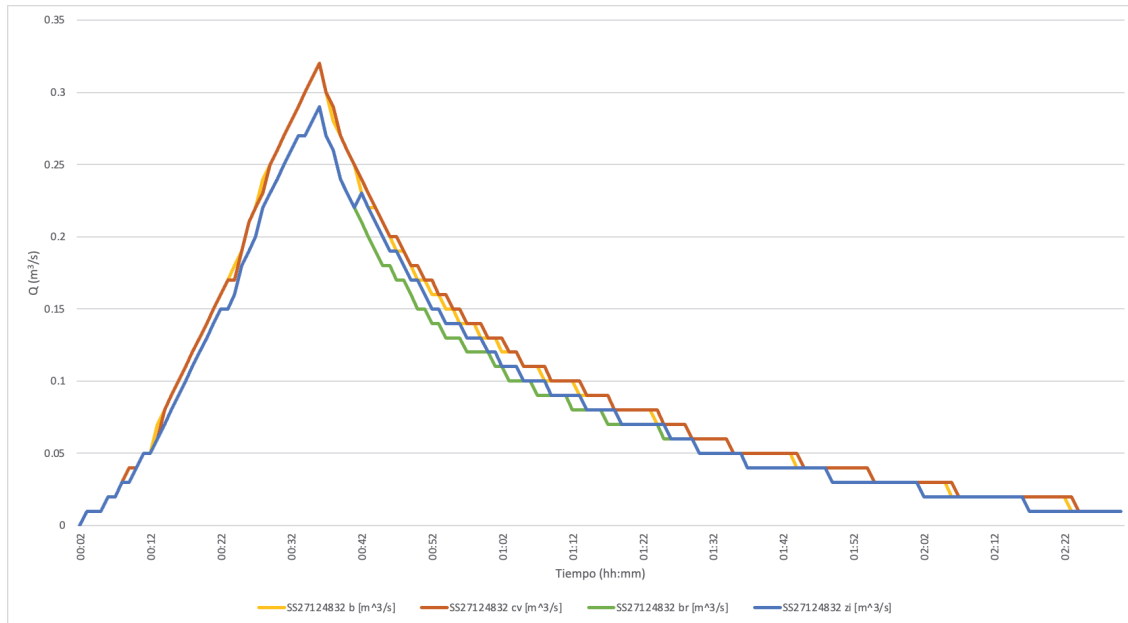


Imagen N° 20. Hidrograma subcuenca S27124832 - comparación alternativas. Fuente: elaboración propia. Nota: hidrología de base - amarillo, alternativa 1 - rojo, alternativa 2 - azul, alternativa 3 - verde.

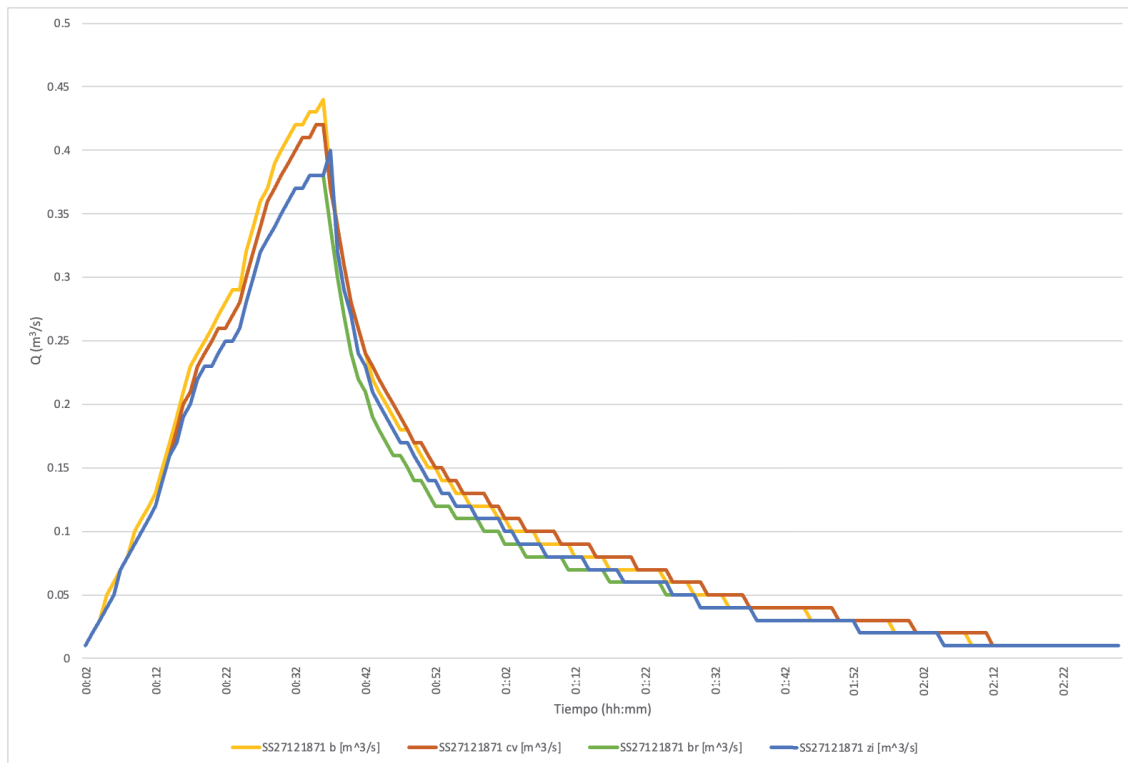


Imagen N° 21. Hidrograma subcuenca S27121871 - comparación alternativas. Fuente: elaboración propia. Nota: hidrología de base - amarillo, alternativa 1 - rojo, alternativa 2 - azul, alternativa 3 - verde.

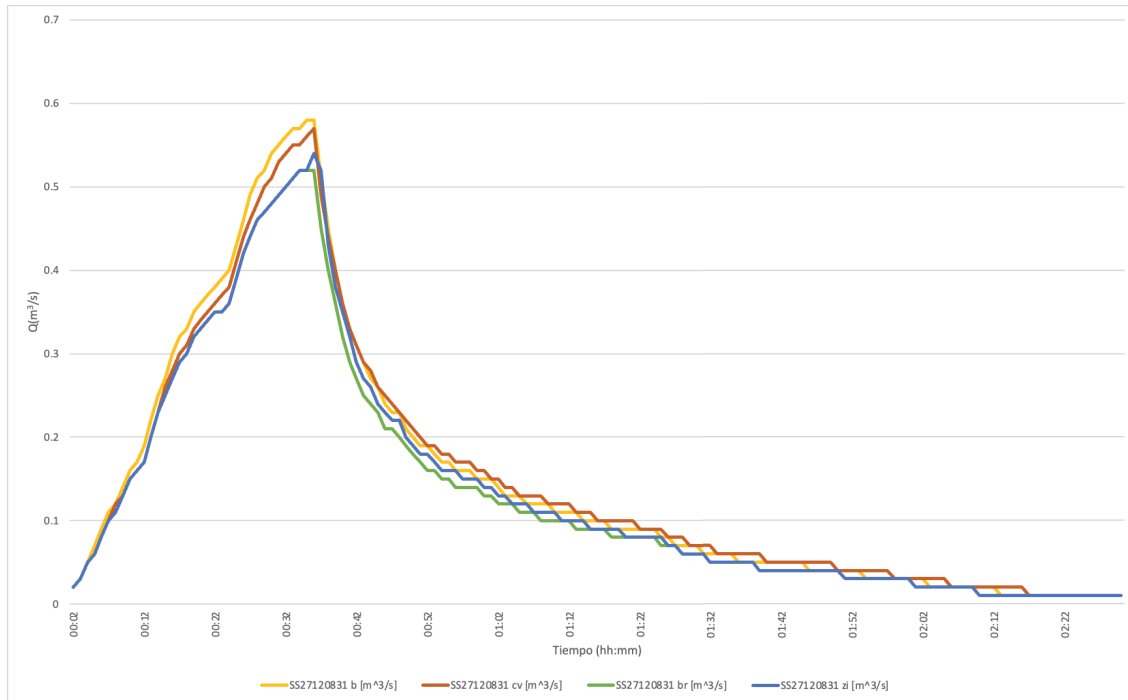


Imagen N° 22. Hidrograma subcuena S27120831 – comparación alternativas. Fuente: elaboración propia. Nota: hidrología de base - amarillo, alternativa 1 - rojo, alternativa 2 - azul, alternativa 3 - verde.

De forma cuantitativa (tabla 17), se observa que para la subcuena con una mayor afectación de SUDS en su superficie – SS27127804 –, se reduce hasta un 18% el caudal pico con el área de biorretención. En particular, la alternativa 1 presenta en casi todos los casos un Q_{pico} mayor que las alternativas 2 y 3. Se concluye que la alternativa 3 presenta una mayor disminución de la escorrentía.

Tabla N° 17. Resultados de hidrogramas para las distintas alternativas

SUBCUENCAS	HIDROLOGÍA BASE	CUNETAS VERDES		ZANJA DE INFILTRACIÓN		BIORRETENCIÓN	
	$Q_p(m^3/s)$	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)
SS27127804	0.17	0.16	-6%	0.15	-12%	0.14	-18%
SS27125955	0.13	0.13	0%	0.13	0%	0.13	0%
SS27125873	0.25	0.25	0%	0.26	4%	0.24	-4%
SS27124832	0.32	0.32	0%	0.29	-9%	0.29	-9%
SS27122892	0.29	0.29	0%	0.28	-3%	0.28	-3%
SS27121871	0.44	0.42	-5%	0.40	-9%	0.38	-14%
SS27120831	0.58	0.57	-2%	0.54	-7%	0.52	-10%
SS27120644	0.45	0.47	4%	0.45	0%	0.45	0%
SS26127779	0.17	0.17	0%	0.17	0%	0.17	0%



SUBCUENCAS	HIDROLOGÍA BASE	CUNETA VERDE		ZANJA DE INFILTRACIÓN		BIORRETENCIÓN	
	$Q_p(m^3/s)$	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)	$Q_p(m^3/s)$	Error (%)
SS26127671	0.37	0.37	0%	0.37	0%	0.36	-3%
SS26128992	0.42	0.42	0%	0.42	0%	0.42	0%

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) < 0 disminuye el caudal pico en relación a la hidrología de base (objetivo buscado). (**) > 0 aumenta el caudal pico en relación a la hidrología de base.

En la subcuenca SS27125873 aumenta el caudal pico para la zanja de infiltración. Sin embargo, al analizar los hidrogramas con la situación de base se observa que no solo dicho pico ocurre temporalmente posterior al pico de la hidrología de base, sino que el volumen total de la escorrentía disminuye (véase tabla 16). El aumento del caudal pico que se observa en la presente tabla se debe a cuestiones propias de la subcuenca como la pendiente y el área impermeabilizada.

En relación a los resultados hidrológicos de los SUDS, los mismos no presentan evaporación. La alternativa 1 tampoco presenta almacenamiento inicial ni salida mediante el sistema de drenaje al no contar con la capa de almacenamiento y de drenaje. El almacenamiento final es prácticamente nulo y hay una elevada pérdida de agua por escorrentía superficial. La alternativa 2 presenta almacenamiento final, una elevada infiltración al terreno y el caudal de salida en la cañería de drenaje es variable. Por último, la alternativa 3 cuenta con una baja infiltración y salida mediante el drenaje, ya que existe un volumen elevado de agua almacenada en la capa del suelo. El comportamiento general descrito anteriormente puede apreciarse en la imagen 23, para analizar los datos en detalle véase la tabla A.11 en el anexo.

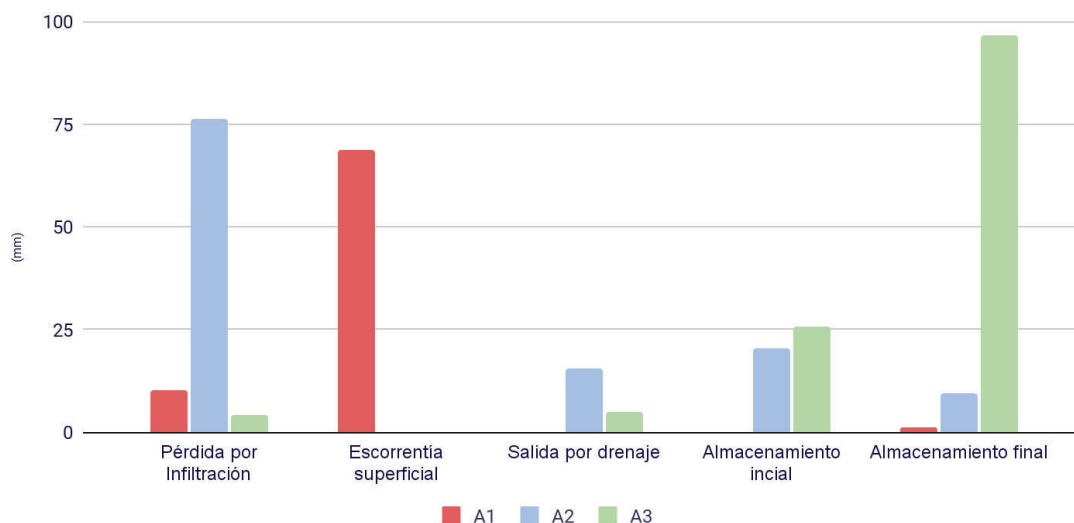


Imagen N° 23. Resultados hidrología para subcuenca SS27127804. Fuente: elaboración propia. Nota: alternativa 1 Cuneta Verde - rojo, alternativa 2 Zanja de Infiltración - azul, alternativa 3 Área de Biorretención - verde. Véase tabla A.11 para mayor detalle.

Con el pasar del tiempo, disminuye el valor del almacenamiento final y aumenta la infiltración según el balance hidrológico. Este comportamiento, sin embargo, es apreciable para la



alternativa 2 con el aumento del lapso temporal evaluado en la modelación. Esto es debido a que la alternativa 3 cuenta con la capa de suelo, la cual presenta una humedad y capacidad de retención de agua que limita la infiltración al terreno. Cuanto mayor es el espesor de esta capa, menor va a ser la infiltración o salida mediante el drenaje. Estos resultados fueron evaluados mediante una iteración en el diseño que permitió evaluar la sensibilidad de los parámetros, hasta obtener el resultado buscado.

Por último, se evaluó el efecto sobre la calidad del agua pluvial de cada una de las alternativas. Los valores relativos obtenidos según Woods Ballard et al. (2015) se presentan en la tabla 18. Se trata del impacto sobre una valoración de 3, siendo este valor el de mayor eficiencia de remoción de contaminantes.

Tabla N° 18. Evaluación de calidad del agua

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control de la contaminación	2	2	3

Fuente: Woods Ballard et al. (2015).

En base a los resultados analizados anteriormente se concluye:

- La alternativa 1 es descartada debido al aumento de la escorrentía superficial y la generación de salida de agua en la superficie del SUDS. Esto demuestra que un sistema de este tipo no es apto para el proyecto en cuestión. Es necesario un almacenamiento en depresión y un sistema de drenaje para que el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible resista la tormenta de diseño. La pluviosidad en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se caracteriza por un tipo de tormentas cortas y con una gran lámina de agua en el primer tercio de la tormenta. Al ser lluvias intensas y cortas, la capacidad de conducción de la cuneta verde se ve colmatada. Para una tormenta que se desarrolle de forma distendida en el tiempo esta alternativa podría mostrar otro comportamiento.
- La alternativa 2 genera una mayor infiltración de agua al terreno en relación a la alternativa 3. Esto significa que el agua percola en el sistema y se dirige rápidamente hacia el sistema de drenaje o infiltra en el terreno. Este es el objetivo del diseño de la zanja de infiltración. Dicha alternativa disminuye el caudal pico y la escorrentía generada en las distintas subcuencas.
- La alternativa 3 también disminuye el caudal pico y el agua en calle en porcentajes aún mayores que la zanja de infiltración. A su vez, genera una menor infiltración pero tiene como resultado un mayor almacenamiento de agua en el suelo y una liberación más lenta de la misma al sistema de drenaje y al subsuelo. Es un sistema más complejo que, al contar con la capa de suelo, genera una menor presión sobre el sistema pluvio cloacal existente. Este resultado de almacenamiento y retención se presenta crucial para el tipo de eventos de precipitación presentes en la Ciudad y para una zona con altas pendientes como es la Av. San Juan. La alternativa 3 presenta mayores eficiencias en el control de la contaminación.

Por los motivos indicados anteriormente, y su uso extendido en la actualidad, se optó por la alternativa 3: área de biorretención.

5.3. Proyecto Técnico: Selección de Alternativa

5.3.1. Hidráulica e hidrología

El área de biorretención genera un impacto positivo sobre la hidrología local. Al extrapolar los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir que aumentando un 10% el área verde de una zona urbana con un sistema de biorretención diseñado adecuadamente, el pico de escorrentía disminuye un 18% y la escorrentía total un 16%.

Si bien el impacto más significativo se da sobre la hidrología local, y la hidrodinámica presenta mayor complejidad, es posible evaluar el impacto hidrodinámico local en los conductos presentes en la Av. San Juan (tabla 19). El caudal pico en el conducto se mantiene igual o disminuye levemente, debido al almacenamiento de agua en los SUDS. En relación al horario en el cual se produce dicho caudal pico, se puede observar que en todos los casos se retrasa el mismo. Si bien la diferencia es muy baja, este es el objetivo buscado: demorar el caudal pico de los conductos para evitar el desbordamiento del sistema.

Tabla N° 19. Evaluación impacto área de biorretención sobre pico conductos

CONDUCTOS	Hidrodinámica Base		Biorretención		Error	
	$Q_p(m^3/s)$	Hora MAX	$Q_p(m^3/s)$	Hora MAX	$Q_p(m^3/s)$	Hora MAX
C27128001.1	1.33	00:34:00	1.32	00:35:00	-1%	3%
C27128301.1	0.9	00:34:00	0.9	00:35:00	0%	3%
C27128401.1	0.24	00:32:00	0.24	00:34:00	0%	6%
C27128501.1	0.31	00:34:00	0.30	00:35:00	-3%	3%

Fuente: elaboración propia.

En relación al volumen total que transportan los conductos durante las 6 horas de modelación del evento, con la incorporación del área de biorretención el mismo se reduce. Para un conducto aumenta el volumen, probablemente debido a que, al tener mayor capacidad disponible aumenta la llamada del flujo de agua de los conductos cercanos al mismo.

Tabla N° 20. Evaluación impacto área de biorretención sobre volumen conductos

CONDUCTOS	Hidrodinámica Base	Biorretención	Error
	Vol (m^3)	Vol (m^3)	%
C27128001.1	8,126.57	7,939.56	-2%
C27128301.1	5,141.02	4,957.49	-4%
C27128401.1	1,237.49	1,154.91	-7%
C27128501.1	884.03	905.07	2%

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) < 0 disminuye el volumen en relación a la situación de base.

La profundidad total de la celda de biorretención es de 1.3 m. Considerando que la napa freática se encuentra a más de 2 metros (entrevista a experta en hidrología), esto significa que el SUDS no tendrá incidencia en el acuífero. De hecho, se desarrollará en la zona no saturada, es decir en la región del suelo que se encuentra por encima del nivel freático y cuyos poros del



suelo contienen tanto agua como aire. Por lo tanto, el agua subterránea no infiltrará en la zanja, con excepción del despreciable volumen que pueda transportarse por capilaridad.

5.3.2. Calidad de agua

Las eficiencias de remoción de contaminantes en un área de biorretención según bibliografía se presentan en la tabla 21.

Tabla N° 21. Eficiencias de remoción según bibliografía

Parámetro	Woods Ballard et al. (2015)	EPA Victoria (2021)	Nazarpour et al. (2023) (*)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	> 90%	80%	> 78%
Fósforo total (P)	> 80%	45%	59.5%
Nitrógeno total (N)	50%	45%	64.3%
Metales pesados (**)	> 90%	-	> 90%
Cu	< 60%	-	> 90%

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) se utilizaron promedios y valores recomendados por dicha bibliografía. Los valores son adoptados en base a la información suministrada en la página 11, punto 3.2. de Nazarpour et al. (2023), ya que dependen de distintas variables del sistema como la vegetación y el tipo de medio filtrante. La evaluación de la efectividad de una celda de biorretención se puede observar en la tabla S1 de dicha bibliografía.

(**) Son considerados metales pesados los siguientes elementos: Cd, Zn, Ni, Cr, Ba. En ambas fuentes se refieren a los mismos elementos.

A su vez, EPA Victoria (2021) establece una eficiencia de remoción del 70% para basura, mientras que Nazarpour et al. (2023) define un 84% para microplásticos entre 100 a 300 μm y una eficiencia del 100% para aquellas partículas de más de 500 μm . La eficiencia de remoción de DBO_5 es del 76% mientras que para la DQO se establece un 85% (Nazarpour et al., 2023).

Se buscó información de base para estimar la calidad del agua pluvial en una zona urbana (véase sección 4.5 en el capítulo Diagnóstico). Se adoptaron valores de concentración de contaminantes en la escorrentía pluvial para el cálculo de la reducción de la contaminación. Con dichos parámetros y las eficiencias de remoción de contaminantes también adoptadas en base a la tabla 21, se calculó el valor de salida del SUDS y de ingreso al pluvial (tabla 22).

Tabla N° 22. Datos de calidad de agua de entrada y salida a través de un área de biorretención

Parámetro	Eficiencia	Entrada	Salida	Valores máximos vertido pluvial (*)
SST (mg/l)	85%	70.00	10.50	< 35
Fósforo total (mg/l)	60%	0.41	0.17	< 5
Nitrógeno (mg/l)	53%	3.00	1.41	N/A
Cd ($\mu\text{g/l}$)	90%	1.00	0.10	< 100



Cu (µg/l)	75%	43.65	10.91	< 1000
Zn (µg/l)	90%	196.10	19.61	< 2000
Ni (µg/l)	90%	16.60	1.66	< 2000
Cr (µg/l)	90%	631.33	63.13	< 2000
Ba (µg/l)	90%	213.00	21.30	< 2000

Fuente: elaboración propia. Nota: (*) extraídos de la Res. 283/19 de ACUMAR.

Como era de esperar, tanto los valores de entrada como aquellos obtenidos para la salida se encuentran ampliamente sobre el límite de vertido al pluvial.

Las eficiencias de remoción dependen a su vez de la vegetación presente en el área de biorretención. Para las mismas se suelen utilizar plantas autóctonas y una vegetación densa (6 - 10 plantas/m²) para potenciar la filtración y permeabilidad.

5.3.3. Especificaciones constructivas

Para la ejecución del proyecto se deberá detallar el mismo cuadra por cuadra, evaluando las interferencias, los cruces de calles y otras particularidades.

Se realizará una cámara con sumidero horizontal para la cañería subsidiaria a realizar (véase sección 5.2.3), en el Plano N° 13 se indican las características constructivas del mismo. La vinculación de los SUDS al conducto existente requerirá un desarrollo de manera ejecutiva, analizando ubicación y características de cada cámara a adaptar. De este modo, se modificarán las cámaras existentes para realizar la conexión entre el sistema de drenaje del SUDS y la cañería pluvio-cloacal existente.

Se aconseja la incorporación de una clapeta en algunas situaciones, ya que el objetivo del sistema es que el agua presente en el conducto principal no ingrese al SUDS. Las clapetas se colocarán en una de las caras de la cámara para evitar que ingrese el agua. Inicialmente se estima necesaria la incorporación de las mismas en 3 situaciones en particular: intersección con calle Perú, Bolívar y Paseo Colón (véase Plano N° 11). En etapa de proyecto ejecutivo se deberá evaluar la capacidad del conducto comprobar que dicha clapeta es necesaria. Esto se deberá hacer para recurrencias de 10 años. En el Plano N° 14 se presenta la cámara con una clapeta y el detalle de una clapeta tipo.



5.4. Sistema de riego

Por último, se procedió a realizar el diseño de un sistema de riego por aspersión. El objetivo es instalar un sistema de riego automatizado que irrigue eficientemente todas las áreas verdes designadas.

Se trata de un diseño inicial, ya que es necesario la realización de un estudio hidrogeológico para comprobar el caudal a extraer y la ubicación del pozo, y poder en base al mismo realizar el proyecto ejecutivo. Para el presente trabajo se asumió que se realizará un pozo de captación de agua ubicado en la mitad del área de intervención, es decir sobre la Av. San Juan entre Perú y Bolívar, y luego dos alas de riego en cada sentido. El pozo de captación contará con los siguientes valores iniciales:

Tabla N° 23. Detalles de pozo de captación

Parámetro	Valor
Diámetro	10 cm (4")
Profundidad	15 m
Área transversal	$7.85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Volumen	$11.78 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
Cañería impulsión	50 mm (2")

Fuente: elaboración propia.

Se trata de un diámetro del pozo de 10 cm (4") y una profundidad de 15 metros considerando que la napa freática en la zona de intervención se encuentra a menor profundidad. El pozo alcanzará el acuífero Pampeano. La cañería de impulsión será del mínimo diámetro permitido, es decir DN 50 (2").

Se determinó una lámina de agua para riego de 3 mm/d a ser entregada cada 3 días con un tiempo de riego de 4 horas. De esta forma se pudo calcular el caudal de riego:

$$Q_{\text{riego}} (\text{m}^3/\text{h}) = V_{\text{diario}} (\text{m}^3/\text{d}) * \frac{1}{t_{\text{riego}} (\text{h}/\text{d})} = A (\text{m}^2) * \left(\frac{l_{\text{riego}} (\text{mm}/\text{d})}{1000} \right) * \frac{1}{t_{\text{riego}} (\text{h}/\text{d})} \quad (\text{Ecuación 48})$$

Siendo V_{diario} el volumen de riego diario, t_{riego} el tiempo de riego, l_{riego} la lámina de riego a suministrar y A el área.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla N° 24. Detalles del cálculo del caudal

Parámetro	Valor
Área (m^2)	7,547.92
Lámina de agua para riego (mm/d)	3
Vol diario (m^3/d)	22.64
Tiempo de riego (h/d)	4
Caudal riego (m^3/h)	5.66



Caudal riego (l/s)	1.57
--------------------	------

Fuente: elaboración propia.

Se aclara que los caudales de riego son variables a lo largo del año en función de las horas de luz, temperatura, precipitación, estado de humedad del suelo y demanda hídrica de la vegetación, entre otros.

Posteriormente, se seleccionaron los aspersores del tipo MP Rotator. Se seleccionó el tipo de aspersor considerando la realización de dos cañerías de aspersión paralelas por cuadra (véase Plano N° 15). A continuación se indican las características del aspersor seleccionado.

Tabla N° 25. Detalles de aspersor seleccionado

MP 1000 - 180°	
Presión (bar)	2.8
Radio (m)	4.1
Q (m ³ /h)	0.1
Q (l/min)	1.59
Pluv (mm/h)	11

Fuente: [Hunter](#).

Sabiendo que se realizarán dos ramales paralelos sobre el área de biorretención, y que el ángulo de operación de cada aspersor es 180° y el radio de influencia es de 4.1 m, se estableció un espaciamiento en la línea de aspersores de 8.2 m – el diámetro de cada regador –. De este modo, la cantidad de aspersores varían entre 13 y 15 por línea, lo que se traduce en 26 a 30 aspersores por cuadra. El valor total de aspersores a utilizar para el presente proyecto es de 198. En la tabla A.12 se presenta el detalle de la cantidad de aspersores por cuadra. Por el valor, el espaciamiento entre aspersores es considerado “pequeño” lo cual implica un riego uniforme y menores presiones aunque implique un mayor costo y mayor cantidad de eventuales cambios (Génova et al., 2023).

Se comprobó que la cantidad de regadores sea suficiente para asegurar el caudal de riego de diseño. Esto se realizó a través del siguiente cociente:

$$N^{\circ} \text{ Aspersores} = Q_{\text{riego}} / Q_{\text{aspersor}} \quad (\text{Ecuación 49})$$

La cantidad de aspersores según dicha ecuación fue de 57 unidades. Sin embargo, tal como se indicó, se consideró para el diseño que no solo la cantidad mínima de regadores para cumplir con el caudal de riego sino el radio de influencia de cada regador de modo de asegurar una cobertura total.

Luego se procedió a diseñar el sistema de cañerías para seleccionar la bomba a utilizar.

En cuanto a las conducciones a presión se debe tener en cuenta el diámetro interno (Di) y el diámetro nominal (DN). La distinción entre ellos radica en que el diámetro interno corresponde al diámetro hidráulico, utilizado para la conducción, mientras que el nominal es una referencia que fluctúa según el material y la presión máxima que la tubería puede soportar. Por ende, es posible encontrar diferentes diámetros internos y espesores vinculados a un mismo diámetro nominal.



Se adoptó una velocidad de 1.6 m/s ya que los valores comunes de velocidades máximas varían entre 1.6 y 2 m/s (Génova et al., 2023), y con el caudal de riego calculado anteriormente se obtuvo el área y el diámetro mínimo de la cañería:

$$A (m^2) = \frac{Q(m^3/s)}{v (m/s)} \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$D_{min}(m) = \sqrt{4A/\pi} \quad (\text{Ecuación 51})$$

Una vez calculado el diámetro mínimo, se adoptó el DN de la cañería de PEAD diseñada, y con ello se calculó el área y la velocidad real.

Se estimó el número de Reynolds (Re), el cual demostró tratarse de un régimen turbulento, y posteriormente se calculó el factor de fanning (f) por medio de las ecuaciones presentadas a continuación.

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 52})$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3.6 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{e}{3.7 \cdot D} \right)^{10/9} \right] \quad (\text{Ecuación 53})$$

Siendo D el diámetro interno de la cañería adoptada (m), v la velocidad real de la misma (m/s), ρ la densidad del agua tomando 998.29 kg/m³, μ la viscosidad de la misma tomando 1 cP, y e el coeficiente de rugosidad, que en ese caso es 0.0015 mm al tratarse de cañerías de plástico.

Luego, se calculó la altura de fricción de la cañería ($H_{f \text{ cañería}}$) mediante la fórmula de Hazen y Williams (véase ecuación 9, Cap. 3 Sección 3.5.4).

$$H_{f \text{ cañería}} = 10.674 * \frac{(Q/3600)^{1.852}}{C^{1.852} * (D/1000)^{4.871}} * L \quad (\text{Ecuación 54})$$

Donde H es la pérdida de carga de la cañería en m, Q el caudal de la misma (m³/h), D el diámetro interno de la cañería (mm), L la longitud de la misma (m) y C el coeficiente de rugosidad, para el cual se adoptó un valor de 140 correspondiente al polietileno.

Por último, para el diseño de riego por aspersión suele ajustarse la pérdida por fricción de la cañería mediante el factor F_C , conocido como el factor de salidas múltiples de Christiansen. Cuando el espaciado entre los aspersores es constante, el mismo se calcula del siguiente modo (Génova et al., 2023):

$$F_C = \frac{2N}{2N-1} \left(\frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^6} \right) \quad (\text{Ecuación 55})$$

$$H_{f \text{ cañería ajustado}} = F_C * H_{f \text{ cañería}} \quad (\text{Ecuación 56})$$

Donde F_C es el factor de salidas múltiples de Christiansen, N el número de salidas, m el exponente del gasto en la fórmula usada para calcular la pérdida de presión causada por la fricción (1.852 según la fórmula de Hazen y Williams - véase ecuación 9 Cap. 3 sección 3.5.4).

El factor de Christiansen permite tener en cuenta la modificación en la presión debido a la extracción de agua en múltiples puntos a lo largo de una tubería. Este factor es cercano a 1 y disminuye a medida que aumenta el número de aspersores (Génova et al., 2023). Para el presente diseño el factor de Christiansen no fue tenido en cuenta ya que F_C es menor a 1 y por lo tanto el valor de $H_{f \text{ cañería ajustado}}$ sería menor a $H_{f \text{ cañería}}$. Así, se considera un diseño de máxima con un margen de seguridad mayor. Independientemente de esto, los valores de pérdida de fricción de la cañería son despreciables frente a la altura estática de la bomba.

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla.



Tabla N° 26. Cálculo de fricción de la cañería

Parámetro	Unidad	Valor
Q	(m ³ /s)	1.57*10 ⁻³
v adoptada	m/s	1.60
A	m ²	9.83*10 ⁻⁴
Diámetro	m	3.54*10 ⁻²
D int hallado	mm	35.37
DN escogido	mm	63
D int escogido	mm	61
A real	m ²	2.92*10 ⁻³
v real	m/s	0.54
Re	-	3.28*10 ⁴
f	-	0.27
Largo tramo cañería	m	479.24
Hf cañería	m	2.88
F _C		0.35

Fuente: elaboración propia.

Se calculó la pérdida de fricción debido a los accesorios ($H_{f \text{ accesorios}}$), si bien es despreciable frente al resto de los valores. La misma fue calculada según la siguiente ecuación:

$$H_{f \text{ accesorios}} = \Sigma \frac{K_{\text{accesorios}} * v^2}{2 * g} \quad (\text{Ecuación 57})$$

Donde $K_{\text{accesorios}}$ es la sumatoria de los factores de pérdidas de fricción por accesorios, v la velocidad del fluido (m/s) y g la aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

Los valores de los factores de pérdida de los accesorios y el detalle de la cantidad de los mismos se encuentra presente en la tabla A.13.

Por último, se tuvo en cuenta la altura estática de la bomba (H_{es}), es decir la diferencia entre el punto Z_A y Z_B que representa la profundidad del pozo y la altura del terreno del mismo, o en otras palabras, la diferencia entre la altura de aspiración y de descarga. En adición, se tuvo en consideración la pérdida de presión operativa de los aspersores ($H_{\text{aspersores}}$), determinada por los datos del modelo considerado (véase tabla 25).

Una vez realizados dichos cálculos se pudo determinar la energía necesaria para el funcionamiento del equipo y la adecuada selección de la bomba (Génova et al., 2023). Para esto se calculó la altura manométrica total:

$$H_{mt} = H_{es} + H_{f \text{ cañería}} + H_{\text{aspersor}} + H_{f \text{ accesorios}} \quad (\text{Ecuación 58})$$

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla resumen.



Tabla N° 27. Cálculo de fricción de la cañería

Parámetro	Valor
H es (m)	15.00
H cañ (m)	2.88
H aspersor (m)	28.55
H accesorios (m)	0.07
Hmt (m)	46.50

Fuente: elaboración propia.

Se seleccionó la bomba según catálogo provisto por el proveedor, teniendo en cuenta el caudal a bombear y la altura. Para este caso se podrá utilizar una bomba sumergible de pozo profundo modelo BSI 412/2 y marca Motoarg. La misma cuenta con una potencia de 2 HP, un $Q_{m\acute{a}x}$ de 6.15 m³/h y una hmt de 50 m. Este tipo de electrobomba sumergible se encuentra diseñada para la extracción de agua desde pozos profundos de 4" y se aconseja su aplicación para sistemas de riego. Véase el detalle del catálogo con curvas de rendimientos y prestaciones en el anexo imagen A.9.

Otros elementos a considerar para el sistema de riego son: un nicho cementicio donde se alojará la bomba y los elementos de operación y control del sistema, elementos como un medidor de flujo, manómetro, una sonda de nivel y un tablero de comando y sensor de lluvia para la telemetría del sistema.



Capítulo 6: Estudio de Impacto Ambiental

6.1. Objetivos y Alcance

El presente documento tiene como objetivo la realización de un Estudio de Impacto Ambiental (EslA) del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) a realizarse en la Av. San Juan en el barrio de San Telmo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, conforme a la Ley N° 123 de Evaluación de Impacto Ambiental de la Ciudad. De acuerdo con el Anexo N° II de la Resolución APRA N° 67/21, el proponente presenta el actual EslA para el proyecto, a fin de tramitar el Certificado de Aptitud Ambiental en un único procedimiento, que contempla tanto la etapa de construcción como de operación.

En cuanto al alcance del EslA, se pretende evaluar las condiciones ambientales del entorno directo en donde se emplaza el proyecto y el efecto del mismo en el ambiente físico, químico, biológico y socioeconómico para cada una de las etapas del mismo: construcción, operación y abandono. Dentro del presente estudio, se pretende mencionar los impactos ambientales del proyecto y medidas a adoptar para atenuar aquellos impactos que sean negativos para el ambiente junto con los planes de gestión. El estudio define la viabilidad ambiental del proyecto en base a la evaluación de los potenciales impactos.

La extensión del área a analizar se decide acorde a las zonas de potencial impacto, que incluyen el área que ocupará el sistema de bioretención y ciclovía, como también las áreas adyacentes en un radio de 1km y la totalidad del barrio de San Telmo.

6.2. Metodología

6.2.1. Marco Teórico

Para la elaboración y desarrollo del informe se aplicó una metodología que se encuentra alineada a la legislación de CABA, en particular con la Ley N° 123 de Evaluación de Impacto Ambiental de la Ciudad en donde se detallan los contenidos mínimos del Estudio de impacto Ambiental (Art. 33). Para ello, se analiza de manera intensiva el proyecto a emplazar y la normativa aplicable.

6.2.2. Línea de Base Ambiental

Una vez definido el alcance del estudio de impacto ambiental y sus áreas de influencia directa e indirecta se confecciona la línea de base ambiental. La línea de base ambiental (LBA) es una caracterización del área de influencia del proyecto desde distintos puntos de vista, como lo son el ambiente físico, químico, biológico, social y económico previo al inicio de la construcción del proyecto. La LBA es un componente indispensable para realizar posteriormente la evaluación de impactos.

6.2.3. Matriz de aspectos e impactos ambientales

Se utiliza una adaptación del método combinado de Vicente Conesa Fernández - Vítora para la confección de la matriz de aspectos e impactos ambientales. Con dicha matriz se logra identificar y además ponderar a los diversos impactos en las etapas del proyecto de acuerdo a un valor de importancia que puede ser positivo o negativo.



6.2.4. Plan de Mitigación y de Gestión Ambiental

Una vez identificados los impactos negativos y positivos del proyecto, se elaboran medidas de mitigación para abordar impactos de importancia media a alta. Cada impacto se asocia con su correspondiente medida para prevenir, atenuar o compensar. A su vez, se desarrolla el Plan de Gestión Ambiental, el cual abarca la planificación e implementación de las medidas, así como acciones de monitoreo para cada etapa del proyecto, junto con un plan de contingencias. Dicho plan de contingencias es elaborado en base al análisis de riesgo realizado anteriormente.

Se prevé completar el Estudio de Impacto Ambiental considerando la desafectación o abandono del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible y ciclovía.

6.3. Marco Legal

6.3.1. Normativa Nacional

La Constitución Argentina establece las bases del derecho nacional respecto a lo ambiental. En particular, el Art. 41 establece que “todos los habitantes tienen derecho a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano y tienen el deber de preservarlo”. Además, señala que “el daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer” y que “corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas”.

El art. 1113 del Código Civil establece la reparación de daños causados al medio natural y los perjuicios derivados de la contaminación sobre las personas y los bienes.

El Código Civil de la República Argentina establece que quedan comprendidos entre los bienes públicos “las calles, plazas, caminos, canales, puentes y cualquier otra obra pública construida para utilidad o comodidad común” (Art. 2340, Inc. 7°).

En particular se destacan las leyes y normativas que se enuncian a continuación.

Ley N° 25.675 - General del Ambiente

La Ley General del Ambiente (LGA) establece un marco legal integral para la protección del medio ambiente y la promoción del desarrollo sostenible. Es de carácter público y opera como referencia primordial en la interpretación y aplicación de las regulaciones ambientales específicas. La ley define los presupuestos mínimos para abordar la gestión, educación e información ambiental, así como la evaluación de impacto ambiental.

En relación a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), la ley establece en su Art. 11 que “toda obra o actividad con el potencial de degradar el entorno, sus componentes o impactar significativamente la calidad de vida de la población en el territorio nacional, debe someterse a un proceso de EIA antes de su ejecución”. Esta evaluación implica una descripción detallada del proyecto, la identificación de sus posibles efectos sobre el ambiente y medidas destinadas a mitigar los impactos negativos.

La Ley establece los Principios de la Política Ambiental (Art. 4) para la interpretación y aplicación de la misma y de cualquier otra norma a través de la cual se ejecute la política ambiental:

- Principio de prevención e integración
- Principio precautorio
- Principio de equidad intergeneracional
- Principio de progresividad



- Principio de responsabilidad
- Principio de subsidiariedad
- Principio de sustentabilidad
- Principio de solidaridad
- Principio de cooperación

Ley N° 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y Decreto N° 911/96

En la Ley se definen las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo a ser ajustadas en todo el territorio nacional cualesquiera sean la naturaleza económica de las actividades.

En la misma se establecen las Responsabilidades del Empleador, los Derechos y Obligaciones de los Trabajadores, la promoción de la Prevención de Accidentes y Enfermedades, la obligación de la Investigación de Accidentes, la regulación de Equipos de Protección Personal y las Sanciones en caso de incumplimiento.

El Decreto N° 911/16 aprueba el Reglamento de Higiene y Seguridad para la construcción aplicable a trabajadores de empresas constructoras, tanto en el área física de obras en construcción como en los sectores, funciones y dependencias conexas, tales como obradores, depósitos, talleres, servicios auxiliares y oficinas técnicas y administrativas.

Ley N° 24.557 de Riesgos de Trabajo

La Ley reglamenta la prevención de riesgos de trabajo y el funcionamiento de las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo (ART). Los objetivos de la misma son: a) reducir la siniestralidad laboral a través de la prevención de los riesgos derivados del trabajo; b) reparar los daños derivados de accidentes de trabajo y de enfermedades profesionales, incluyendo la rehabilitación del trabajador damnificado; c) promover la recalificación y la recolocación de los trabajadores damnificados; y d) promover la negociación colectiva laboral para la mejora de las medidas de prevención y de las prestaciones reparadoras.

Ley N° 25.831 de Acceso a la Información Pública Ambiental

Esta Ley establece los requisitos fundamentales de resguardo ambiental para asegurar el derecho al acceso a la información ambiental presente en la posesión del Estado. Esto se aplica en niveles nacional, provincial, municipal, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, así como en entidades autónomas y empresas que proveen servicios públicos.

Ley N° 12.665 de Protección y Conservación de lugares y Monumentos Históricos

Esta legislación tiene como propósito salvaguardar lugares y monumentos con valor histórico, cultural y arquitectónico, preservando su integridad y promoviendo su relevancia para las generaciones actuales y futuras.

Ley N° 25.743 de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico

La norma tiene como objetivo la preservación, protección y tutela del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico como parte integrante del Patrimonio Cultural de la Nación y el aprovechamiento científico y cultural del mismo. Definiendo aquello que forma parte del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico “las cosas muebles e inmuebles o vestigios de cualquier naturaleza que se encuentren en la superficie, subsuelo o sumergidos en aguas jurisdiccionales, que puedan proporcionar información sobre los grupos socioculturales que habitaron el país desde épocas precolombinas hasta épocas históricas recientes” y “los organismos o parte de organismos o indicios de la actividad vital de organismos que vivieron en el pasado geológico y toda concentración natural de fósiles en un cuerpo de roca o sedimentos expuestos en la superficie o situados en el subsuelo o bajo las aguas jurisdiccionales” (Art. 2).



6.3.2. Normativa de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Se establece al Ambiente como patrimonio común y que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano, así como el deber de preservarlo y defenderlo en provecho de las generaciones presentes y futuras (Art. 26).

A su vez, en su Art. 30 define la obligatoriedad de la evaluación previa del impacto ambiental de todo emprendimiento público o privado susceptible de relevante efecto y su discusión en audiencia pública.

Ley N° 2628/07

La norma crea la Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (APRA) como ente autárquico en el ámbito del Ministerio de Ambiente y Espacio Público.

Este organismo tiene como objetivo proteger la calidad ambiental a través de la planificación, programación y ejecución de las acciones necesarias para cumplir con la Política Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires. Entre las herramientas de gestión ambiental para llevar a cabo esta política se establece la Evaluación de Impacto Ambiental.

Ley N° 123 de Evaluación del Impacto Ambiental y modificatorias

La Ley 123 (D.R. N° 85/19) – y sus modificatorias – determina el Procedimiento Técnico - Administrativo de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para la obtención del Certificado de Aptitud Ambiental. La sanción de la Ley tiene su fundamento en el Art. 30 de la Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que establece “la obligatoriedad de la evaluación previa del impacto ambiental de todo emprendimiento público o privado susceptible de relevante efecto y su discusión en audiencia pública”. En el texto ordenado de la Ley 123, y leyes modificatorias, entre otras cuestiones, en su Art. 1 se explicita que los objetivos generales de la EIA. La misma establece como fin:

1. Establecer el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano, preservarlo y defenderlo en provecho de las generaciones presentes y futuras.
2. Preservar el patrimonio natural, cultural, urbanístico, arquitectónico y de calidad visual y sonora.
3. Proteger la fauna y flora urbanas no perjudiciales.
4. Racionalizar el uso de materiales y energía en el desarrollo del hábitat.
5. Lograr un desarrollo sostenible y equitativo de la Ciudad.
6. Mejorar y preservar la calidad del aire, suelo y agua.
7. Regular toda otra actividad que se considere necesaria para el logro de los objetivos ambientales consagrados por la Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El Art. 9 establece las etapas técnico-administrativas a tener en cuenta, ellas son:

1. La presentación de la solicitud de categorización.
2. La categorización de las actividades, proyectos, programas y/o emprendimientos con relevante efecto y sin relevante efecto, según correspondiere.
3. La presentación del Manifiesto de Impacto Ambiental acompañado de un Estudio Técnico de Impacto Ambiental.
4. El Dictamen Técnico.
5. La Audiencia Pública de los interesados y potenciales afectados.
6. La Declaración de Impacto Ambiental (DIA).
7. El Certificado de Aptitud Ambiental.

En el Art. 19 se establecen los contenidos mínimos que deben ser tratados en el presente estudio.



Otras normas relevantes para la Evaluación de Impacto que amplían lo establecido en la Ley N° 123 de la CABA:

- Resolución N° 67-APRA/21: modifica procesos administrativos, definiciones y aprueba los formularios a completar para presentar a la autoridad de aplicación y el cuadro de categorización de actividades. Determinó que las actividades, proyectos, programas y/o emprendimientos se definan como “Obra” o “Uso” según criterios.
- Disposición N° 414-DGEVA/21: modificaciones administrativas.
- Decreto N° 86/19: establece a la Agencia de Protección Ambiental o el organismo que lo reemplace en un futuro como responsable de los actos administrativos.
- Decreto N° 87/19: Aprueba los cuadros de asimilación de Rubros conforme los Rubros y Descripciones del Código Urbanístico.

Ley N° 2930 Plan Urbano Ambiental

El Plan Urbano Ambiental (PUA) establece las pautas y directrices para el desarrollo urbano y la gestión ambiental sostenible de la Ciudad. El PUA establece que el desarrollo de la ciudad debe realizarse de acuerdo a ser una “Ciudad Saludable, en cuanto a las condiciones de habitabilidad que garanticen la calidad ambiental y la sostenibilidad, a partir del uso de tecnologías apropiadas en las actividades productivas y en los sistemas de transporte, de provisión adecuada de infraestructura de saneamiento, de la prevención de inundaciones y de la resolución de la gestión de los residuos”.

Ley N° 6629/23 de Audiencias Públicas

La norma actualiza a la Ley 6/98 de Audiencias Públicas, estableciendo las modalidades, procedimientos de convocatoria, responsabilidades y demás disposiciones pertinentes.

Ley N° 1540/04 de la Contaminación Acústica

Establece las directrices para prevenir, controlar y corregir la contaminación acústica que afecta tanto a la salud de las personas como al ambiente, protegiéndolos contra ruidos y vibraciones provenientes de fuentes fijas y móviles.

En la norma se establecen los Límites Máximos Permisibles de Ruido y los Valores Límites de Transmisión de Vibraciones. También, se determina a la Norma IRAM AITA 9C como metodología para medición de nivel sonoro de ruido emitido.

Ley N° 303/99 de Información Ambiental

Consagra el derecho de toda persona a solicitar y recibir información sobre el estado y la gestión del ambiente y los recursos naturales. La norma es aplicable a la información ambiental concerniente o que afecte a la Ciudad de Buenos Aires, que obre en poder del Gobierno de la Ciudad o de cualquier autoridad, organismo o institución pública, incluyendo a sus contratistas, concesionarias o empresas prestadoras de servicios públicos.

Ley N° 3263/09 de Arbolado Público

Establece los procedimientos técnicos y administrativos que tiendan a proteger e incrementar el Arbolado Público Urbano. En su Art. 18 dispone que las empresas públicas o privadas prestatarias de servicios, que realicen trabajos de instalación y/o tendido de redes de servicio, deberán adoptar las medidas que sean necesarias y/o emplear sistemas adecuados que garanticen la protección del arbolado público urbano.

Decreto N° 787/93 de Ordenamiento Hidráulico

Por el interés que reviste para la operación y mantenimiento del proyecto, debe mencionarse el Decreto 787/93, que aprueba la Privatización - Adjudicación de la concesión de los servicios de provisión de agua potable y desagües cloacales prestados por la Empresa Obras Sanitarias de



la Nación. En dicha adjudicación se excluyó de la concesión de Aguas Argentinas la responsabilidad del sistema pluvial de la ciudad, que quedó a cargo del GCABA, con excepción del Radio Antiguo – área de actuación –.

Ley N° 6099 Código Urbanístico

El código urbanístico incorpora distintos cambios respecto al código de planeamiento urbano anterior que databa de 1977, entre los cuales:

- Alturas máximas de construcción, para respetar la identidad de cada barrio.
- Ordena la estética de las cuadras, para propiciar un espacio público más amigable.
- Promueve una ciudad policéntrica, lo que atraerá comercios y servicios a los barrios. De esta manera se evita que determinadas áreas concentren únicamente actividades específicas, permitiendo que el vecino pueda satisfacer sus necesidades o intereses sin salir de su barrio.
- Plantea un desarrollo urbano consciente a partir de la identificación y creación de unidades sustentables, que se desarrollarán entre avenidas o calles transitadas. Se redirige la circulación vehicular hacia las avenidas, se prioriza la movilidad peatonal y la creación de nuevos espacios verdes.
- Revaloriza las zonas subdesarrolladas. Esto propicia una mayor integración social dentro de determinadas zonas de la Ciudad.

El Código Urbanístico fue aprobado por la Ley N° 6099/18, y modificado posteriormente por Ley N° 6361/20 y N° 6564/22.

El Decreto N° 99/2019 establece al Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte como autoridad de aplicación de la Ley N° 6.099. La reglamentación específicamente regula los Títulos 2 y 6 del Código Urbanístico aprobado por la Ley N° 6.099, en lo referente a los artículos: 2.1.1 “Contenido”; 6.3 “Perfil edificable”; 6.4 “Área edificable”; 6.4.2.3 “Extensiones vinculadas al centro libre de manzana”; 6.4.4. “Áreas descubiertas”; 6.4.4.2. “Espacio Urbano”; 6.4.4.7 “Enfrentamiento de áreas descubiertas”; 6.4.5. “Cuerpos salientes sobre el contrafrente”; 6.4.6 “Altura de edificios en esquina”; 6.5.5. “Completamiento de Tejido o Edificabilidad”.

Ley N° 25743 Patrimonio Arqueológico y Paleontológico

La Ley N° 25.743/2003 deroga la Ley N° 9.080, su decreto reglamentario y normas complementarias, tienen por objeto la preservación, protección y tutela del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico como parte integrante del Patrimonio Cultural de la Nación y el aprovechamiento científico y cultural del mismo.

Esta ley define en su Artículo 2° que forman parte del Patrimonio Arqueológico las cosas muebles e inmuebles o vestigios de cualquier naturaleza que se encuentren en la superficie, subsuelo o sumergidos en aguas jurisdiccionales, que puedan proporcionar información sobre los grupos socioculturales que habitaron el país desde épocas precolombinas hasta épocas históricas recientes. Mientras que el Patrimonio Paleontológico se integra con los organismos o parte de organismos o indicios de la actividad vital de organismos que vivieron en el pasado geológico y toda concentración natural de fósiles en un cuerpo de roca o sedimentos expuestos en la superficie o situados en el subsuelo o bajo las aguas jurisdiccionales.

Es de interés para este estudio, que en el Art.13 de la ley se establece que “Toda persona física o jurídica que practicare excavaciones con el objeto de efectuar trabajos de construcción, agrícolas, industriales u otros de índole semejante, está obligado a denunciar al organismo competente el descubrimiento del yacimiento y de cualquier objeto arqueológico o resto paleontológico que se encontrare en las excavaciones, siendo responsable de su conservación hasta que el organismo competente tome intervención y se haga cargo de los mismos”.



Ley N° 1854/05 de Gestión de los Residuos Urbanos (Basura Cero) y modificatorias

Ley N° 1356/04 de la Preservación del Recurso Aire

Ley N° 2214/06 de Residuos Peligrosos

Marco Legal de tránsito y transporte en CABA

Se considera para el presente estudio la siguiente normativa sobre el tránsito vial:

- Ley N° 24.449 - Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial.
- Decreto N° 779/95, N° 79/98, complementarios y modificatorios - Reglamentario de la Ley Nacional de Tránsito.
- Decreto - Ordenanza N° 12.116/948 - Código de Tránsito.
- Ordenanza N° 15.798 - Circulación de vehículos e intersecciones con semáforos.
- Ordenanza N° 22.012, complementarias y modificatorias - Reorganización del tránsito y estacionamiento de vehículos.
- Ordenanza N° 23.570, complementarias y modificatorias - Restricciones a la circulación de vehículos de transporte de carga.
- Resolución SSTT N° 97 - Limitaciones a la circulación de vehículos de carga.
- Ley N° 216 -GCABA - Red de Tránsito Pesado.
- Ley N° 454 - GCABA- Modificación de la Red de Tránsito Pesado.

6.4. Descripción del proyecto

6.4.1. Descripción general

El proyecto en cuestión se dividió en tres etapas: construcción, mantenimiento y eventual desafectación. En cuanto a la información sobre la justificación del proyecto, la zona de intervención y la memoria técnico-descriptiva puede verse los capítulos 1 (sección 1.2. y 1.3.), capítulo 4 (sección 4.2) y capítulo 5.

El proyecto consta de la instalación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) en la Cuenca Radio Antiguo. En particular se trata de un sistema de biorretención ubicado sobre la Avenida San Juan, desde Tacuarí hasta Av. Paseo Colón. Se extiende durante 7 cuadras, con un largo aproximado de 950 metros. El mismo se proyecta sobre la mano sur de la avenida utilizando un ancho de 3 carriles de la misma y realizando una ciclovía unidireccional adyacente a la acera derecha.

6.4.2. Etapas del proyecto

6.4.2.1. Construcción

El proyecto busca instalar un SUDS para mejorar la hidrología e hidráulica local, aumentar los espacios verdes y aprovechar una vía de circulación definida con sobrante vial. El área a intervenir son 9,435 m², de los cuales 7,548 m² se reconfigurarán en un sistema de biorretención y los 1,887 m² restantes formarán parte de la ciclovía. La longitud de la intervención son 944 metros, teniendo los SUDS un ancho de 8 metros y la ciclovía de 2 metros.

Se prevé que la construcción tardará 18 meses, por lo que su operación y mantenimiento empezaría luego de finalizada la etapa constructiva. En esta etapa se contemplan acciones vinculadas con la obra civil de instalación del sistema hidráulico. Se considera que para la construcción se necesitarán en total 30 empleados que trabajarán 6 días a la semana, de lunes



a sábados, en dos turnos de 6:00 a 18:00 hs. Los empleados incluyen distintos rubros, tales como albañilería, sanitarios, electricistas, paisajismo, entre otros, de modo que no será un trabajo que se realizará en paralelo sino que se dará de forma escalonada con el avance de la obra.

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las acciones identificadas para cada fase de la construcción. Cabe destacar que para esta etapa es necesario contar con el proyecto ejecutivo, los planos de detalle y de obra, así como ulteriores estudios necesarios e instancias de participación ciudadana y diálogo con los vecinos. La contratista deberá contar con la totalidad de las aprobaciones pertinentes.

Actividad	Descripción
Tareas preliminares	Incluye los permisos para el corte, ocupación y rotura de calzada ante los organismos correspondientes. Ubicación del obrador, colocación de cartelería y cerco de obra. Realización de replanteos y cateos sobre toda la traza. El plan de trabajo y de cortes de calle, plan de vallado y pasarelas para la circulación peatonal, criterios para accesos a viviendas, comercios, etc.
Demolición, fresado y/o desmontaje de estructuras urbanas	Se realizarán las demoliciones de las distintas estructuras: demolición y retiro de asfalto y sub-base de HºAº en calzada para ejecución de SUDS, demolición de elementos obsoletos presentes en el área de acción. Fresado de demarcación existente. Se contará con la señalización adecuada.
Movimiento de suelos	Posteriormente a la demolición de la calzada existente, se procederá a realizar las excavaciones a máquina necesarias en los sectores donde se ejecutarán los SUDS y ciclovía con el fin de alcanzar los nuevos niveles de proyecto. La excavación tendrá una profundidad de aproximadamente 1.4 m mientras que la ciclovía se hará al nivel del cordón cuneta –se considera una excavación de 50 cm–.
Instalación sanitaria	La obra prevé la colocación de una cañería cribada de DN 160 en la zanja del sistema de biorretención, un caño auxiliar de 400 mm en 200 metros aproximadamente y la conexión a la red pluvio-cloacal existente, con la consiguiente adaptación de las cámaras existentes. En esta actividad se coloca la capa drenante y el geodrén. Las ejecuciones de instalaciones sanitarias incluyen: (i) conexión y adaptación de cámaras existentes (incluye excavación), (ii) ejecución de nueva cámara de inspección y de sumidero auxiliar (incluye excavación), (iii) colocación de tapas ciegas en dichas bocas, y (iv) provisión y colocación de nexos de conexión (zanjeo, protección mecánica y tapada).
Relleno y nivelación superficial	Luego de la colocación de la cañería y geodrén, se realiza el relleno del área de biorretención con el material indicado en las especificaciones técnicas. Deberá ser de la granulometría indicada, no se podrá reutilizar el suelo extraído anteriormente –salvo en las situaciones contempladas con anterioridad–. El medio filtrante del SUDS idealmente deberá contar un testeo de conductividad hidráulica y confirmación de cumplimiento con los



Actividad	Descripción
	parámetros de diseño para asegurar su correcto funcionamiento. Para la zona de ciclovía se podrán utilizar las tierras provenientes de excavaciones de terreno natural, siempre y cuando las mismas sean aptas ambiental y granulométricamente. Se colocará el suelo seleccionado y se realizará la nivelación a máquina respetando los niveles y pendientes del proyecto. Se compactará el suelo en la zona de la ciclovía por cilindradas u otro medio apropiado hasta un 95% de densidad máxima del terreno. No se deberá sobre-compactar el suelo del área de biorretención ya que reduciría la capacidad de infiltración.
Hormigonado	Las ejecuciones de hormigón armado se limitan a la ciclovía en sí misma, la realización del sumidero y cámara nueva, la adaptación de las cámaras existentes, la intervención del cordón cuneta, separaciones entre calzada - SUDS - ciclovía y otras situaciones menores.
Albañilería y pintura	Esta actividad implica la reparación de carpeta asfáltica en los lugares donde se haya realizado la rotura de la misma, de las esquinas, rampas de ingreso a vereda y demás indicaciones. El uso de pintura será limitado a la ciclovía, así como a la señalización y demarcación sobre la misma.
Paisajismo y sistema de riego	En etapa de Proyecto Ejecutivo se definirán los usos superficiales del SUDS, el paisajismo. Para esta actividad se proveerán y plantarán las especies indicadas, la colocación de tutorado y ataduras. Se mantendrá todo el arbolado lineal en vereda. Se contempla un sistema de riego por aspersión para el cual será necesario la realización de un pozo de captación de agua subterránea, con la instalación de la bomba, elementos de operación y control del sistema, así como las cañerías de riego.
Limpieza final de obra y desocupación	Desmantelamiento de las instalaciones temporales, clasificación y eliminación de los desechos producidos durante la construcción. Al finalizar la misma, se realizará una limpieza final de modo de recomponer los sectores ocupados temporalmente y dejar el área en perfectas condiciones.

La realización de obras civiles tiene asociado una generación de residuos, los cuales en este caso son principalmente sólidos. Estos residuos pueden ser especiales como no especiales. Comenzando las actividades propiamente dichas de construcción, se producirán residuos sólidos los componentes típicos de construcción como lo son hormigón, asfalto, y suelos, es decir que se generarán principalmente restos de obra y demolición (ROyD). Estos residuos se recolectan diariamente y serán depositados en un área delimitada para que luego sean recolectados para su correspondiente disposición.

En el caso puntual de los residuos especiales, se dispondrán según el protocolo propuesto por la normativa de la Ciudad. En cuanto a la construcción, encontramos residuos especiales como los restos de pintura, barnices, diluyentes, entre otros, se dispondrán en sitios cerrados



herméticamente para su disposición transitoria. Además, las personas encargadas de la construcción generarán residuos sólidos urbanos.

6.4.2.2. Operación

La presente fase implica la puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible. Se hará hincapié en la operación del mismo, ya que la ciclovía a incorporar no requerirá de mayores actividades que aquellas realizadas de rutina por el Ente de Limpieza dependiente del Gobierno de la Ciudad.

La duración estimada de esta etapa es mayor a 30 años, con una durabilidad de más de 50 años en algunas ocasiones. Hay experiencia de SUDS que tuvieron un óptimo rendimiento más de 30 años sin mantenimiento. De todas formas, un sistema de biorretención requiere aproximadamente 2.5 veces más mantenimiento que un diseño paisajístico típico, de forma de tener los estándares de rendimiento deseados (Woods Ballard et al., 2015). Las actividades identificadas para la operación del sistema se describen a continuación.

Actividad	Descripción
Período de Establecimiento	Se trata de la puesta en marcha del sistema. Pruebas hidráulicas, inspección luego de las lluvias y medición de deposición de sedimentos.
Funcionamiento del SUDS y ciclovía	Implica el correcto funcionamiento del área de biorretención, la atenuación del caudal pico y retención, la creación de un espacio verde en el barrio de San Telmo y la utilización de la ciclovía como par vial al proyectado en Av. Independencia.
Gestión de Residuos e Higiene Urbana	Recolección de residuos de forma de mantener el SUDS. Barrido de calles para evitar la acumulación de sedimentos. El proyecto en sí no generará residuos, pero necesitará de parte del GCBA una correcta gestión de aquellos generados en la vía pública para no interferir con la operación.
Poda y Paisajismo	Se trata de los trabajos de poda y paisajismo habituales realizados por el área de Espacio Público del Gobierno de la Ciudad. Mantenimiento de los mismos, eventual remoción de ejemplares, control de plagas.
Sistema de Riego	El SUDS contará con un sistema de riego a partir de la realización del pozo de captación de agua. Se deberá asegurar el correcto funcionamiento de la telemetría y sistema de control así como de los aspersores y demás elementos hidráulicos del sistema de riego.
Mantenimiento hidráulico	El mantenimiento regular incluye inspección, remoción de residuos y corte del pasto y vegetación. Así como la limpieza de las cámaras y el mantenimiento de sumideros realizado por la Dirección General de Sistema Pluvial del GCBA. El mantenimiento ocasional se focaliza sobre la gestión de los sedimentos para evitar el almacenamiento de material particulado que tape la cañería.



6.4.2.3. Desafectación

Si bien el proyecto está proyectado para mantenerse operativo durante varias décadas, y con un correcto mantenimiento puede funcionar de forma eficiente más de 50 años, eventualmente se llegará a la etapa de desafectación. Para este caso en particular, se estima que dicha fase se deba a una revalorización o reconfiguración en el uso del espacio público, más que una finalización de la vida útil del proyecto. Las posibles acciones de esta etapa se identifican en la siguiente tabla.

Actividad	Descripción
Desmantelamiento y adecuación del espacio	Demarcación y señalización del área para la operación. Esta actividad implica únicamente el desmantelamiento del sistema de riego y las estructuras recreativas utilizadas sobre el mismo. En el caso de que sea necesario, se deberá limpiar y adecuar el terreno para las futuras acciones.
Monitoreo de cierre	Realización del monitoreo del estado del sistema urbano de drenaje sostenible. Análisis de la degradación del suelo y el estado del sistema de drenes.

6.5. Línea de Base Ambiental

6.5.1. Área de Influencia

El proyecto se llevará a cabo en el barrio de San Telmo – Ciudad Autónoma de Buenos Aires –, particularmente sobre la Av. San Juan entre las calles Tacuarí y Av. Paseo Colón. Se extiende durante 7 cuadras, con un largo aproximado de 950 metros (véase imagen 11 - Capítulo 4),

El Barrio de San Telmo se encuentra comprendido dentro de la cuenca Radio Antiguo. Es el barrio más pequeño de la Ciudad y limita con los barrios de Maserati, Constitución, Puerto Madero, La Boca y Barracas (véase imagen 8 - Capítulo 4).

El área del proyecto en sí se encuentra definida por los 7,550 m² destinada al área de biorretención. Para la evaluación de los impactos ambientales se ha considerado un área de influencia que abarque el entorno donde pudieran verse manifestados los potenciales impactos ambientales del proyecto. Para poder realizar una correcta valoración de los impactos, en primer lugar se debe poder determinar el alcance del estudio, es decir el área de influencia directa e indirecta.

El Área de Influencia Directa (AID) corresponde al área en la que se manifiestan los impactos ambientales directos. Principalmente, aquellos efectos que podrían ocurrir en el mismo sitio en el cual se producen las acciones del proyecto. Por lo tanto, el área de influencia directa se encuentra comprendida por el área operativa – ocupada por el sistema de biorretención y ciclovía – y un radio de 200 metros.

El Área de Influencia Indirecta (AII) se define como el área en la cual se presentan los impactos ambientales indirectos, estos son aquellos que ocurren como consecuencia de su influencia sobre el medio. El AII incorpora el AID y se define teniendo en cuenta las actividades del proyecto y el destino de las aguas pluviales. A su vez, contempla el territorio donde potencialmente se manifiestan los efectos sobre la población y el sistema ambiental, en

particular sobre la hidrología local e infraestructura de servicios. Por estas razones, el AII fue determinada para la totalidad del barrio de San Telmo y para las subcuencas del Radio Antiguo consideradas en un radio de 1 km desde el área operativa. Este último criterio fue el área de influencia considerada en la documentación de proyecto para la realización del modelo hidrológico e hidráulico. La totalidad de la cuenca Radio Antiguo también tiene una influencia indirecta sobre el área en cuestión. Así, la definición de las áreas de influencia directa e indirecta se ajustan a medida que se continúa con la evaluación de los impactos y es por esto que no pueden quedar definidas en su totalidad hasta que se realicen los análisis conclusivos sobre el estudio.

En las imágenes 1 y 2 se puede observar el área de influencia del proyecto y su ubicación relativa en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

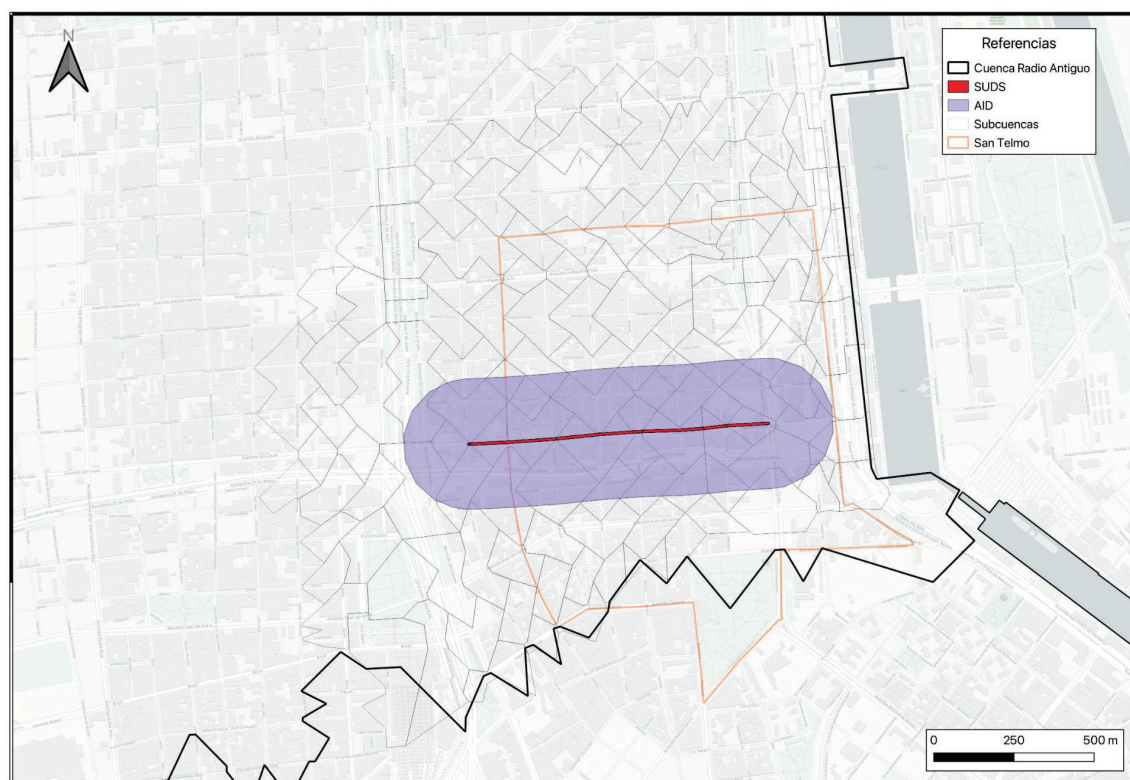


Imagen N° 1. Área de Influencia del Proyecto. Fuente: elaboración propia.

Nota: el AID se establece como un buffer de 200 metros del área de los SUDS.

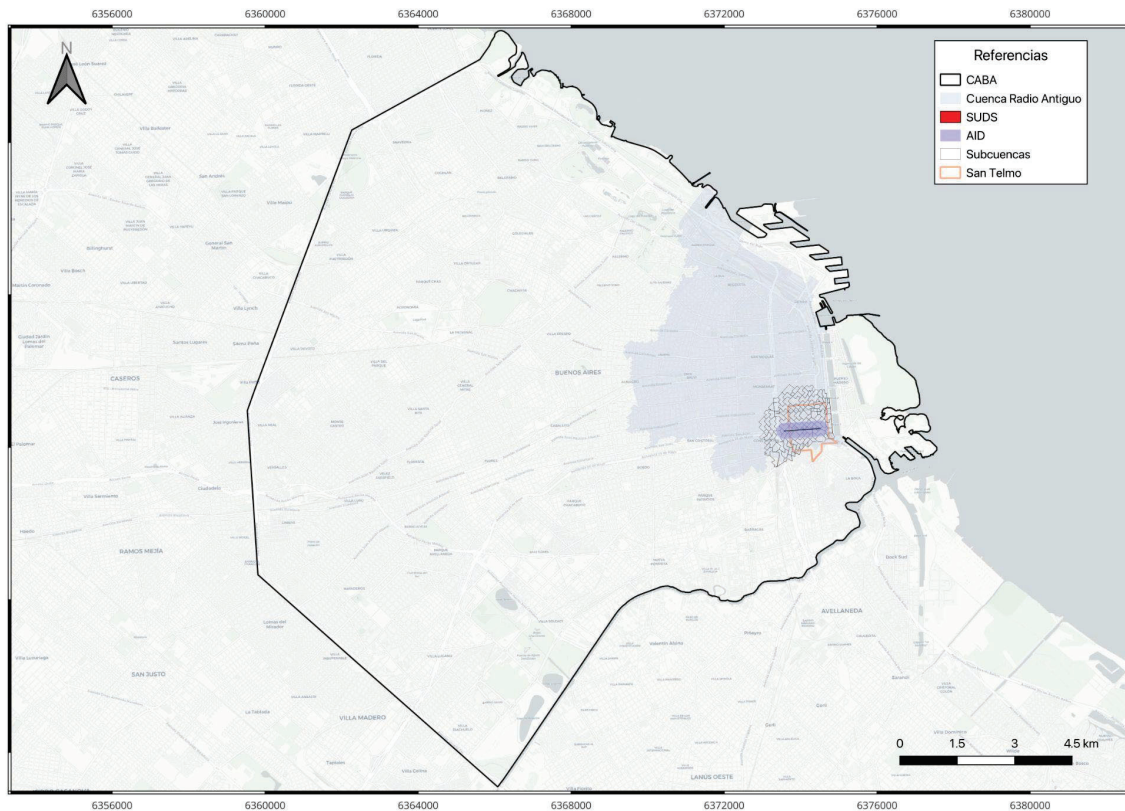


Imagen N° 2. Área de Influencia del Proyecto - ubicación relativa CABA. Fuente: elaboración propia.

Para éstas áreas de Influencia se determinó la Línea Ambiental de Base, considerando el medio físico, biológico y antrópico que podrá ser impactada por las acciones, tareas, rutinas, flujos de materia y energía, provisión de servicios, operaciones y actividades del proyecto de SUDS sobre Av. San Juan.

6.5.2. Medio físico

6.5.2.1. Clima

El clima de Buenos Aires es templado húmedo de tipo Pampeano, influenciado principalmente por la cercanía al Río de La Plata. No presenta amplitudes térmicas diarias muy marcadas, aunque sí entre las distintas estaciones, con veranos cálidos e inviernos frescos. Las precipitaciones se dan con mayor frecuencia durante la época estival (figura 3).

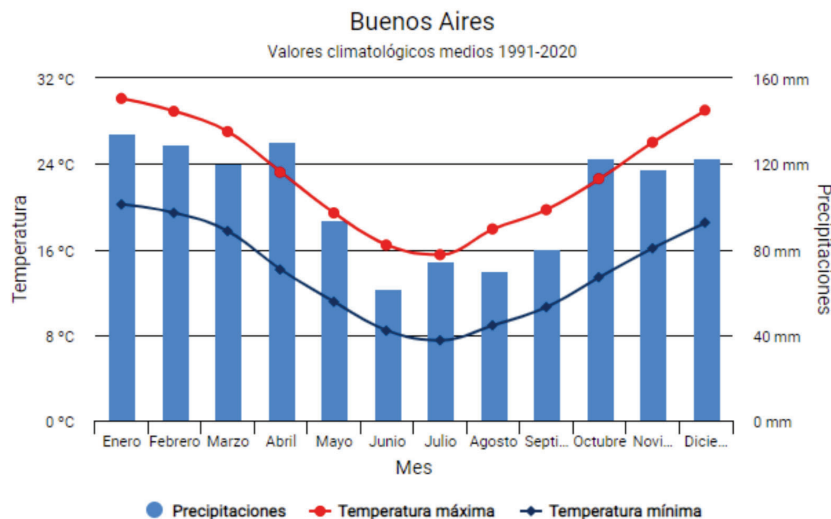


Imagen N° 3. Características promedios del Clima de la Ciudad de Buenos Aires entre los años 1991 y 2020. Fuente: SMN (2024).

En cuanto a la temperatura, de acuerdo a datos publicados por el Servicio Meteorológico Nacional, la temperatura media anual se sitúa en torno a los 18° C, con una mínima media anual que ronda 14° C y una máxima media anual de alrededor de 22° C. Las temperaturas extremas en los últimos años se han registrado por debajo de los 0° C y superando los 39° C. La humedad relativa promedio es de alrededor de 75%. Además, el período libre de heladas es extenso.

La imagen 4 presenta las precipitaciones anuales en el período disponible, junto con su precipitación media anual y la evolución de las precipitaciones medias cronológicas incrementales (incorporando un nuevo año en cada cálculo), como primer indicador de tendencia de la serie.

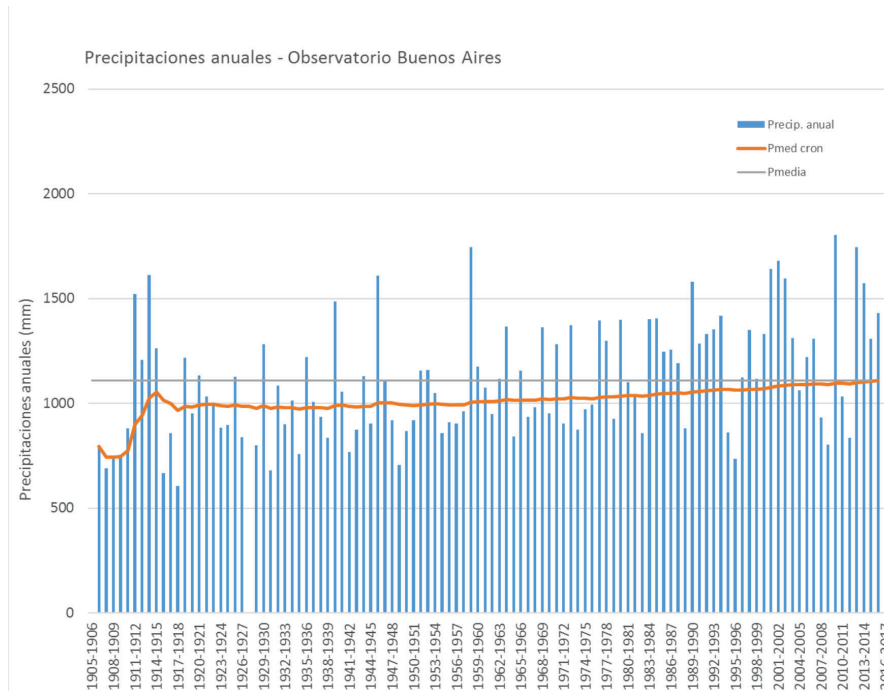


Imagen N° 4. Precipitaciones anuales Observatorio Villa Ortúzar - SMN. Fuente: CH2M Hill Argentina (2019).

La Ciudad tiene una precipitación media anual de 1107 mm con picos máximos en primavera y verano, y mínimos en invierno (CH2M Hill Argentina, 2019). El litoral fluvial no solo registra los valores más elevados de la región, sino que además acumula el mayor número de días con precipitación (aproximadamente 100). La estación con mayores precipitaciones es, en términos generales, el verano con un máximo en el mes de enero. En invierno, particularmente en junio y julio, se registran los menores valores.

En las últimas décadas los registros históricos demuestran un aumento sostenido del volumen anual de precipitaciones. Este punto es de suma importancia para el proyecto en cuestión, ya que las precipitaciones y el agua pluvial tienen una incidencia directa en la escorrentía que se genera en la Ciudad.

En promedio, desde 1960 a la actualidad, el incremento ha sido de 47 mm por década (GCBA, 2020c). En los últimos 12 meses, el mayor valor de la precipitación media mensual fue mayor a los 300 mm (SMN, 2024).

Considerando día de lluvia a aquél con registros mayores a 0.1 mm, la cantidad de días al año con precipitaciones en la Ciudad de Buenos Aires fue entre 91 y 95 días según las series 1906 - 2015 del Observatorio Villa Ortúzar del Servicio Meteorológico Nacional (CH2M Hill Argentina, 2019).

La evapotranspiración potencial refleja en gran medida la demanda de agua. Sus valores oscilan alrededor de los 850 mm en la zona de estudio. El balance se realiza a partir de los datos de precipitación y temperatura para conocer la evapotranspiración potencial y la real, y así poder evaluar la disponibilidad de agua en el suelo, excesos de agua y períodos de déficit hídrico.

Los vientos dominantes provienen del noreste y del sudoeste, siendo de gran relevancia el fenómeno “Sudestada”, característico del estuario del Río de la Plata que afecta la dinámica del movimiento del agua en ambas márgenes del río. Por un lado, el viento noreste, cálido, ingresa desde Brasil cargado de humedad por su paso previo sobre el Océano Atlántico. Por otro lado,



el viento frío del sudeste es el denominado “Pampero”, que ingresa al país proveniente del Océano Pacífico y pierde su humedad al cruzar la Cordillera de los Andes.

El fenómeno de la Sudestada se asocia a menudo a inundaciones en la Ciudad por el efecto que produce en la elevación del nivel del Río de la Plata y de los arroyos entubados que allí desaguan, al reducir o impedir el drenaje natural de las aguas hacia el Océano Atlántico.

6.5.2.2. Aire

Calidad del Aire

La contaminación atmosférica en el área de influencia se debe principalmente a las fuentes móviles y en segundo lugar, a las fuentes fijas. Dentro del primer grupo, el principal contaminante es el transporte automotor que con su consumo de combustible derivado del petróleo es uno de los principales contaminantes del aire. Hay que tener en cuenta que el área de influencia del proyecto es ampliamente transitada por vehículos particulares, transporte público e incluye autopistas.

Dentro de las fuentes fijas puede mencionarse a las varias centrales termoeléctricas radicadas cerca del área (Puerto Nuevo, Nuevo Puerto, Pedro de Mendoza, Dock Sud, Central Costanera y Central Buenos Aires), algunos sectores de la actividad industrial y el funcionamiento del puerto de Buenos Aires capaz de producir emisiones gaseosas contaminantes.

En la Ciudad de Buenos Aires existe una red de monitoreo atmosférico, que realiza un monitoreo continuo de calidad de aire con 3 estaciones que operan todo el día los 365 días del año. En estas estaciones se monitorean concentraciones de los siguientes compuestos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM₁₀), ozono (O₃) y dióxido de azufre (SO₂). La estación La Boca se encuentra ubicada en Av. Brasil al 100 (Comuna 4, barrio de La Boca), por lo que está emplazada a pocos metros del barrio de San Telmo. Inició sus operaciones en mayo del 2009.

De acuerdo a la información tomada de la base de datos del GBCA, se revela que los niveles de CO se encuentran, en promedio, significativamente por debajo de los Límites Máximos Admisibles (LMA) en la Ley N° 1356, siendo el máximo valor promedio de 8 horas (3,3 ppm) aproximadamente una tercera parte del valor límite (9 ppm). En relación al NO₂, los promedios anuales oscilan entre 16 y 20 ppb, representando menos de la mitad del LMA local (53 ppb), aunque están cercanos al nivel guía de la OMS (21 ppb). El máximo valor horario registrado en tres años fue de 129 ppb, sin superar ni el LMA (200 ppb) ni el nivel guía de la OMS. Sin embargo, en cuanto al PM₁₀, los datos son menos favorables. Las concentraciones medias anuales están entre 24 y 30 µg.m⁻³, por debajo del LMA (50 µg.m⁻³) pero superiores al límite recomendado por la OMS (20 µg.m⁻³). La estación La Boca muestra mayores valores, con un promedio de 24 horas que excede el nivel guía de la OMS en el 8,3% de los casos (aproximadamente 30 días al año) (imagen 5).

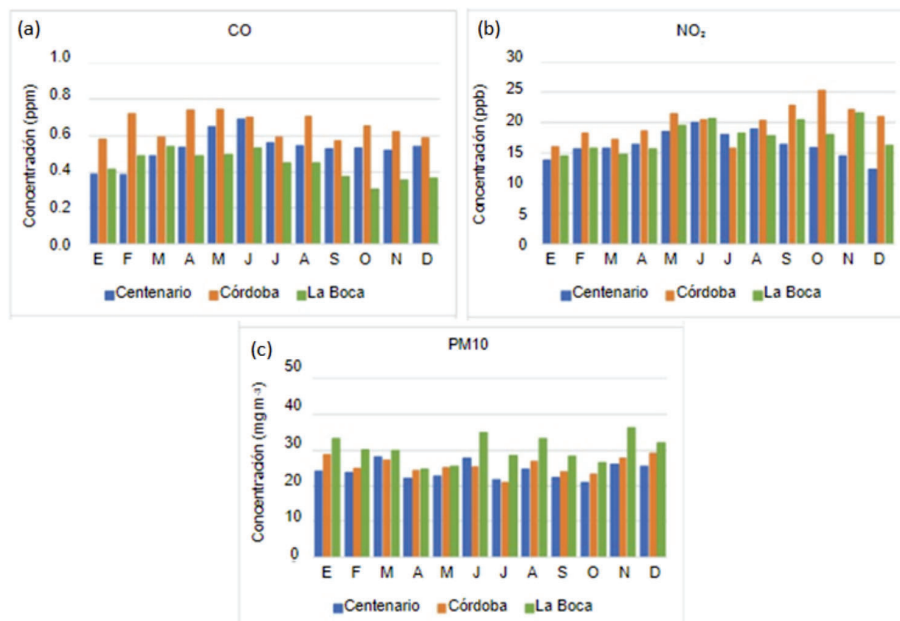


Imagen N° 5. Promedios mensuales para el período 2016 - 2018 en las estaciones de monitoreo de la Ciudad de Buenos Aires. Fuente: Serio et al (2020).

En relación a los problemas de calidad del aire, los principales factores que inciden en el área de estudio están relacionados con los vehículos que circulan por la Av. San Juan y son originados por: (i) uso masivo y de bajo aprovechamiento del vehículo particular, (ii) falta generalizada de adecuación tecnológica para uso de combustibles menos contaminantes y dispositivos de reducción de la contaminación, (iii) escasez de mantenimiento del parque automotor, en especial en el más antiguo, (iv) congestión vehicular y (v) velocidades y direcciones del viento: en cualquier dirección y estación del año la velocidad media oscila entre los 14 y 20 km/h.

Ruido Ambiental

Las fuentes predominantes de ruido en entornos urbanos incluyen el tráfico vehicular, ferroviario y aéreo, así como las actividades de construcción, eventos deportivos, culturales y el sonido emitido por establecimientos comerciales.

En 2005, el Gobierno de la Ciudad llevó a cabo la primera fase de mediciones para su Mapa Estratégico de Ruido, en respuesta a los requisitos de la ley N° 1540/04. En la actualidad, la Ciudad cuenta con un mapa de ruido que permite observar los niveles sonoros en el área de influencia.

Al observar la imagen 6, se resalta que la Av. San Juan se encuentra dentro del rango de 75 - 80 dBA, y se encuentra adyacente al núcleo de 9 de Julio - Autopista 25 de Mayo /Arturo Frondizi cuyos valores son mayores a los 80 dBA. Esto indica que el área de intervención del proyecto cuenta con valores elevados de ruido durante el período diurno. Las calles adyacentes presentan los valores típicos de vialidades secundarias (entre 65 y 75 dBA).

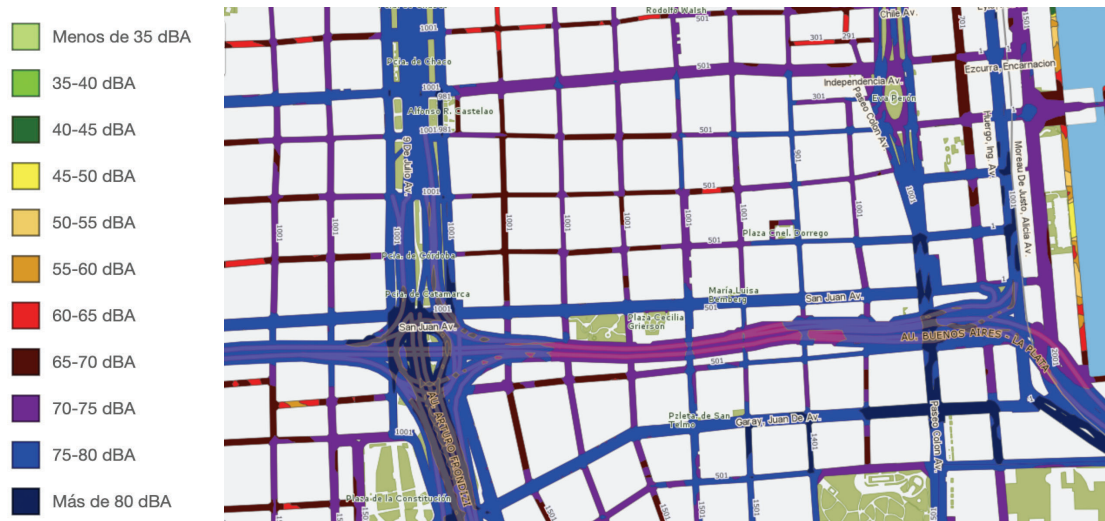


Imagen N° 6. Intensidad sonora diurna en el área del proyecto, Ciudad de Buenos Aires. Fuente: [Mapa Interactivo de la Ciudad](#).

Nota: se trata del nivel sonoro continuo equivalente a largo plazo en período diurno (7:01 a 22:00 h) de acuerdo a la Ley N° 1.540.

La Ciudad también cuenta con un mapa que establece las Áreas de Sensibilidad Acústica en el Ambiente Exterior (ASAE) con los límites máximos permisibles (LMP) según la Ley N° 1540 y Decreto 740/07, Res. 2019-177.

Según el mismo, la Av. San Juan se encuentra en un ASAE tipo IV, en un área particularmente cercana a la zona V (autopistas) (imagen 7). El tipo IV refiere a áreas de sensibilidad acústica extremadamente baja, es decir aquella zona en la cual los niveles de ruido permitidos son más altos debido a la naturaleza de las actividades que se desarrollan en ellas. Esto incluye zonas industriales pesadas o áreas con alta actividad comercial e industrial. Los niveles de ruido permitidos son más altos comparados con otros tipos de ASAE (Tipo I, II y III). Esto justifica mayores umbrales de tolerancia acústica, con un límite máximo permisible de 75 dBA diurno y 70 dBA nocturno.

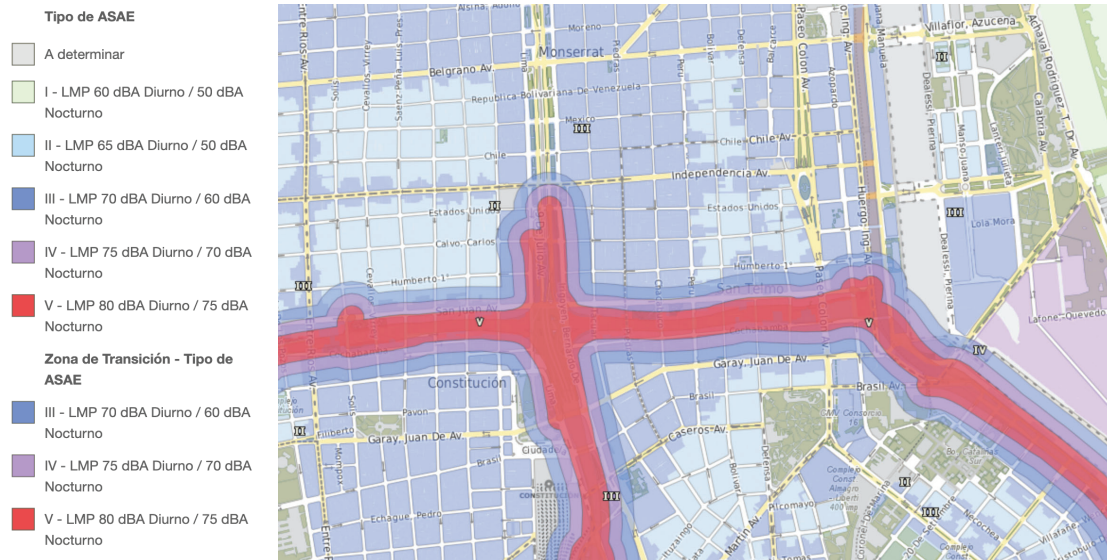


Imagen N° 7. Áreas de Sensibilidad Acústica en el Ambiente Exterior en el área del proyecto, Ciudad de Buenos Aires. Fuente: [Mapa Interactivo de la Ciudad](#).

6.5.2.3. Geología y Geomorfología

Geología

La estructura geológica de la Ciudad de Buenos Aires se compone de diversas capas sedimentarias que descansan sobre el Basamento Cristalino Precámbrico del Cratón del Río de la Plata. Con motivo del proyecto son de especial interés las capas más superficiales, en las cuales predominan los componentes loésico limo-arcilloso (SEGEMAR, 2001). La topografía en el área del proyecto fluctúa entre 18 y 5 msnm.

A continuación se describen las unidades geológicas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Desde el subsuelo hacia la superficie, las unidades comienzan por el basamento cristalino y las formaciones Olivos, Paraná y Puelches, posteriormente se encuentran las unidades en parte aflorantes que constituyen el “Pampeano” y “Post Pampeano”: formaciones Ensenada, Buenos Aires y Querandí (SEGEMAR, 2001).

A. Formación Puelche

Las capas más profundas del subsuelo de Buenos Aires son arenas cuarzosas sueltas, conocidas como Formación Puelche. Estas capas, de origen fluvial, se encuentran a más de 30 m de profundidad, con un espesor de unos 40 m, y datan del Plioceno. Presentan una estratificación gradada con arenas gruesas y gravillas en la base, relacionadas con un delta antiguo del río Paraná.

B. Sedimentos del Pampeano

Encima de la Formación Puelche están los sedimentos del Pampeano, arcillosos y de color pardo amarillento, con espesores de 40 a 50 m. Cubren gran parte de la región y se ven en barrancas y excavaciones. Incluyen la Formación Ensenada, seguida de la Formación Belgrano (a veces ausente), la Formación Buenos Aires y la Formación Luján.



C. Formación Ensenada

La Formación Ensenada, la más antigua del Pampeano, se encuentra en barrancas y paleovalles fluviales, compuesta por sedimentos de origen volcánico desde el Plioceno.

La Formación Ensenada basal tiene un espesor del orden de los treinta metros y se expone entre otros lugares en Parque Lezama y las Barrancas de Belgrano entre cota +5 a +10 msnm. En relación a la Formación Ensenada cuspidal, se encuentran dispuestos en forma de bancos de toscas. En la costa Sur de la ciudad, estos bancos tienen espesores del orden de los 3 a 4 metros entre cotas -3 a -7 metros (SEGEMAR, 2001).

D. Formación Buenos Aires

Sobre la Formación Ensenada, con erosión discordante, están los sedimentos loésicos de la Formación Buenos Aires, principalmente limos eólicos. Estos limos loessoides son de color castaño algo rojizo y constituyen un manto espeso que se desarrolla entre cotas +10 y +25 metros, en el ámbito de la ciudad, se distribuye tanto en los sectores elevados como en depresiones y cauces fluviales (SEGEMAR, 2001).

E. Sedimentos del Post-Pampeano

Los sedimentos más superficiales son del Post-Pampeano, visibles en barrancas y excavaciones. Desde hace 10.000 años, con el Holoceno, estos sedimentos incluyen la Formación La Postrera, predominantemente arenosa, y la Formación Luján, de depósitos fluviales. También hay depósitos marinos y costeros del "Belgranense" y "Querandinense".

F. Ambiente de depositación

Durante el Holoceno, el aumento del nivel del mar y el clima cálido provocaron una ingresión marina que erosionó y acumuló materiales arcillosos, formando la Formación Querandí, creando una llanura inundable en la región de Buenos Aires.

Geomorfología

En Buenos Aires se identifican tres unidades geomórficas principales: la Planicie Ondulada, la Superficie de Erosión y la Planicie Extraordinaria.

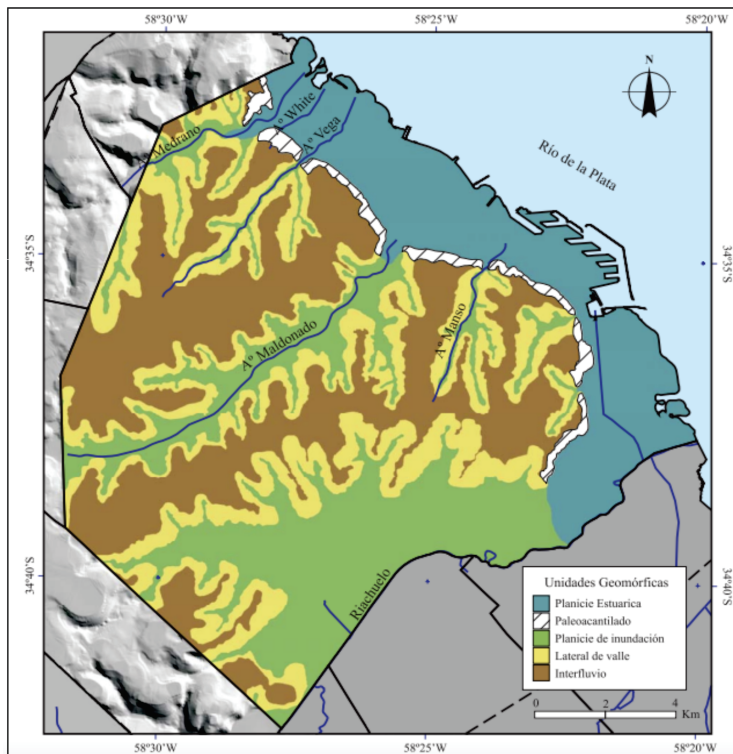


Imagen N° 8. Mapa geomorfológico de la Ciudad de Buenos Aires.

Fuente: Nabel & Becerra Serial (2008).

La Planicie Ondulada es un área medianamente plana con suaves pendientes del 1% al 2%, con áreas elevadas que actúan como divisorias de sistemas fluviales, formada por procesos erosivos eólicos y fluviales durante el Cuaternario. Las lomadas altas siguen una dirección noreste, influenciadas por el graben del Salado.

En los bordes de la Planicie Ondulada se encuentra la Superficie de Erosión, que incluye pequeñas laderas que llegan al fondo de los arroyos, ahora modificados por el hombre. Estas superficies actúan como conductos para aguas pluviales, a pesar de la urbanización y la infraestructura.

La Planicie Extraordinaria está situada en la ribera del río de la Plata, formando una amplia planicie de inundación con una barranca de unos 10 metros de altura. Aunque modificada por la construcción urbana, conserva algunos rasgos naturales, especialmente al sur de la ciudad, alcanzando alturas topográficas de 25 a 30 metros.

En la actualidad en la Ciudad de Buenos Aires se destacan dos geoformas: terraza alta y terraza baja. La primera se desarrolla por encima de la cota 10 m, hasta la culminación topográfica de la ciudad a cota 27 m en Villa Devoto (Yrigoyen, 1993) y en ella, por debajo de la cubierta edificada, se dispone la formación Pampeano. En la Terraza Baja, por debajo de cota 5 m, se presenta el Postpampeano predominantemente marino y por ello el agua subterránea es de alta salinidad en todo el perfil.

El área del proyecto se encuentra ubicada en una planicie estuárica, con importantes pendientes que fluctúan entre los 18 a los 5 m IGN. Se trata de una zona topográficamente de barranca que se fue expandiendo. Geomorfológicamente el área hasta Paseo Colón es considerada una terraza alta donde se encuentran los valles de inundación.



En resumen, Buenos Aires se sitúa mayormente sobre la planicie pampeana, con interfluvios que dominan el paisaje. Las zonas de mayor pendiente se encuentran en el Paleoacantilado, mientras que las planicies de inundación y la Planicie Estuárica tienen pendientes muy bajas.

6.5.2.4. Edafología

En la Ciudad de Buenos Aires, la edafología y el perfil del suelo son elementos clave para entender su geología y desarrollo urbano. Los suelos de la ciudad se han estudiado extensivamente, revelando un panorama de diversas formaciones sedimentarias del Terciario y Cuaternario. Estas capas sedimentarias, denominadas Pampeano y Post-Pampeano, están formadas por diferentes unidades litológicas.

La superficie de la ciudad abarca aproximadamente 200 km² y presenta un relieve suave y poco marcado, con una planicie loésica y cursos de agua superficiales. Los rellenos y excavaciones urbanas han modificado significativamente el relieve original, especialmente mediante la nivelación de barrancas y la rectificación de los arroyos. Estas intervenciones han alterado la observación directa de los estratos geológicos en algunos puntos clave. La formación Puelches constituye un importante acuífero, compuesto por arenas finas cuarzosas, densas y de graduación uniforme, que permite la extracción significativa de agua potable. Esta formación es relevante geotécnicamente por su capacidad de soporte para cimentaciones profundas, como pilotes (SEGEMAR, 2001).

Encima de la formación Puelches se encuentran las sedimentitas que componen las formaciones Ensenada, Buenos Aires y Luján, entre otras, todas ellas con horizontes bien definidos pero con contactos a veces difíciles de distinguir debido a la naturaleza horizontal de los depósitos y las coberturas antropogénicas. Estos sedimentos incluyen arenas fluviales y limos del Holoceno, que históricamente han sido utilizados para cimentaciones y obras de infraestructura en la ciudad (SEGEMAR, 2001).

6.5.2.5. Hidrogeología

El agua subterránea en el subsuelo de Buenos Aires se encuentra alojada fundamentalmente en los Sedimentos Pampeanos y dentro de la Formación Puelche, configurando los acuíferos Pampeano y Puelches, respectivamente, mientras las napas más cercanas a la superficie se disponen en el Acuífero Freático (imagen 9).

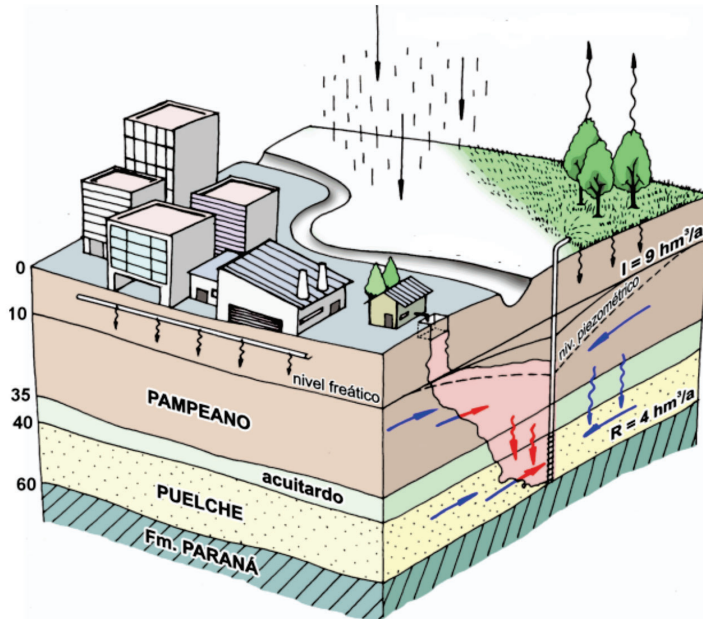


Imagen N° 9. Hidrogeología de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fuente: SEGEMAR (2006).

Acuífero Pampeano: dentro del Acuífero Pampeano, se observa una notoria similitud litológica e hidrogeológica, lo que permite clasificar toda la sección de la unidad litológica como una sola entidad desde el punto de vista hidráulico. Este acuífero muestra un comportamiento de baja a media productividad. Se recarga principalmente por la infiltración directa de la lluvia y destaca por ser la fuente de recarga del Acuífero Puelche a través del proceso de filtración vertical descendente.

En el contexto de la ciudad de Buenos Aires, se observa un espesor de aproximadamente 45 metros con una cota topográfica de +20 metros y una cota estructural para el piso del Pampeano de alrededor de -25 metros. El Acuífero Pampeano prácticamente no se explota en la Ciudad debido a que su calidad de agua es variable y no se utiliza para consumo humano, sino a veces para riego o actividades industriales. Cuando es necesario realizar excavaciones por debajo de la superficie freática, se recurre a técnicas para deprimirlo o drenarlo.

Acuífero Freático: es el que en condiciones naturales se halla más cerca de la superficie, pero por debajo del nivel freático, se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica y se alimenta directa o indirectamente del agua de lluvia que se infiltra. Se trata de una zona saturada del acuífero. El mismo se encuentra alojado principalmente en los sedimentos Post-Pampeanos. En lo referente a la Ciudad de Buenos Aires, debido a la escasa infiltración este acuífero está poco representado y sólo está presente en sectores bajos de la ciudad. Al igual que el acuífero Pampeano, su calidad de agua es variable por su proximidad a la superficie, por lo que no es utilizada para consumo humano sino para ciertas actividades industriales.

Acuífero Puelche: las arenas del Acuífero Puelche exhiben características cuarzosas, maduras y prácticamente carentes de cemento, con colores que varían de amarillentos a grisáceos o blanquecinos, presentando grano fino a mediano y ocasionalmente intercalaciones de gravillas y rodados en sus niveles inferiores. Este acuífero se encuentra a profundidades variables, desde alrededor de 40 m en las cercanías del Río Paraná hasta más de 100 m en Pergamino y 120 m en Junín. Sus espesores varían, siendo comunes valores entre 20 y 35 m. Es el acuífero más explotado del país y contiene agua adecuada para la mayoría de los usos. Sin embargo, en la Ciudad no es explotado con fines de abastecimiento de agua ya que es utilizado el Río de la Plata.



En la ciudad de Buenos Aires, el Acuífero Puelche presenta las mayores cotas piezométricas en el borde oeste, con valores superiores a 15 m. Desde este punto, el flujo subterráneo dominante es hacia el noreste y al este, llegando al Río de la Plata, con una componente secundaria hacia el sudeste, en dirección al Riachuelo. La magnitud del flujo subterráneo es del orden de 9,900 m³/día (3.6 hm³/a), con una velocidad media efectiva de 0.2 m/día y un gradiente hidráulico promedio de 1.2×10^{-3} .

En relación al Sistema Urbano de Drenaje Sostenible analizado en el presente proyecto, el mismo no tendrá incidencia en el acuífero ya que no afectará el nivel freático. Interactuará con la zona no saturada encontrada entre el nivel del terreno y el nivel freático. La zona no saturada es la región del suelo que se encuentra por encima del nivel freático y cuyos poros del suelo contienen tanto aire como agua (no se encuentran completamente saturados con agua). El pozo de captación para el sistema de riego alcanzará el acuífero Pampeano.

6.5.2.6. Hidrología Superficial

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires se encuentra conformada por doce cuencas: Ugarteche, Radio Antiguo, Boca - Barracas, Elía, Ochoa, Erezcano y San Pedrito, Larrazabal y Escalada, Cildañez, Maldonado, Vega, White y Medrano, de las cuales tres se extienden sobre el conurbano (véase imagen 4 y 5 del Capítulo 4). Suele considerarse que la Ciudad se encuentra atravesada por 11 cuencas, al considerar a la cuenca Ugarteche y Radio Antiguo en conjunto, debido al pequeño tamaño de la primera y a la similitud en características.

La Cuenca Radio Antiguo se extiende por 2,440 ha y se encuentra conformada por tres valles principales correspondientes a tres arroyos: llamados originariamente arroyos Tercero del Sur, del Medio y del Norte (véase imagen 7 en el Capítulo 4).

En la Ciudad los terrenos presentan tres altos topográficos llamados "Mesetas": la "Meseta del Norte", la "Meseta del Medio" y la "Meseta del Sur", los mismos integran la Cuenca de interés. Aunque morfológicamente son interfluvios con lados inclinados y no mesetas verdaderas, este término se mantiene por razones históricas. Estas mesetas están separadas por arroyos que cortaban el talud barrancoso entre ellas. Entre la "Meseta del Sur" y la "Meseta del Medio" fluía el arroyo Tercero del Sur, que nacía en Parque de los Patricios y corría hacia el noreste, pasando por Plaza Constitución hasta Independencia y Defensa. Luego, seguía por el "Zanjón de los Granados" hacia la playa del río en la Av. San Juan. Más al norte, el arroyo Tercero del Medio comenzaba cerca de Humberto I y Solís, continuaba por Plaza Lorea, y seguía hacia Av. Córdoba y Suipacha, desaguando en las playas por el "Zanjón de Matorras", que correspondía a la actual calle Tres Sargentos (SEGEMAR, 2001) (imagen 10).

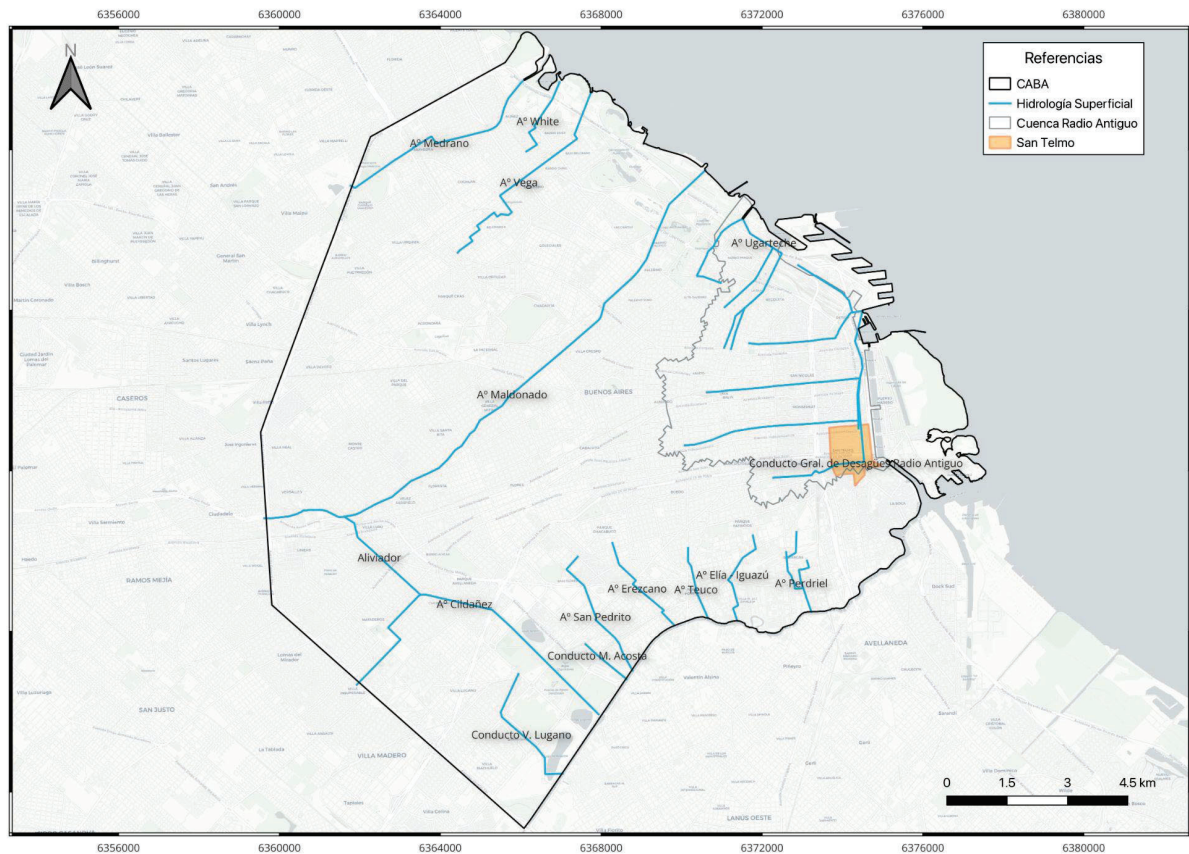


Imagen N° 10. Arroyos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Fuente: elaboración propia.

Véase sección 4.2.1. para mayor detalle.

Evaluando las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones se evidencia que el área estudiada no presenta un riesgo hídrico elevado. Observando la imagen 11 se destaca que el proyecto no representa una zona inundable. En el Plan Director realizado en el año 2006 no se ha identificado a la zona de intervención como un área crítica, es decir con problemas como consecuencia de las inundaciones correspondientes a eventos de tormentas de 2, 10 y 100 años (véase imagen 30 - Capítulo 4).

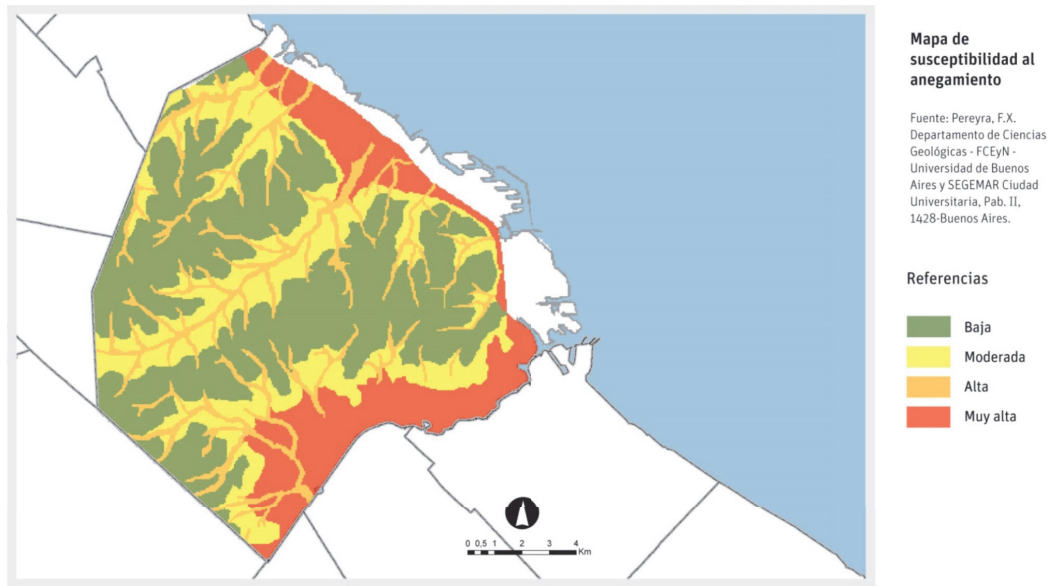


Imagen N° 11. Mapa de Susceptibilidad al Anegamiento en la Ciudad. Fuente: GCBA.

6.5.3. Medio biótico

6.5.3.1. Marco Biorregional

El área de proyecto está totalmente impactada por al menos dos siglos de actividades urbanas. La misma, por sus orígenes eco-biológicos, se encuentra dentro de la Región Pampeana en la subregión de los Pastizales Bonaerenses Húmedos (Burkart, 1994), pero a su vez con clara influencia de la región natural del Delta e Islas del Paraná, lo que otorga al lugar la presencia de especies de distintas características y adaptaciones.

La subregión de los Pastizales Bonaerenses Húmedos es una extensa planicie con pendiente general hacia el este, de relieve ondulado hacia el noroeste. La pampa se caracteriza por la ausencia de árboles, con fisonomía predominante de pastizal.

El ambiente natural en el Área de Influencia Directa del Proyecto ha sido fuertemente modificado por el hombre, no existiendo vestigios del ecosistema nativo. Las transformaciones involucran, además del ambiente urbano, el reemplazo de las comunidades vegetales naturales por la introducción de especies arbóreas exóticas en plazoletas y veredas.

6.5.3.2. Flora

La vegetación y los ambientes prístinos de esta región han sufrido una severa alteración y una degradación continua en la mayor parte de su extensión. En la actualidad, la flora en el área del proyecto consiste únicamente con arbolado urbano tal como se observa en la imagen 12. La especie predominante sobre la Av. San Juan es el fresno, con la presencia de algún ejemplar arbóreo de jacarandá en segundo lugar.



Imagen N° 12. Arbolado en la Ciudad de Buenos Aires (censo realizado en 2017 - 2018). Fuente: [Mapa Interactivo de la Ciudad](#).

6.5.3.3. Fauna

El grupo de especies más numeroso en la Ciudad pertenece a las aves, entre las que se pueden encontrar tanto residentes permanentes del área como transitorias. Estas últimas comprenden muchas especies migratorias que habitan la zona durante determinadas estaciones del año. Entre la numerosa lista de aves, cabe mencionar la presencia de cisnes, patos, gallaretas, gaviotas, cigüeñas, chajás, macás, garzas, flamencos, biguás, teros, así como varias rapaces, tales como gavilanes, halcones, caracoleros, el águila negra, caranchos y chimangos, etc.

Considerando la alta antropización de la zona, se pueden enumerar unos pocos mamíferos, entre los que se mencionan alrededor de 10 especies de roedores silvestres, la comadreja colorada (marsupial), el coipo o nutria y murciélagos del género *Myotis*. Entre los anfibios, se pueden encontrar varias especies de ranas y sapos. Los reptiles están representados por varias especies de culebras, por el lagarto overo, una especie de tortuga y la yarará.

6.5.3.4. Espacios Verdes

La cuenca Radio Antiguo cuenta con reducida cantidad de espacios verdes y en particular el barrio de San Telmo no cuenta con áreas verdes de importancia. El porcentaje de áreas verdes en el área de influencia indirecta (AII) es del 3%, siendo el área total 23.60 ha y 0.78 ha de espacios verdes (sin tener en consideración Parque Lezama). Véase sección 4.2.4. para mayor información.



6.5.4. Medio socioeconómico

6.5.4.1. Población

De acuerdo con la Ley Orgánica de Comunas N° 1.777 sancionada en el 2005, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires está organizada en 15 unidades descentralizadas de gestión político-administrativa que, en algunos casos, abarcan más de un barrio. El barrio de San Telmo se encuentra ubicado en la Comuna 1 junto con Retiro, San Nicolás, Puerto Madero, Monserrat y Constitución (véase imagen 8 - Capítulo 4). La totalidad del AII se encuentra comprendida dentro de dicha comuna.

De acuerdo a los datos del último censo, la Ciudad de Buenos Aires tiene una población de 3,121,707 de habitantes con un crecimiento del 8% respecto al censo 2010 (INDEC, 2022). Durante más de una década, la población de la Ciudad de Buenos Aires ha permanecido relativamente estable, alrededor de 3 millones de habitantes. El barrio de San Telmo cuenta con una superficie de 1.23 km², siendo el barrio más pequeño de la ciudad, un perímetro de 5,180 m y una población total de 25,969, teniendo así una densidad de 19,331.7 hab/km² (INDEC, 2010) (véase sección 4.2.2.).

6.5.4.2. Usos del suelo

El uso del suelo en San Telmo está regulado por el Código de Planeamiento Urbano (CPU) de 2017, según la Ley N° 2930 - Plan Urbano Ambiental. Todo el barrio se clasifica como Área de Protección Histórica (APH 1/APH 1 14) debido a sus valores histórico-culturales, arquitectónicos y ambientales, lo que requiere un tratamiento de protección especial.

Bajo la Autopista 25 de Mayo, el área se designa como Área de Renovación Urbana lindera a Autopista (RUA), destinada a usos comerciales y servicios vecinales. Entre Paseo Colón y Av. Ing. Huergo, el distrito es C2 y C3-I después de la Autopista. La zona C2 se define como Centro Principal, destinada a equipamiento administrativo, comercial, financiero e institucional en áreas de alta densidad, mientras que la zona C3, o Centro Local, tiene una función similar pero a una escala más local.

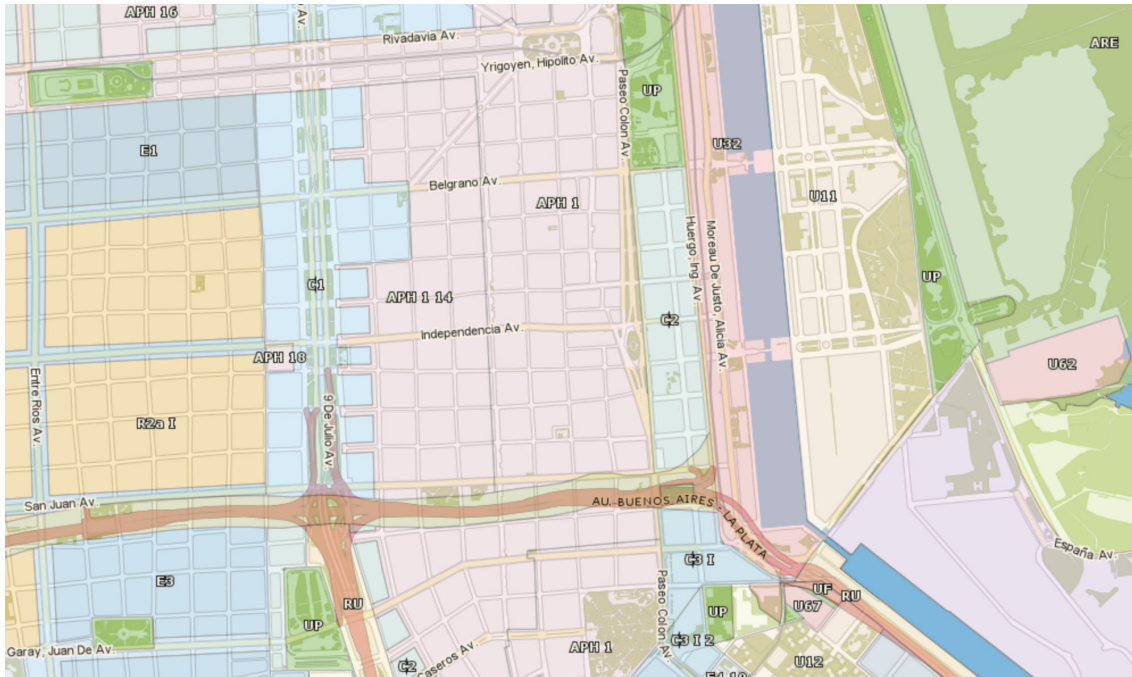


Imagen N° 13. Mapa de Usos del Suelo en el área del proyecto. Fuente: [Mapa Interactivo de la Ciudad](#).

Se resumen las zonas de interés nombradas anteriormente.

Tabla N° 1. Descripción de las Zonas afectadas por el proyecto.

Zona		Características
C2	Centros Principales	Zonas destinadas a la localización del equipamiento administrativo, comercial, financiero e institucional, a escala de sectores urbanos que se desarrollan en correspondencia con vías de alta densidad de transporte público de pasajeros. Tienen un FOT Máx=5, que puede incrementarse en los casos especiales de hoteles cuatro o cinco estrellas. El uso vivienda solo podrá localizarse por sobre la planta baja.
C3I	Districtos Centrales (Central local)	Zona destinada a la localización de equipamiento administrativo, comercial, financiero e institucional, a escala local, con adecuada accesibilidad. Debido a que pueden causar molestias, se admiten usos residenciales con restricciones. En cuanto a las tipologías, se admiten basamentos edificios entre medianeras, perímetro libre y semilibre (FOT máximo 4). El uso vivienda sólo podrá localizarse por sobre la planta baja.
APH	Districtos de Protección Histórica	Se trata de los bienes localizados en las áreas de protección histórica (Districtos APH) que no fueron incluidos en nivel de protección especial. Este distrito abarca ámbitos que por sus valores históricos, arquitectónicos, simbólicos y ambientales posee un alto significado patrimonial, siendo merecedores de un tratamiento de protección de sus características diferenciales.
RU	Renovación Urbana	Corresponde a zonas en las que existe la necesidad de una reestructuración integral
UP	Urbanización Parque	Corresponden a zonas destinadas a espacios verdes o parqueizadas



Zona		Características
		de uso público, pudiendo el Gobierno de la Ciudad en estos distritos autorizar obras de exclusiva utilidad pública que complementen y no alteren el carácter de los mismos.

Fuente: elaborado a partir de GCBA (2022).

6.5.4.3. Red vial y tránsito

La zona de intervención seleccionada para el presente proyecto es el eje de Avenida San Juan, desde Tacuarí hasta Av. Paseo Colón. Se extiende durante 7 cuadras, con un largo aproximado de 950 metros. San Juan es considerada como una Vía Secundaria de acuerdo a la jerarquización de la Red Vial del Código de Planeamiento Urbano de la Ciudad. Dichas vías son ejes de escala local integradas mayoritariamente por avenidas de mano única o doble mano. Su función de tránsito es principalmente ser un corredor de transporte público y ofrecer la posibilidad de acceder a él, a su vez de brindar conexión a los puntos no alcanzados por las vías primarias y distribuir el tránsito urbano e interurbano hacia otras vías secundarias y terciarias.

En relación a la infraestructura de tránsito y transporte de la Ciudad de Buenos Aires, en la cuenca Radio Antiguo se destaca el importante tránsito de colectivos por tratarse de un área central (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2006). En la actualidad el colectivo línea 126 pasa por la zona recorriendo 4 cuadras sobre la Av. San Juan. Los ramales A y B recorren la avenida entre Bernardo de Irigoyen doblando en Perú a la izquierda, y contando con una parada en la zona del proyecto.

La Av. San Juan en la actualidad cuenta con una calzada abovedada de aproximadamente 20 m de ancho y dos veredas que fluctúan entre los 3 y 5 metros de acuerdo a relevamientos satelitales, *in situ* y base de datos. Cuenta con 6 carriles de 3 metros cada uno aproximadamente, en los cuales se puede estacionar de mano derecha y de mano izquierda días hábiles luego de las 22 horas, fin de semana y feriados (véase Plano N° 2).

El tránsito no deberá desviarse por la realización del proyecto, ya que no cambia el sentido de los carriles.

6.5.4.4. Servicios

Servicios de red

El área en que se encuentra ubicado el Proyecto dispone de servicios de infraestructura de servicios: pluvio-cloacal, agua potable (AYSA), gas (Metrogas), electricidad (Edesur) y señales débiles (empresas de telefonía e internet). Para mayor información sobre el sistema de desagües pluviales del Radio Antiguo véase sección 4.3.

Gestión de residuos

Los residuos de la Ciudad son recolectados por 7 empresas que se encargan de cada una de las 7 zonas delimitadas para la recolección. La Comuna 1 se encuentra dentro de la Zona 1 prestada por la empresa AESA.

6.5.4.5. Centros de salud, educación y seguridad

Se relevaron las instituciones de relevancia en el Área de Influencia del Proyecto. Se realizó un relevamiento de las interferencias en la zona del proyecto, véase punto 5.1.1 (imagen 1 Cap 5, tabla A.9 y Plano N° 1).

En relación a los centros de salud y de seguridad (comisaría y cuarteles de bomberos) se observa la distribución presente en la imagen 14. Limítrofe al AII se encuentra el Hospital General de Niños Pedro de Elizalde sobre la calle Montes de Oca. El resto de las instituciones de salud se encuentran fuera del área de influencia. En cuanto a las comisaría, se destaca la existencia de:

- Comisaría Vecinal 1 B sita en Tacuarí 770, Monserrat.
- Comisaría Vecinal 1 B (edificio Anexo) sita en Perú 1056, San Telmo. Se encuentra dentro del AID.
- Comisaría Vecinal 1 E sita en Av. Ing. Huergo 1500, Puerto Madero.
- Bomberos Voluntarios de San Telmo Puerto Madero, sito en Balcarce 1249, San Telmo.

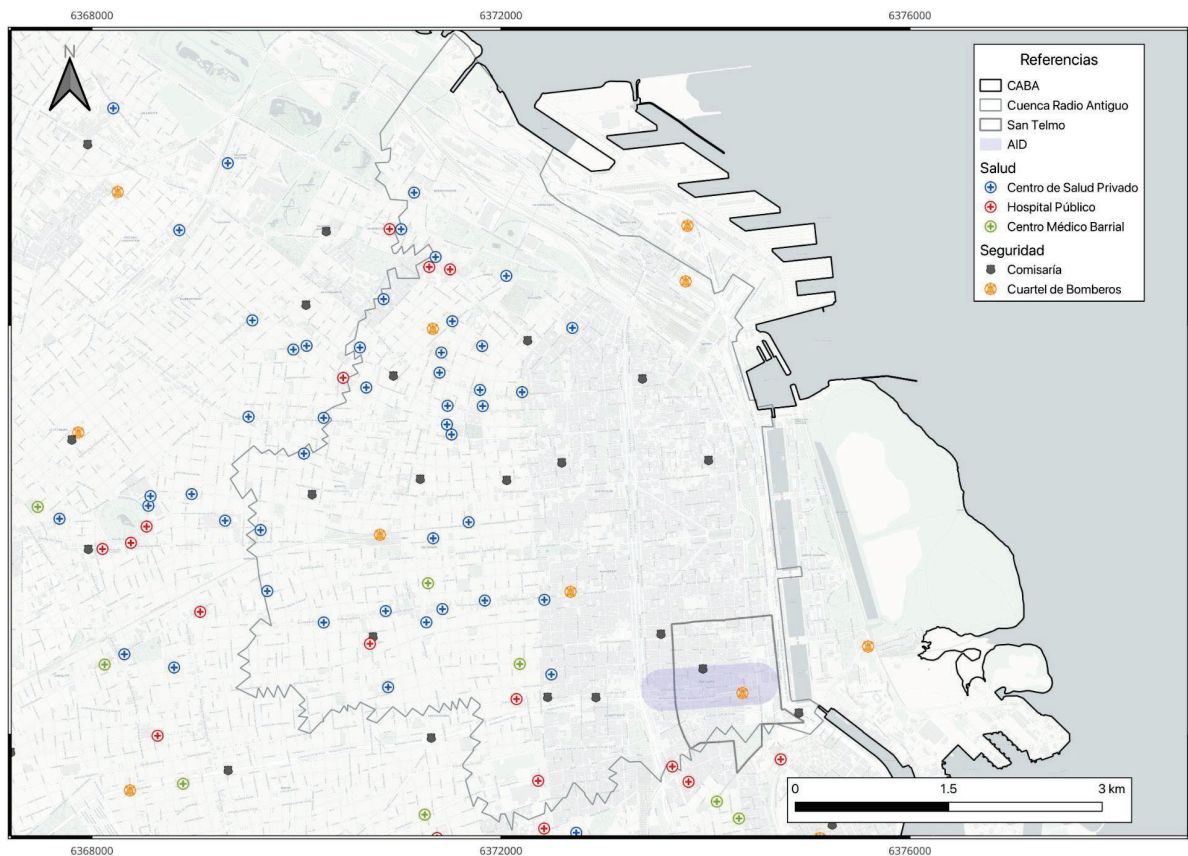


Imagen N° 14. Mapa de centros de salud y seguridad en el área de influencia. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las instituciones educativas, se evidencian un mayor número de las mismas. En el mapa de la imagen 15 se observa el detalle dentro del AII. En la tabla A.14 se presenta el detalle de las universidades y establecimientos educativos de interés. En el AII se encuentran 39 establecimientos educativos y 10 universidades.

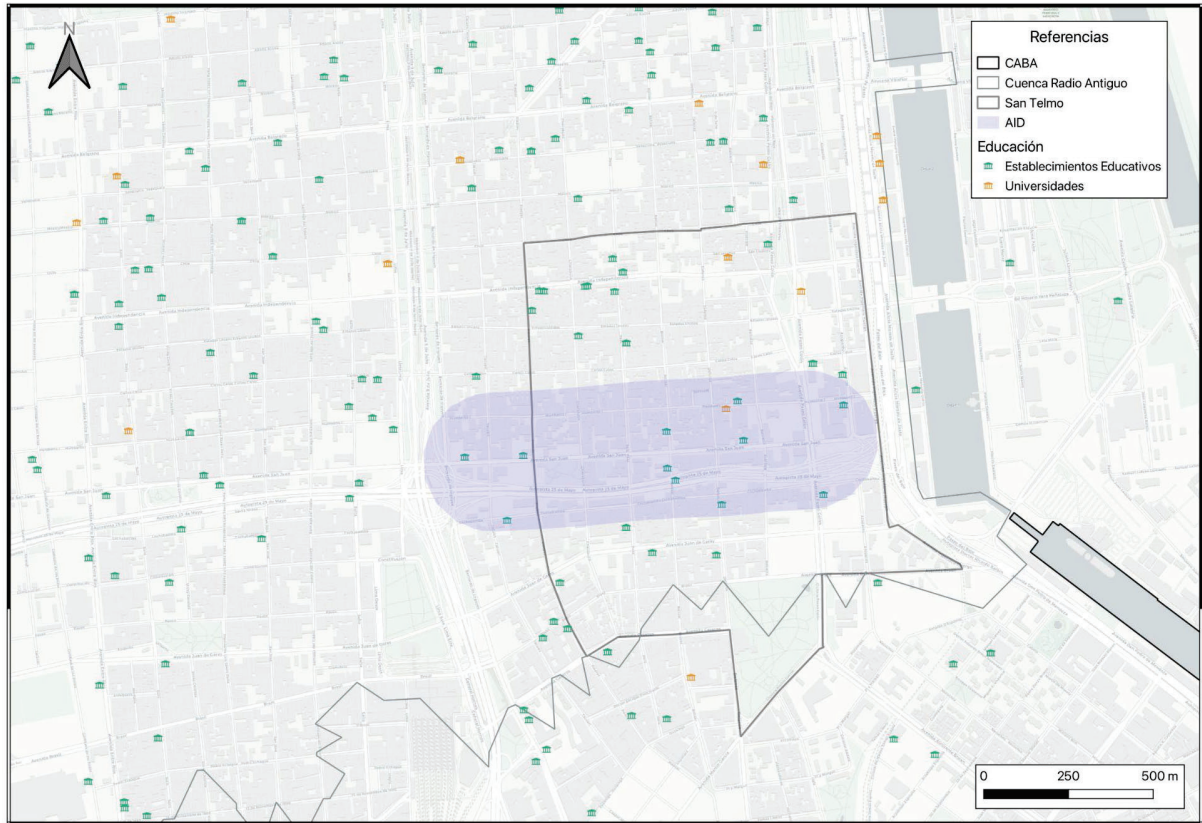


Imagen N° 15. Mapa de universidades y establecimientos educativos en el área de influencia. Fuente: elaboración propia.



6.6. Identificación y evaluación de impactos

6.6.1. Acciones del proyecto

A partir del apartado de descripción del proyecto, se confecciona la siguiente tabla con las acciones identificadas según la etapa del proyecto.

Etapa	Acción
Construcción	Tareas preliminares
	Demolición, fresado y desmontaje de estructuras
	Movimiento de suelos
	Instalación sanitaria
	Relleno y nivelación superficial
	Hormigonado
	Albañilería y pintura
	Paisajismo y sistema de riego
	Limpieza final de obra y desocupación
Operación	Puesta en marcha
	Funcionamiento SUDS y ciclovía
	Gestión de residuos e higiene urbana
	Poda y paisajismo
	Sistema de riego
	Mantenimiento hidráulico
Desafectación	Desmantelamiento y adecuación del espacio
	Monitoreo de cierre



6.6.2. Factores ambientales

Los factores ambientales identificados en el área de influencia del proyecto son los indicados en la tabla a continuación.

Etapa	Acción	
Medio físico	Aire	Calidad del aire
		Ruido
	Suelo y geomorfología	
	Agua	Subterránea
		Superficial
Medio biótico	Cobertura vegetal	
	Fauna	
Medio socioeconómico	Vialidad y tránsito	
	Calidad de vida	
	Infraestructura y servicios	
	Generación de empleo y desarrollo económico	
	Paisaje	

6.6.3. Metodología de evaluación

La evaluación de los impactos ambientales comienza con la identificación de todas aquellas acciones que se realizarán en las distintas etapas del proyecto que puedan ocasionar efectos sobre el ambiente. En forma similar se identificaron todos los factores ambientales que puedan ser afectados por las acciones del proyecto.

Se utilizó la metodología propuesta por Conesa Fernández-Vítora modificada, el resultado es una matriz que contiene la relación entre las acciones del proyecto y los factores del ambiente afectados, con una magnitud propia para cada impacto. Esta metodología se describe con más detalle a continuación:

La relación entre las acciones y los factores del ambiente está dada por 8 atributos, de los cuales todos son cuantitativos a excepción de la Naturaleza que indica si el impacto es positivo o negativo (tabla 2).

Tabla N° 2. Parámetros descriptivos de los impactos ambientales

Naturaleza (Signo)		Intensidad (i)	
Beneficioso	+	Baja	1
Perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	6



Extensión (EX)		Persistencia (PE)	
Puntual	1	Fugaz	1
Extenso	4	Temporal	2
Crítico	6	Permanente	4
Reversibilidad (RV)		Acumulación (AC)	
Corto plazo	1	Simple	1
Mediano	2	Acumulativo	4
plazo	4		
Irreversible			
Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
$I = \pm [3i + 2EX + PE + RV + AC + EF + PR]$			

Fuente: elaboración propia.

A continuación se definen los criterios para la asignación de rangos de atributos que caracterizan el impacto ambiental:

Naturaleza (signo):

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso o perjudicial de las acciones que actúan sobre los factores ambientales.

- Impacto beneficioso (positivo): es el admitido por la comunidad técnica y científica y la población en general.
- Impacto perjudicial (negativo): es el que se traduce en pérdida del valor natural, estético, cultural, perceptivo, de productividad ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de las actividades que se desarrollen en el proyecto en sus diferentes etapas y demás riesgos ambientales, en discordia con la estructura ecológica y geográfica y las características intrínsecas de la zona determinada.

Intensidad (i):

Es una medida del grado de afectación que el impacto genera sobre el componente ambiental considerado.

- Intensidad baja: expresa una alteración mínima del factor considerado.
- Intensidad media: expresa una alteración del factor ambiental cuyas repercusiones son moderadas.
- Intensidad alta: expresa una alteración del factor ambiental considerable que merece ser remediada.
- Intensidad muy alta: con efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales. Expresa una alteración parcial sustantiva del factor considerado.

Extensión (EX):

Define la magnitud del área afectada por el impacto:

- Puntual: influencia dentro del AID.
- Extenso: influencia fuera del AID.
- Crítica: cuando la acción se produce sobre un lugar crítico, potenciando el impacto a muy alto y no existan posibilidades de introducir medidas de mitigación.



Persistencia (PE):

Da idea de la persistencia de los efectos de un impacto sobre un componente ambiental considerado.

- Impacto fugaz: cuya duración es inferior a un año.
- Impacto temporal: cuyo efecto supone una alteración no permanente en el tiempo, con un plazo de manifestación que puede determinarse. Si la duración del efecto es entre dos y diez años, el impacto es temporal.
- Impacto permanente: cuyo efecto supone una alteración con una duración de la manifestación del efecto superior a diez años.

Reversibilidad (RV):

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor ambiental afectado por el proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales.

- Impacto a corto plazo: capacidad de retornar a las condiciones iniciales del medio de modos naturales en un rango de 1 a 3 años.
- Impacto a mediano plazo: capacidad de retornar a las condiciones iniciales del medio de modos naturales en un rango de 4 a 7 años.
- Impacto irreversible: incapacidad de retornar a las condiciones iniciales del medio por modos naturales.

Acumulación (AC):

Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

- Simple: la acción no presenta efectos acumulativos.
- Acumulativo: la acción presenta efectos acumulativos.

Efecto (EF):

Este atributo se refiere a la relación causa efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

- Indirecto: la manifestación del impacto no es consecuencia directa de la acción.
- Directo: la repercusión de la acción es consecuencia directa de ésta.

Periodicidad (PR):

Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto.

- Irregular o no periódico o discontinuo: impredecible en el tiempo.
- Periódico: efectos cíclicos o de manera recurrente.
- Continuo: presenta efectos continuos constantes en el tiempo.

Tal como se ha mencionado, sobre la base de los valores asignados a cada parámetro de impacto ambiental, se determina un factor integrador representativo de la relevancia del impacto ambiental bajo análisis, denominado Importancia del Impacto Ambiental ("I"). Los valores de "I" surgen de la aplicación de la siguiente expresión:

$$I = \pm [3i + 2EX + PE + RV + AC + EF + PR] \quad (\text{Ecuación 59})$$

En función de este modelo los valores extremos del factor de "I" pueden variar entre ± 10 y ± 50 , considerado los impactos negativos con el signo menos (-) y los impactos positivos con el signo más (+). Según esa variación, se calificará al impacto ambiental de acuerdo con la siguiente escala:



Impactos positivos		Impactos negativos	
	Positivo Alto ($I \geq 35$)		Negativo Alto ($I \leq -35$)
	Positivo Moderado ($20 \leq I < 35$)		Negativo Moderado ($-20 \geq I > -35$)
	Positivo Bajo ($I < 20$).		Negativo Bajo ($I > -20$)

A los fines de facilitar al evaluador el análisis de la Matriz de Ponderación, se coloreará cada casilla de cruce valorada con colores en la tonalidad del rojo para los impactos negativos, y en la tonalidad del verde para los positivos.

- Impactos Bajos: son aquellos impactos admisibles y compatibles con el ambiente que pueden ser minimizados, maximizados o eliminados con cierta facilidad o no requieren tratamiento específico.
- Impactos Moderados: son aquellos impactos que provocan efectos sobre el ambiente, tanto positivos como negativos, pero que pueden ser minimizados o maximizados con el tratamiento adecuado.
- Impactos Altos: son aquellos impactos que su efecto perdurar durante años. Los negativos requieren medidas extraordinarias para mitigarlos o pueden no ser mitigables.

6.6.4. Matriz de impactos



Se ha realizado el cruce entre las acciones y los factores ambientales, de modo de identificar las intersecciones y su efecto.

Acciones de Proyecto		Sistema ambiental											
		Medio físico				Medio biótico		Vialidad	Calidad de vida	Medio socioeconómico			
		Aire		Suelo y geomorfología	Agua		Cobertura vegetal			Fauna	Infraestructura y servicios	Empleo y desarrollo económico	Paisaje
		Calidad del Aire	Ruido		Subterránea	Superficial							
CONSTRUCCIÓN	Tareas Preliminares		-						-				-
	Demolición	-	-	-		-		-	-	+	+	+	-
	Movimiento de suelos	-	-	-		-		-	-		+	+	-
	Instalación sanitaria					-					+	+	
	Relleno y nivelación		-	+					-	+	+	+	
	Hormigonado	-	-					-		+	+	+	
	Albañilería y pintura			-						+			
	Paisajismo y sistema de riego			+		-		+	+		-		+
	Limpieza final y desocupación	-		+				+	+	+			+
	Puesta en marcha										-	+	
OPERACIÓN	Funcionamiento SUDS y ciclovia	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+
	Gestión de residuos e higiene urbana						+	+			+	+	+
	Poda y paisajismo						+	+				+	+
	Sistema de riego			+		-	+	+			-	+	+
	Mantenimiento hidráulico			+			+		+				
DESAFECTACIÓN	Desmantelamiento y adecuación del espacio	-									-		-
	Monitoreo de cierre			+	+	+	+	+	+		+	+	

Luego, se realizó la valoración de los impactos obteniendo la matriz de evaluación de impacto ambiental. La valoración de los impactos se encuentra en el anexo tabla A.15.



Sistema ambiental												
Acciones de Proyecto	Medio físico						Medio biótico		Medio socioeconómico			
	Aire		Suelo y geomorfología	Agua		Fauna	Vialidad	Calidad de vida	Infraestructura y servicios	Empleo y desarrollo económico	Paisaje	
	Calidad del Aire	Ruido		Subterránea	Superficial							
Tareas Preliminares		-19										
Demolición	-25	-25	-19		-19	-17	-25	-19	22	35	-16	-29
Movimiento de suelos	-37	-28	-37	-16	-40	-19		-19		40	-38	
Instalación sanitaria				-16	-19					28		
Relleno y nivelación		-22	23					-17	22	35		
Hormigonado	-25	-22				-19		-16	22	28		
Albañilería y pintura			-13						19			
Paisajismo y sistema de riego			19	-22		16			-22			30
Limpieza final y desocupación	-25		19		19		25	22				22
Puesta en marcha									-22	35		
Funcionamiento SUDS y ciclovia	22	28	20	26	29	17	-28	38		28		24
Gestión de residuos e higiene urbana								20	23	26		17
Poda y paisajismo								14		26		17
Sistema de riego			22	-37		20			-25			
Mantenimiento hidráulico			22		22			19				
Desmantelamiento y adecuación del espacio	-22						-18	-16				-17
Monitoreo de cierre			16	16		13		19		26		
CONSTRUCCIÓN												
OPERACIÓN												
DESAFECTACIÓN												



6.6.5. Descripción de impactos

6.6.5.1. Construcción

En esta etapa la calidad del aire se verá afectada principalmente por la emisión de material particulado producto del levantamiento de polvo y tierra debido al movimiento de suelo, utilización de maquinaria pesada durante el hormigonado y demolición. El ruido será generado por la movilización de camiones de carga y maquinaria necesaria para llevar a cabo la demolición y construcción del área de biorretención y ciclovía. A su vez, el tránsito se incrementará por cortes parciales de calles, lo cual generará un aumento significativo del ruido. Estas acciones generan impacto también sobre la fauna local.

El suelo y la geomorfología se verá influido particularmente por la excavación de la zanja, que implica una profundidad de 1.3 metros, así como se realizará la perforación para el pozo de bombeo de agua utilizado para el sistema de riego. La ocurrencia de vibraciones puede implicar un efecto sobre dicho factor. La posibilidad de contaminación del suelo por pintura y otros compuestos químicos es baja pero puede llegar a ocurrir. Por otro lado, las tareas de relleno y paisajismo mejorarán la calidad del suelo así como la limpieza final.

El agua subterránea no se verá particularmente afectada por la etapa de construcción, con excepción de la construcción del pozo de captación y el movimiento de suelo que pueda implicar algún tipo de impacto muy leve sobre el acuífero. La escorrentía superficial, por su parte, se verá altamente modificada por la demolición y el movimiento de suelo. El escurrimiento usual de la zona, si bien antrópico y ya modificado, cambiará su curso mediante la intervención. Lo mismo ocurre debido a la construcción de la instalación sanitaria y conexión a pluviales existentes.

En relación al medio biótico, el mismo se encuentra altamente antropizado, por lo que la cobertura vegetal prácticamente no se verá impactada de forma negativa y la fauna local se alejará temporalmente del área de intervención. Los trabajos de paisajismo mejorarán la vegetación existente así como generarán un ambiente más propicio para la fauna.

El medio socioeconómico principalmente se verá altamente impactado de forma positiva en tanto requerimiento de mano de obra y otras formas de empleo, así como demanda de insumos y maquinaria. Se generará una infraestructura pluvial adicional y se requerirán distintos servicios para poder llevar a cabo la obra. De todas formas, habrá un impacto negativo en la vialidad al tener que realizar cateos y posteriores cortes de calle para la demolición y fresado. La calidad de vida también se verá impactada, no sólo por el aumento del tránsito sino por la generación de ruidos, vibraciones y emisión de material particulado. Asimismo, se generarán cortes e interrupciones al servicio pluvio-cloacal para la adaptación de las cámaras existentes. Si bien el paisaje se verá altamente afectado y de forma permanente por las acciones de obra como los cortes de calle, la demolición y el movimiento de suelo, el mismo tendrá impactos positivos con las tareas finales de paisajismo.

La limpieza final y desocupación impactará positivamente sobre el suelo, la escorrentía superficial y la cobertura vegetal, así como liberará las calles y hará que el paisaje y calidad de vida de los vecinos mejore.

Si bien durante esta etapa existen numerosos impactos negativos, los mismos son en su mayoría leves o bajos – con excepción de algunos permanentes asociados al movimiento de suelo – ya que se acotan a acciones transitorias que con el finalizar de la obra cesan. Los impactos positivos son sustanciales principalmente en tanto desarrollo económico y demanda de servicios.



6.6.5.2. Operación

El proyecto a realizar implica pocos impactos durante la etapa de operación. Los principales impactos son positivos y se centran en el funcionamiento de la ciclovía y los SUDS. Al aumentar el área verde y reducir el tránsito vehicular, la calidad del aire mejora y disminuye el ruido, así como mejora la calidad del suelo. En relación a la hidrología, se genera infiltración al terreno y se disminuye la escorrentía superficial, enviando gran parte del caudal al pluvial existente. El sistema de riego y un correcto mantenimiento hidráulico impactan de forma positiva sobre la calidad del suelo y la geomorfología local.

Se generará un aumento del área verde en la zona, lo cual genera un impacto positivo sobre la cobertura vegetal. Se gestionarán los residuos y se contará con tareas de poda, paisajismo y riego lo cual aseguran un buen estado de la vegetación en el área.

El sistema de riego impactará de forma negativa sobre el acuífero al contar con un pozo de extracción de agua que aumenta la vulnerabilidad del mismo. El caudal de agua previsto a utilizar es de $5.7 \text{ m}^3/\text{h}$, valor que de todas formas no implica un cambio sustancial sobre la presión al acuífero.

La vialidad se verá impactada de forma negativa por la reducción de los carriles sobre la Av. San Juan. Sin embargo, la construcción de una ciclovía también implica la generación de otro tipo de vialidad.

En particular, la calidad de vida de los vecinos de la zona mejorará ya que contarán con un espacio verde cercano, que implica una reducción del ruido, una mejora de la calidad del aire y vegetación nativa. Por otro lado, es de suma importancia recalcar el impacto que tienen los SUDS sobre la mejora de la calidad del agua pluvial. Asimismo, se reduce el caudal pico de la escorrentía lo cual implica menor probabilidad de contar con inundaciones y por lo tanto se reduce el riesgo hídrico.

Durante la operación se requerirán ciertos servicios como son el requerimiento energético para la puesta en marcha, la bomba y la telemetría del sistema de riego.

Se requerirá mano de obra y profesionales especializados para la operación, de modo de controlar el correcto funcionamiento del área de biorretención, realizar tareas de paisajismo, mantenimiento pluvial y del espacio público. Esta generación de empleo implica, de todas formas, las actividades de rutina para las distintas áreas del GCBA, con excepción de la puesta en marcha que podrá requerir cierto personal especializado adicional.

El paisaje mejorará sustancialmente gracias a la actividad de la ciclovía y los SUDS.

6.6.5.3. Desafectación

La etapa de cierre o desafectación implica el desmantelamiento de las instalaciones temporales y los usos que se llevarán a cabo por encima de las celdas de biorretención, así como el cierre de la ciclovía y desafectación del sistema hidráulico y sanitario instalado. Se generará emisión de material particulado y afectación a la vialidad y calidad de vida de la zona, así como un impacto negativo en el paisaje. Sin embargo, el monitoreo de cierre, que es necesario realizar, hará que varios factores ambientales mejoren al asegurarse que cumplen con los parámetros y calidades establecidas.



6.7. Análisis de Riesgos

Se realizó un análisis de riesgos y sensibilidad de las fases de construcción, operación y cierre del proyecto. Para sistematizar y llevar a cabo la identificación de los riesgos y su valoración, se utilizaron matrices para clasificar los mismos y su probabilidad de ocurrencia. Se consideraron las siguientes variables: probabilidad de ocurrencia del riesgo, consecuencia del riesgo y severidad del riesgo. Los rangos de valores que se utilizaron fueron:

Tabla N° 3. Variables de análisis de riesgo.

Probabilidad	Baja	Media	Alta		
	2	5	10		
Consecuencia	Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino		
	2	5	10		
Severidad	Menor	Temporal	Permanente	Fatal	Catastrófico
	2	4	5	8	10

Fuente: elaboración propia.

Se han identificado dos conjuntos de riesgos: exógenos y endógenos. Los riesgos exógenos son aquellos que tienen origen en fenómenos tanto naturales como antrópicos, y pueden afectar a la construcción y a la operación del proyecto. Aquellos endógenos son los que derivan de la ejecución del mismo y pueden afectar a la comunidad y al medio ambiente en general.

En cuanto a los riesgos exógenos, se identificaron riesgos por incendios naturales, eventos de lluvias extremos e inconformidad de los vecinos del área en las distintas etapas. Este último riesgo puede implicar un amparo y paralización del proyecto en etapa de obra.

Se reconocieron los siguientes riesgos endógenos: fallas estructurales e hidráulicas o falta de mantenimiento – que pueden derivar en inundaciones y contaminación durante la operación –, daño e interrupción en el servicio pluvio-cloacal del Radio Antiguo y el AID, accidentes por el aumento del tránsito vehicular o peatonales y viales asociados a la ciclovía y errores humanos. En caso de materializarse el riesgo, podría afectar tanto la concreción del proyecto como su funcionamiento y, en casos más severos, el área de influencia o vidas ajenas.

En la siguiente tabla 4 se muestran los riesgos endógenos y exógenos, con los valores asignados a cada variable.



Tabla N° 4. Variables de análisis de riesgo.

CONSTRUCCIÓN				
Variables		Probabilidad	Consecuencia	Severidad
Endógenos	Fallas estructurales	2	5	4
	Daño a servicio pluvicloacal	5	5	4
	Accidentes de tránsito	2	2	4
	Errores humanos	5	2	4
Exógenos	Incendios naturales	2	5	5
	Evento de lluvia extremo	5	5	4
	Inconformidad de vecinos	10	2	4
OPERACIÓN				
Variables		Probabilidad	Consecuencia	Severidad
Endógenos	Fallas estructurales	2	10	4
	Daño a servicio pluvicloacal	2	5	4
	Accidentes de tránsito	2	2	4
	Errores humanos	2	2	4
Exógenos	Incendios naturales	2	5	5
	Evento de lluvia extremo	5	5	4
	Inconformidad de vecinos	2	2	4
CIERRE				
Variables		Probabilidad	Consecuencia	Severidad
Endógenos	Fallas estructurales	2	5	4
	Daño a servicio pluvicloacal	5	5	4
	Accidentes de tránsito	2	2	4
	Errores humanos	5	2	4
Exógenos	Incendios naturales	2	5	5
	Evento de lluvia extremo	5	5	4
	Inconformidad de vecinos	2	2	4

Fuente: elaboración propia.



6.8. Plan de Mitigación

Un plan de mitigación es de suma importancia en cualquier Estudio de Impacto Ambiental ya que, con algunas medidas, algunos impactos ambientales negativos identificados en el capítulo de Evaluación de Impactos pueden ser fácilmente minimizados o hasta anulados. Las medidas de mitigación son acciones que se aplican durante las distintas etapas con el fin de generar una presión positiva sobre el medio y disminuir los impactos negativos sobre el mismo. Las acciones de mitigación pueden ser de tres tipos:

- **Prevención:** apuntan a prevenir efectos negativos mediante medidas de diseño del proyecto, ubicación o tecnologías.
- **Corrección:** están orientadas a la reducción de impactos cuando se está operando o construyendo el proyecto mediante la corrección de acciones o efectos sobre las actividades.
- **Compensación:** en el caso de que los impactos sean inevitables, se busca compensar los mismos mediante la realización de un efecto positivo comparable, ya que no es posible evitar o atenuar dicho impacto.

Medida de mitigación N° 1					
Etapas del proyecto	Construcción	X	Área de aplicación	Operativa	X
	Operación			AID	
	Cierre	X		All	
Componente	Físico	X	Tipo de medida	Prevención	
	Biótico			Corrección	X
	Socioeconómico			Compensación	
Impacto a controlar	Emisión de polvo y material particulado por acciones de obra y desmantelamiento.				
Objetivo	Disminución de contaminación atmosférica durante la obra.				
Descripción	Se evaluará el sentido de los vientos cuando se realicen las acciones que impliquen producción de polvo y contaminantes aéreos, intentando limitar las actividades cuando el viento vaya en sentido a los comercios y viviendas. Se humectará siempre la tierra y cualquier material que implique producción de polvos, para evitar voladuras. El acopio de suelos deberá minimizarse tanto en cantidad como en tiempo. El acopio deberá realizarse en algún sector afectado por el obrador tal de evitar su voladura y reducir su exposición a lluvias y/o viento. El transporte de materiales, desechos, insumos, herramientas y equipos vinculados a la obra se realizará en camiones de la menor capacidad de carga posible. Los vehículos de transporte de materiales, en caso de considerarse que la carga pueda generar polvo (grava, suelo seleccionado, arena, etc.), deberán utilizar cobertores en la parte superior. Se asegurará el uso de maquinaria y equipos en buen estado, con los controles al día.				
Responsable	Contratista				
Frecuencia	Auditorías constantes durante la obra.				



Medida de mitigación N° 2					
Etapa del proyecto	Construcción	X	Área de aplicación	Operativa	X
	Operación			AID	X
	Cierre	X		All	
Componente	Físico	X	Tipo de medida	Prevención	
	Biótico			Corrección	X
	Socioeconómico			Compensación	
Impacto a controlar	Generación de ruido				
Objetivo	Disminución de la generación de ruido e impacto acústico.				
Descripción	Se realizarán las actividades preferentemente en horarios laborales, respetando los horarios fijados por la normativa vigente para realizar aquellas actividades que puedan generar ruidos molestos u otros efectos que impacten en la calidad de vida de los trabajadores y vecinos. Los trabajadores utilizarán equipos de protección personal para evitar el deterioro de sus órganos auditivos. Durante las obras (construcción y cierre) se utilizarán vallados con MDF y material absorbente (lana de roca) para las acciones más ruidosas de hormigueado, martillo neumático y retroexcavadora. Se medirán los niveles de ruido para asegurar que se encuentra dentro de los rangos permitidos.				
Responsable	Contratistas y especialista acústico durante obras y área de ambiente e ingeniería durante operación.				
Frecuencia	Mediciones semanales de ruido en obra.				

Medida de mitigación N° 3					
Etapa del proyecto	Construcción	x	Área de aplicación	Operativa	X
	Operación	X		AID	
	Cierre			All	
Componente	Físico	X	Tipo de medida	Prevención	x
	Biótico			Corrección	X
	Socioeconómico			Compensación	
Impacto a controlar	Uso de agua para riego y en obra				
Objetivo	Lograr un uso eficiente del agua para el riego				



Medida de mitigación N° 3

Descripción	Durante la obra se intentará limitar el uso de agua y se realizarán los estudios hidrogeológicos necesarios para asegurar la efectividad del pozo de captación. Se contará con un sensor de lluvia y de humedad para poder regar cuando el suelo del área de biorretención no cuente con la cantidad de agua suficiente para generar un estado de vitalidad en la vegetación. Será un sistema automatizado que acotará el caudal a lo estrictamente necesario. Se debe mantener registros del caudal de agua de riego utilizado y realizar mantenimientos periódicos del sistema automatizado.
Responsable	Contratista y DG de Hidráulica - Espacio Público e Higiene Urbana de GCBA.
Frecuencia	Medición constante de cantidad de agua utilizada para el riego. Comprobación periódica de correcto funcionamiento del riego por aspersión.

Medida de mitigación N° 4

Etapa del proyecto	Construcción	X	Área de aplicación	Operativa	X
	Operación	X		AID	X
	Cierre	X		All	X
Componente	Físico		Tipo de medida	Prevención	X
	Biótico			Corrección	
	Socioeconómico	X		Compensación	
Impacto a controlar	Aumento del tránsito e impacto en la vialidad.				
Objetivo	Minimizar el aumento del tránsito y posibles cortes de calles.				
Descripción	Se contará con un plan logístico para evitar atascamiento y presencia de muchos vehículos al mismo tiempo. Se deberá realizar el estudio de tránsito pertinente previo al inicio de obra. Se deberá indicar correctamente los desvíos del tránsito. Durante la construcción y cierre, se procurará realizar la totalidad de las acciones por tramos, de forma de evitar cortes de calle prolongados en el tiempo y en varias cuadras.				
Responsable	Contratista y Gerencia Operativa de la Movilidad Urbana del GCBA				
Frecuencia	Planes y estudios logísticos previo al inicio de cada etapa. Control continuo de la implementación.				



Medida de mitigación N° 5					
Etapa del proyecto	Construcción	X	Área de aplicación	Operativa	X
	Operación	X		AID	
	Cierre			All	
Componente	Físico		Tipo de medida	Prevención	X
	Biótico			Corrección	X
	Socioeconómico	X		Compensación	
Impacto a controlar	Deterioro de la calidad de vida de los vecinos				
Objetivo	Minimizar accidentes y evitar desinformación y paralización del proyecto.				
Descripción	Se realizarán instancias de participación ciudadana con los vecinos. Se generará información y comunicación sobre los impactos positivos del proyecto y se buscará un diálogo y consenso previo a la obra. Se dejará señalizado correctamente las acciones de obra para evitar accidentes vehiculares, con transeúntes y, en etapa de operación, ciclistas.				
Responsable	Responsable de Seguridad e Higiene en obra, Espacios Públicos de GCBA.				
Frecuencia	Control de accidentes y de descontento de los vecinos.				

6.9. Plan de Gestión Ambiental

6.9.1. Objetivos

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) se presenta como una herramienta ejecutiva que establece las acciones, planes y/o programas propuestos a efectos de proteger el ambiente y prevenir la contaminación durante las distintas fases. Dentro del PGA se señalan las medidas y acciones a fin de prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los potenciales impactos negativos asociados a las acciones de la etapa constructiva y operativa, a través de pautas y acciones para un manejo ambientalmente sustentable, un adecuado control ambiental de la operación y mantenimiento; como así también para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. En este contexto, el PGA permitirá realizar un seguimiento de los potenciales impactos ambientales identificados, así como las medidas de carácter preventivo y correctivo establecidas para evitar sus efectos.

Las previsiones y recomendaciones que integran el presente PGA son susceptibles de ser complementadas, profundizadas y/o rectificadas por eventuales requerimientos que surjan de la autoridad a cargo del desarrollo de las obras y/o eventuales requerimientos surgidos durante la operación de la misma.

Los objetivos del PGA son:

- Minimizar los posibles impactos ambientales negativos identificados en el EIA.
- Dar cumplimiento a las leyes y normativas ambientales aplicables al proyecto.



- Garantizar una gestión ambiental sustentable, mediante la implementación de sistemas, programas y procedimientos que garanticen la protección ambiental durante las distintas etapas del proyecto.

6.9.2. Programa de protección ambiental

El Plan de Protección Ambiental contiene los procedimientos necesarios para minimizar los impactos ambientales potencialmente adversos durante las etapas tanto de construcción como durante la operación del proyecto.

El programa de protección ambiental de obras deberá ser desarrollado por la Contratista responsable de la ejecución de las obras. Deberá contener como mínimo las siguientes medidas:

- Se deberá contar con las aprobaciones del proyecto y los estudios técnicos necesarios previo al comienzo de la obra.
- Previo a toda intervención se deberá contar con la totalidad de autorizaciones correspondientes: cortes de calles y permisos. Los cortes de calle deberán ser programados y por etapas.
- Se deberá delimitar toda el área con vallados demarcatorios para minimizar el impacto paisajístico.
- Se deberá contar con toda la señalización de obra necesaria de modo de evitar los impactos viales y accidentes.
- El proyecto requerirá de seguridad para evitar el ingreso de personas al área de trabajo y el cuidado durante el ingreso y egreso de vehículos. La seguridad se compone de barreras y de acciones del personal.
- Antes de comenzar los trabajos sobre la Av. San Juan, se protegerán los elementos originales que puedan ser dañados por el polvo o por los golpes. Cuando solo se requiera de protecciones contra el polvo, será suficiente usar películas de polietileno. Las estructuras para prevenir golpes deben estar diseñadas especialmente. En estos casos podrá recurrirse a muelles de espuma de goma o de fibra comprimida.
- Los obradores deberán tener las mínimas dimensiones posibles, estarán delimitados dentro del área de obra, contarán con todos los elementos requeridos por la normativa en seguridad e higiene, contarán con suministro de agua potable con dispensers y con baños químicos para personas.
- El acopio de sustancias potencialmente contaminantes deberá ser realizado en áreas específicas para su almacenamiento. Deberá realizarse sobre una superficie impermeabilizada con muro perimetral con una cubeta con capacidad de mínimo 125% del volumen de las sustancias almacenadas. Se deberá evitar que cualquier tipo de sustancia química tome contacto tanto con el suelo como con las aguas superficiales. Durante la obra en cuestión se estima se utilizarán pocos insumos químicos potencialmente contaminantes.
- Se deberá cumplir con todas las medidas de seguridad de acuerdo a la normativa vigente.
- Se utilizarán máquinas y herramientas de primera calidad para evitar ruidos y vibraciones excesivas. Se acotará la distribución de fuentes de emisiones sonoras significativas mediante una coordinación escalonada de intervenciones. Se recomienda que la Contratista coteje los niveles durante la obra mediante mediciones que permita su comparativa con el nivel base. Restringir las actividades que pudieran suponer molestias al entorno (por ruidos, vibraciones, eventual emisión de material particulado, etc.) a horarios diurnos de menor impacto en las actividades del entorno y el bienestar de la comunidad.



- Se mantendrá un adecuado mantenimiento de las obras e instalaciones, así como un correcto orden y limpieza de las áreas de acopio, zonas de tránsito y sectores operativos en general.
- Las demoliciones de pavimento se ejecutarán previo a la conformidad del responsable de las obras, verificando previamente las condiciones de seguridad.
- El acopio de materiales deberá minimizarse tanto en cantidad como en tiempo. El acopio deberá realizarse en algún sector afectado por el obrador tal de reducir su exposición a lluvias / viento.
- El proyecto prevé trabajar con HºAº. Deberá evitarse el lavado de los mixers en obra.
- Se gestionarán los distintos tipos de residuos en todas las etapas, separando según las distintas corrientes (escombros, peligrosos, asimilables a domésticos, restos verdes). Se deberán cumplir con medidas de gestión de residuos en obra de modo de minimizar la generación del mismo y contemplar el reúso y reciclado de materiales.

Durante la etapa operativa se deberá contemplar principalmente el mantenimiento efectivo de los SUDS y la ciclovía. En particular:

- Se deberá asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de los SUDS para evitar impactos indeseados como inundaciones.
- Realizar un mantenimiento periódico y efectivo de los conductos, sumideros y demás instalaciones pluviales. Estas tareas se encuentran dentro de los trabajos usuales realizados por el área correspondiente del GCBA.
- Realizar un mantenimiento del sistema de riego para que funcione correctamente y el caudal erogado sea el deseado. El área correspondiente del GCBA se ocupa cotidianamente de estas tareas.
- Tareas de poda y paisajismo de modo de asegurar el estado de la vegetación. Estas tareas se realizan dentro de las acciones de rutina del área correspondiente de Espacios Públicos del GCBA.
- Recolección de residuos para evitar atascamientos en el sistema.

En ambas fases de construcción y operación, se deberá contar con un plan de comunicación y participación ciudadana para dar a conocer el proyecto, sus impactos y beneficios. Dicho plan se realizará en coordinación con el Plan de difusión y capacitación ambiental.

6.9.3. Monitoreo ambiental

Se deberá desarrollar un programa de monitoreo ambiental tanto durante la obra como durante la operación. Se realizará un monitoreo interno de rutina durante la obra, mientras que en fase operativa se medirán parámetros para confirmar el funcionamiento hidráulico y ambiental de los SUDS. El área de biorretención requiere un alto grado de mantenimiento para cumplir su objetivo, en línea con esto se deberá realizar un monitoreo detallado para confirmar que el proyecto esté cumpliendo su objetivo y no funcione meramente con un espacio verde.

El monitoreo deberá utilizar metodologías acordes a la realidad y deberá abarcar como mínimo:

- Seguimiento de la calidad del aire mediante índice IQA.
- Seguimiento y medición de ruido ambiental en obra.
- Medición constante de caudales y consumo de agua utilizada para riego en operación.
- Monitoreo de funcionamiento hidráulico de las distintas celdas de biorretención: atascamiento y permeabilidad del medio.
- Monitoreo de la calidad del agua pluvial: tanto para generar un control periódico de la misma como para comprobar que se está reduciendo la carga contaminante.



6.9.4. Programa de auditoría ambiental

El plan de auditoría ambiental establece los procedimientos para realizar la auditoría final de obra. De forma paralela, se considera necesaria una verificación sistemática y periódica del grado de cumplimiento de todo lo establecido en el PGA, específicamente en el plan de protección ambiental y el plan de monitoreo, ya que el mantenimiento y comprobación del mismo se presenta como uno de los pilares más importantes del Plan de Gestión Ambiental.

6.9.5. Programa de capacitación y difusión ambiental

El presente programa establece los lineamientos básicos para la capacitación en la temática ambiental. El programa se divide en dos: externo e interno.

Durante la etapa de obra se realizarán capacitaciones al personal de la obra, dando a conocer la totalidad de los procedimientos técnico-ambientales y programas de seguridad e higiene laboral, además de difundir los contenidos del PGA y sus programas. La empresa contratista y la supervisión de obra será responsable de llevar a cabo dichas capacitaciones. Todo el personal recibirá capacitación general respecto de la política de protección ambiental adoptada por la empresa, de los lineamientos generales de la misma respecto de esta temática, así como también se instruirá al personal respecto con quien comunicarse en caso de siniestros y contingencias.

En adición, se contará con un programa de difusión ambiental externo, a realizar con los vecinos del área. El objetivo del mismo es poder informar y comunicar a la comunidad los impactos positivos del proyecto, tanto la implementación de la ciclovía como el funcionamiento correcto del área de biorretención, el aumento del espacio verde, reducción del ruido y demás beneficios. Se realizarán encuentros y se colocará cartelería explicativa para poder capacitar.

Durante la puesta en marcha y etapa operativa se contará con un programa de capacitación ambiental externo: cartelería y eventual comunicación para dar a conocer los impactos del proyecto y su funcionamiento.

6.9.6. Programa de seguridad e higiene laboral

De forma complementaria al programa de capacitación ambiental, se deberá llevar a cabo un programa de seguridad e higiene laboral durante la totalidad de las fases. Este programa cobra particular importancia durante la etapa de obra, ya que durante la etapa operativa las tareas y riesgos asociados son bajos.

Se deberán cumplir con las leyes de seguridad, higiene y salud ocupacional (SHSO), se deberá analizar, controlar y verificar los riesgos de las actividades desarrolladas y capacitar a todo el personal involucrado en las medidas de prevención. El personal que trabajará en las distintas etapas deberá contar con los elementos de protección personal (EPP) requeridos, a saber: casco, zapatos de seguridad, indumentaria de trabajo, guantes, etc. Deberá estar provisto con indumentaria y protección contra el frío y la lluvia. Los EPP no solo se deberán implementar durante la etapa de obra sino durante las tareas de mantenimiento realizadas en la operación: podas, recolección de residuos, limpieza de sumideros, etc.



6.9.7. Programa de contingencias

El programa de contingencia contempla las contingencias probables para las distintas etapas del proyecto. Dicho programa contiene evaluaciones rápidas, respuestas inmediatas y procedimientos ante toda situación de emergencia generada por accidentes que pueden producirse durante la etapa de construcción y operación del proyecto, con el propósito de prevenir impactos a la salud y a la población cercana, proteger la propiedad en el área de influencia y el ambiente.

Las contingencias surgen del análisis realizado en el apartado de “Análisis de Riesgos”. Las posibles contingencias incluyen: derrames líquidos, incendio, evacuación de obra, accidentes en obra y tránsito, fallas estructurales, daño al servicio pluvio-cloacal, errores humanos, eventos extremos de lluvia e inconformidad de vecinos.

Las actividades que se deben realizar frente a una contingencia incluyen:

- Plan de acción frente a inundaciones y colapso del sistema: tanto debido a fallas del mismo o a eventos de lluvia extremos.
- Plan de acción frente a cortes y daños totales en el servicio pluvio-cloacal de la zona.
- Planes de comunicación para informar a los vecinos frente a cualquier contingencia.
- Plan de acción frente a accidentes viales: tanto vehicular como peatonal o con ciclistas.
- Plan de respuesta frente a incendios.
- Plan de respuesta frente a emergencias médicas.
- Acción frente a derrames de hidrocarburos.

Muchos de estos programas de contingencia son aquellos que existen en la actualidad en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Por lo que se considera fundamental poder revisar los mismos y asegurarse una correcta implementación frente a las necesidades.

6.9.8. Programa de desafectación y abandono

Cuando se considere que la vida útil del proyecto ha finalizado o es necesario realizar una reconfiguración del espacio público, se deberá elaborar un esquema de desafectación, abandono o retiro del equipamiento temporal utilizado sobre el área de biorretención. Dicho programa deberá realizarse una vez que se hayan definido los aspectos de la fase de abandono según el posterior uso que se le dará al predio. Las directivas generales que deberán seguirse incluyen: (i) la decisión de abandono, (ii) la caracterización del sitio, (iii) el uso futuro del mismo, (iv) la realización del plan de cierre y desafectación y (v) la reconversión del sitio.

6.10. Conclusiones

En primer lugar, se destaca que, como es habitual en proyectos de la presente envergadura, se identificaron distintos impactos negativos sobre los factores del medio. Dentro de los mismos cabe resaltar que la mayoría de los impactos negativos son transitorios por lo que se restringen a la etapa de construcción y al área del proyecto. Durante la operación, la mayoría de los impactos son positivos ya que el proyecto en sí aporta valor ambiental y social. En particular, genera un impacto ambiental positivo favorable perdurable en el tiempo, ya que genera una mejoría en la calidad de vida, mejora el valor inmobiliario, contribuye a la disminución del efecto invernadero, mejora el hábitat urbano, disminuye el caudal pico y la escorrentía superficial, y otorga oportunidades de esparcimiento, espacios para deportes y para niños, entre otros.

Se ha desarrollado en el presente documento un Plan de Mitigación donde se especifican las principales medidas que tienden a reducir los impactos negativos significativos del proyecto.



En el Plan de Gestión Ambiental se detallaron las acciones aconsejables a realizar para garantizar el mejor manejo ambiental posible, la protección del ambiente y prevención de la contaminación. Con los programas detallados en el PGA y los planes de mitigación varios de los impactos negativos pueden ser contrarrestados y disminuidos.

Por estos motivos se permite calificar al proyecto como viable desde el punto de vista ambiental, tanto en las etapas de construcción, operación como eventual abandono, siempre sujeto a la necesidad de aplicar las medidas de gestión ambiental detalladas en el presente documento.



Capítulo 7: Cómputo y Presupuesto

7.1. Inversión inicial

Se realizó el cómputo y presupuesto para la etapa de construcción. Se trata de la inversión inicial a realizar en el proyecto, es decir al capital que se necesita invertir para la obra y puesta en marcha del mismo. En particular, la misma se compone de los siguientes costos:

- **Trabajos preliminares**

Se trata de la ejecución de proyectos ejecutivos y estudios técnicos necesarios para asegurar la viabilidad y correcta ejecución del proyecto. Asociados a los mismos, será necesario contar con permisos de corte de calles, cateos, Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), aptitud de explotación del agua subterránea y demás gestiones.

- **Construcción y obra**

Son las tareas de obra a realizar para la ejecución del proyecto. Se consideró que la obra tiene una duración de 18 meses. La mano de obra trabajará de forma escalonada, desarrollándose en paralelo de a 10 operarios durante tres tandas con duración de 6 meses.

- **Materiales**

- En relación a las celdas de biorretención se necesitará suelo para cada capa según la composición determinada en la sección de diseño (véase punto 5.2.6).
- El hormigón necesario para la construcción fue calculado considerando los ítems presentados en la siguiente tabla. Se tuvo en cuenta un 20% de ajuste debido a otros usos no contemplados del hormigón.

Tabla N° 1. Detalle de cómputo de hormigón

Hormigonado detalle	Vol (m³)
Ciclovía	283.05
Sumidero	0.30
Cámara	1.22
Adaptación cámaras existentes	0.60
Nicho para bomba	0.29
Parcial	285.45
Ajuste	1.20
Total	342.54

Fuente: elaboración propia.

- Para la pintura se realizó una cuenta estimada considerando dos capas sobre la ciclovía y un ajuste del 15% debido a pérdidas y otros usos de la pintura tales como señalización.



- Se consideran los metros lineales de cañería calculados, así como la compra de un sumidero de 4 rejillas y 3 clapetas según la ingeniería básica desarrollada en el presente proyecto.
- El geodrén planar a utilizar implica el recubrimiento de la cañería y una lámina vertical de 40 cm. En relación al arbolado se tuvo en cuenta un aproximado de 22 ejemplares arbóreos y arbustivos por cuadra.
- Los materiales necesarios para el sistema de riego implican la cañería de DN 63, los codos, aspersores y el sensor de lluvia. Por último, fueron considerados los materiales para el pozo de captación los cuales incluyen accesorios, cañería, bomba y tablero de comando, entre otros.
- Varios

Como último ítem fueron consideradas licencias y seguros y un porcentaje del 1% de los costos de trabajos preliminares, construcción y materiales dedicado a imprevistos y contingencias.

El costo de inversión inicial del proyecto es de \$ 894,799,272 (pesos argentinos ochocientos noventa y cuatro millones setecientos noventa y nueve mil doscientos setenta y dos) y USD 7,505,149.95 (dólares estadounidenses siete millones quinientos cinco mil ciento cuarenta y nueve con 95/1000). El valor en dólares fue calculado con un valor de dólar blue de USD 1295 con fecha del 2 de agosto de 2024.

En la siguiente tabla se detalla el cómputo y presupuesto correspondiente a la inversión inicial del proyecto. En ella se incluyen todas las actividades, tareas y materiales para construir y poner en marcha el proyecto de SUDS en el Radio Antiguo. Los costos unitarios fueron extraídos de proveedores nacionales e internacionales, así como de la experiencia profesional y cotizaciones realizadas por profesionales para otros proyectos. En relación a la mano de obra fueron considerados los salarios básicos con vigencia a partir de junio de 2024 de la UOCRA. Los valores indicados no incluyen IVA ni otras percepciones.

Se aclara que los presentes cómputos y presupuestos son estimados, ya que en etapa de proyecto ejecutivo podrán ser ajustados.



Tabla N° 2. Costos de inversión inicial del proyecto.

N°		Descripción de las tareas	Cómputo		Presupuesto			
Rubro	Ítem		Un	Cant	Precio Unitario		Precio Parcial	
					\$	USD	\$	USD
1		Trabajos Preliminares					\$ 31,702,844	USD24,481
	1.1	Ingeniería de detalle - proyectos ejecutivos	gl	1	\$ 19,425,000	USD15,000	\$ 19,425,000	USD15,000
	1.2	Estudios técnicos					\$ 10,748,500	USD8,300
	1.2.1	Estudio hidrogeológico	gl	1	\$ 1,942,500	USD1,500	\$ 1,942,500	USD1,500
	1.2.2	Estudio de tránsito	gl	1	\$ 2,590,000	USD2,000	\$ 2,590,000	USD2,000
	1.2.3	Evaluación de impacto acústico	gl	1	\$ 1,036,000	USD800	\$ 1,036,000	USD800
	1.2.4	Estudio de suelo y geotécnia	gl	1	\$ 2,590,000	USD2,000	\$ 2,590,000	USD2,000
	1.2.5	EsIA y procesos participativos	gl	1	\$ 2,590,000	USD2,000	\$ 2,590,000	USD2,000
	1.3	Aprobaciones, permisos y gestiones	gl	1	\$ 1,529,344	USD1,181	\$ 1,529,344	USD1,181
2		Construcción					\$ 771,064,584	USD525,258
	2.1	Obrador, agua y energía en construcción	gl	1	\$ 1,000,000	USD772	\$ 1,000,000	USD772
	2.2	Fresado	m2	9,435	\$ 31,250	USD24	\$ 294,840,625	USD227,676
	2.3	Movimiento de suelos: excavación	m3	11,831	\$ 15,000	USD6	\$ 177,470,469	USD66,884
	2.4	Relleno a niveles de proyecto	m3	1,038	\$ 2,773	USD2	\$ 2,877,948	USD2,222
	2.5	Compactación y nivelación	m2	9,435	\$ 4,991	USD4	\$ 47,093,687	USD36,366
	2.6	Terminaciones y reparaciones	gl	1	\$ 11,978,549	USD9,250	\$ 11,978,549	USD9,250
	2.7	Perforación	u	1	\$ 1,500,000	USD1,158	\$ 1,500,000	USD1,158
	2.8	Paisajismo	gl	1	\$ 2,000,000	USD1,544	\$ 2,000,000	USD1,544
	2.9	Mano de obra	u	30	\$ 4,573,440	USD3,532	\$ 137,203,200	USD105,948
	2.10	Dirección de obra	gl	1	\$ 45,000,000	USD34,749	\$ 45,000,000	USD34,749
	2.11	Supervisión de obra (5%)	gl	1	\$ 35,948,224	USD27,759	\$ 35,948,224	USD27,759
	2.12	Puesta en marcha: personal técnico especializado	gl	1	\$ 6,000,000	USD4,633	\$ 6,000,000	USD4,633
	2.13	Telemetría sistema de riego	u	1	\$ 8,151,882	USD6,295	\$ 8,151,882	USD6,295



N°		Descripción de las tareas	Cómputo		Presupuesto			
Rubro	Ítem		Un	Cant	Precio Unitario		Precio Parcial	
					\$	USD	\$	USD
3		Materiales				\$ 82,162,977		USD6,947,790
	3.1	SUDS				\$ 47,614,755		USD6,921,112
	3.1.1	Suelo superficial	m3	893	\$ 22,184	USD17	\$ 19,821,137	USD15,306
	3.1.2	Suelo seleccionado	m3	3,276	\$ 41,200	USD32	\$ 134,975,310	USD104,228
	3.1.3	Grava	m3	2,680	\$ 49,870	USD39	\$ 133,673,805	USD103,223
	3.1.4	Hormigón	m3	343	\$ 340,000	USD263	\$ 116,463,600	USD89,933
	3.1.5	Pintura	l	434	\$ 23,000	USD18	\$ 9,982,124	USD7,708
	3.1.6	Caño cribado PEAD 160 mm	ml	839	\$ 13,927	USD11	\$ 11,684,357	USD9,023
	3.1.7	Caño auxiliar PEAD 400 mm	ml	140	\$ 88,167	USD68	\$ 12,343,333	USD9,532
	3.1.8	Sumidero	u	1	\$ 190,000	USD147	\$ 190,000	USD147
	3.1.9	Clapeta diam 400	u	1	\$ 45,000	USD35	\$ 45,000	USD35
	3.1.10	Clapeta diam 1000	u	2	\$ 52,000	USD40	\$ 104,000	USD80
	3.1.11	Geodren planar	m2	1,257	\$ 16,660	USD5,491	\$ 20,938,065	USD6,900,513
	3.1.12	Arbolado	u	154	\$ 15,000	USD12	\$ 2,310,000	USD1,784
	3.3	Sistema de riego				\$ 30,464,958		USD23,525
	3.3.1	Caño PEAD 63 mm	ml	1,846	\$ 14,718	USD11	\$ 27,164,958	USD20,977
	3.3.2	Codos (T y 90°)	u	22	\$ 15,000	USD12	\$ 330,000	USD255
	3.3.3	Aspersores	u	198	\$ 15,000	USD12	\$ 2,970,000	USD2,293
	3.3.4	Sensor de lluvia	u	1	\$ 64,000.00	USD49	\$ 64,000.00	USD49
	3.4	Pozo de captación				\$ 4,083,264		USD3,153
	3.4.1	Válvulas	u	6	\$ 40,000	USD31	\$ 240,000	USD185
	3.4.2	Codos y expansión	u	4	\$ 15,000	USD12	\$ 60,000	USD46
	3.4.3	Medidor de flujo, manómetro, sonda de nivel	u	1	\$ 1,683,699	USD1,300	\$ 1,683,699	USD1,300
	3.4.4	Electrobomba sumergible 2 HP	u	1	\$ 669,952	USD517	\$ 669,952	USD517
	3.4.5	Columna filtrante PVC 4"	u	1	\$ 13,000	USD10	\$ 13,000	USD10
	3.4.6	Cañería impulsión 50 mm (2")	ml	19	\$ 7,948	USD6	\$ 151,017	USD117
	3.4.7	Cañería de aislación PVC 4"	ml	15	\$ 11,430	USD9	\$ 171,450	USD132
	3.4.8	Alimentación eléctrica: tablero de comando	gl	1	\$ 1,094,147	USD845	\$ 1,094,147	USD845
4		Varios				\$ 9,868,867		USD7,621

4.1	Licencias y seguros	gl	1	\$ 1,019,563	USD787	\$ 1,019,563	USD787
4.2	Otros imprevistos (1%)	gl	1	\$ 8,849,304	USD6,833	\$ 8,849,304	USD6,833
Costo Neto Total						\$ 894,799,272	USD7,505,149.95

Fuente: elaboración propia.

7.2. Operación

En este apartado se desarrollan los costos mensuales asociados a la operación y mantenimiento del área de biorretención y ciclovia, los cuales se consideran necesarios para garantizar un correcto funcionamiento del proyecto. Estos se componen de las tareas de mantenimiento de rutina, el servicio eléctrico, contingencias y mantenimiento extraordinario.

El mantenimiento de rutina forma parte de las tareas habituales del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. El mismo incluye el mantenimiento pluvial tanto preventivo como correctivo de los sumideros, cámaras y conductos. Engloba la limpieza y el control del sistema pluvial, así como la administración del sistema de alerta temprana. Este trabajo es realizado por la Dirección General de Sistema Pluvial (DGSPLU) dentro de la Subsecretaría de Mantenimiento Urbano dependiente en última instancia del Ministerio de Espacio Público e Higiene Urbana. Dentro de dicho ítem fue considerado también la evaluación periódica del correcto funcionamiento del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible mediante personal técnico especializado perteneciente al área del GCBA que corresponda.

El mantenimiento paisajístico implica las tareas de poda, control de malezas, plagas y enfermedades de las especies arbóreas y arbustivas. Estas tareas son realizadas diariamente por la Subsecretaría de Paisaje Urbano, también dependiente de Espacio Público e Higiene Urbana. De las 1,826.8 ha de espacios verdes que tiene la Ciudad (Corti et al., 2020), el proyecto en cuestión – con una extensión de 7,547.92 m² – implica un 0.04% de las mismas. Por lo tanto, el incremento en las tareas y gasto del área dedicada al mantenimiento de los espacios públicos será proporcional a dicho porcentaje, es decir un $4.13 \cdot 10^{-2} \%$.

Por último, el sistema de riego también será mantenido por el Ministerio de Espacio Público e Higiene Urbana para asegurar el correcto funcionamiento del pozo de captación, sensor de lluvia, aspersores y telemetría. Al igual que el porcentaje del espacio verde, el valor del mantenimiento implicará un aumento prácticamente despreciable con respecto a las tareas de rutina existentes en la actualidad.

Otras tareas de mantenimiento como alumbrado público o recolección de residuos fueron incluídas considerándose un 10% del gasto asociado a los mantenimientos indicados anteriormente. Son tareas de rutina del GCBA y que el proyecto prácticamente no implica un aumento en los costos para el gobierno.

Durante la operación habrá un consumo de energía eléctrica debido a la bomba del pozo de captación de agua y al sistema de telemetría. Se calculó dicho consumo de acuerdo a lo establecido en la tabla 3, considerando que el área verde se riega cada 3 días, es decir durante 10 días al mes, con las especificaciones indicadas en el apartado de diseño (véase sección 5.4). Para la telemetría se ha considerado un 5% del gasto de la bomba.



Tabla N° 3. Detalle de consumo eléctrico

Equipo	Unidades	Potencia (HP)	Potencia (Kw)	Tiempo de uso (h/d)	Consumo energético por día (Kwh/d)	Consumo energético por mes (Kwh/mes)
Bomba	1	2	1.49	4	5.97	59.66
Telemetría	-	-	7.46E-02	-	2.98E-01	2.98

Fuente: elaboración propia.

Una vez calculado el consumo eléctrico, se procedió a calcular el presupuesto de energía eléctrica considerando los valores de Edesur, la prestataria del servicio en el área del proyecto. Se considera el cuadro tarifario vigente desde junio de 2024, el cual se divide según la demanda de energía. Al presente proyecto le corresponde la categoría G3, es decir General 3 dentro de la Tarifa 1, cuya potencia demandada es entre 50 y 200 kW al mes. Esta tarifa aplica a usuarios que tienen un consumo eléctrico significativo pero que no alcanzan las demandas más altas de “mediana demanda”. La estructura tarifaria se encuentra dividida entre componentes fijos y variables, basándose en el consumo total en kWh y la demanda de potencia en kW. En la tabla 4 se presenta el cuadro tarifario del proveedor de energía eléctrica. El costo mensual del servicio eléctrico se calcula mediante el producto entre el consumo energético del proyecto y el costo de suministro de energía eléctrica.

Tabla N° 4. Cuadro tarifario: T1 - G3

Concepto	Unidad	Valor
Cargo fijo	\$/mes	9,398.86
Cargo variable	\$/kWh	131.20

Fuente: [Edesur](#).

Por último, se consideró un 5% del gasto de operación mensual debido a contingencias y mantenimientos extraordinarios.

Como comentario general, el proyecto en cuestión no generará un costo considerable de operación, al tratarse de una infraestructura de bajo mantenimiento con excepción de fallas extraordinarias en el sistema de drenaje y otras contingencias naturales como eventos de lluvia extremos con un incremento en la intensidad máxima de la precipitación.

El costo mensual de operación del proyecto es de \$103,714 (pesos argentinos ciento tres mil setecientos catorce) y USD 80.09 (dólares estadounidenses ochenta con 09/100). El valor en dólares fue calculado con un valor de dólar blue de USD 1295 con fecha del 2 de agosto de 2024.

En la tabla 5 se presenta el cómputo y presupuesto de la etapa de operación. Los valores indicados no incluyen IVA ni otras percepciones. Se aclara que los presentes presupuestos son estimados, ya que operativamente se adicionan al costo fijo que tiene el GCBA.



Tabla N° 5. Costos de operación mensual del proyecto.

N°	Descripción de las tareas		Cómputo		Presupuesto			
			Un	Cant	Precio Unitario		Precio Parcial	
					\$	USD	\$	USD
1		Mantenimiento de rutina					\$ 81,158	USD63
	1.1	Mantenimiento pluvial	gl	1	\$ 23,800	USD18.38	\$ 23,800	USD18.38
	1.2	Mantenimiento paisajístico	gl	1	\$ 27,370	USD21.14	\$ 27,370	USD21.14
	1.3	Mantenimiento riego	gl	1	\$ 22,610	USD17.46	\$ 22,610	USD17.46
	1.4	Otros (10%)	gl	1	\$ 7,378	USD5.70	\$ 7,378	USD5.70
2		Energía eléctrica					\$ 17,617	USD14
	2.1	Costo fijo	un	1	\$ 9,399	USD7.26	\$ 9,399	USD7.26
	2.2	Costo variable	kWh	62.64	\$ 131	USD0.10	\$ 8,218	USD6.35
3		Otros					\$ 4,939	USD3.81
	3.1	Contingencias y mantenimientos extraordinarios (5%)	gl	1	\$ 4,939	USD3.81	\$ 4,939	USD3.81
		Costo Neto Total					\$ 103,714	USD80.09

Fuente: elaboración propia.

7.3. Costo total

El costo total del proyecto se presenta en la tabla 6.

Tabla N° 6. Costos totales

Costo de inversión inicial	Peso Argentino	\$ 894,799,272
	Dólar Estadounidense	USD 7,505,149.95
Costo mensual de operación	Peso Argentino	\$ 103,714
	Dólar Estadounidense	USD 80.09

Fuente: elaboración propia.

Este tipo de proyectos generalmente se financia con el presupuesto del área de Espacio Público e Higiene Urbana del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, si hay préstamos disponibles de organismos multilaterales enfocados en mejoras urbanas y de saneamiento, el proyecto también podría calificar para esa línea de financiamiento. Es importante destacar que este tipo de iniciativas se consideran inversiones sociales realizadas por el Estado, enfocadas en mejorar la infraestructura y aumentar el bienestar de la comunidad y el medio ambiente, en lugar de generar ingresos directos. Aunque no son rentables desde una perspectiva privada, tienen un valor significativo en términos ambientales y sociales, lo que justifica su realización con fondos públicos (Rubaja, 2023).



Capítulo 8: Planos

Para el presente capítulo se presentan los planos de ingeniería básica confeccionados para el presente proyecto. En los mismos se presenta la situación actual, las alternativas del proyecto y el diseño de los distintos elementos: cañerías, sumidero, cámaras, sistema de riego y pozo de captación. En el capítulo 5 se presenta el diseño y las dimensiones de los elementos del proyecto. Los planos tienen un carácter ilustrativo, ya que con la ejecución del proyecto ejecutivo los mismos podrán ser ajustados.

Los planos elaborados se encuentran en el Anexo en el siguiente orden:

- Plano N° 1: situación actual - vista en planta e interferencias
- Plano N° 2: situación actual - perfiles
- Plano N° 3: alternativa A con ciclovía bidireccional
- Plano N° 4: alternativa A con ciclovía unidireccional
- Plano N° 5: alternativa B con ciclovía bidireccional
- Plano N° 6: alternativa B con ciclovía unidireccional
- Plano N° 7: alternativa 1 - cuneta verde
- Plano N° 8: alternativa 2 - zanja de infiltración
- Plano N° 9: alternativa 3 - área de biorretención
- Plano N° 10: alternativa 3 - área de biorretención - perfil longitudinal
- Plano N° 11: vista en planta del proyecto - conductos
- Plano N° 12: sumidero tipo
- Plano N° 13: cámara tipo interna
- Plano N° 14: cámara tipo interna con clapeta
- Plano N° 15: sistema de riego - cuadra tipo
- Plano N° 16: pozo de captación

Capítulo 9: Conclusiones

El presente proyecto final busca abordar la gestión del agua pluvial urbana desde una perspectiva integral, enfocándose en soluciones innovadoras y prácticas de bajo impacto. Los desafíos significativos generados por la alteración del ciclo hidrológico en áreas urbanas, debido a la impermeabilización del suelo y la eliminación de la vegetación natural, son abordados mediante la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos sistemas integran aspectos sociales, biodiversidad, calidad y cantidad de agua, respondiendo a la creciente demanda de una gestión integral del agua pluvial y las deficiencias de los sistemas tradicionales, el crecimiento urbano no planificado y el cambio climático. El sistema de drenaje sostenible diseñado, centrado en un área de biorretención en la Av. San Juan del barrio de San Telmo, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, dentro de la cuenca Radio Antiguo, representa un avance significativo en la gestión del agua pluvial.

El proyecto enfatiza la importancia de un diagnóstico preciso para evaluar la situación actual y los impactos futuros. Se llevó a cabo un análisis detallado del sistema existente, considerando la realidad de la cuenca y las características del sistema unitario de desagües pluvio-cloacales. Utilizando la herramienta SWMM de la EPA, se modeló la hidrología e hidrodinámica actuales, permitiendo comprender la infiltración total, el pico de escorrentía, las pendientes, las rugosidades y el balance hidrológico del sistema. Aunque no se identificaron inundaciones en los conductos para la lluvia de diseño, se observó que operan a sección llena, lo cual podría causar colapsos y molestias en la vía pública.

El proyecto considera también los aspectos urbanísticos, evaluando diversas alternativas y concluyendo con la inclusión de una ciclovía unidireccional adyacente al SUDS. Tres tipologías de SUDS fueron diseñadas y modeladas: cuneta verde, zanja de infiltración y área de biorretención. Los resultados de la herramienta SWMM indicaron que, aunque la cuneta verde se colapsa con lluvias intensas debido a la falta de almacenamiento en depresión y sistema de cañería de drenaje, y la zanja de infiltración reduce la escorrentía y aumenta la infiltración, el área de biorretención ofrece el mejor rendimiento. Esta tipología mejora la calidad del agua pluvial, disminuye el caudal pico y facilita la retención de agua antes de la infiltración o descarga. En particular, se observó que un aumento del 10% en el área verde urbana con un sistema de biorretención diseñado adecuadamente reduce el pico de escorrentía en un 18% y la escorrentía total en un 16%, retrasando a su vez el caudal pico en los conductos y logrando una alta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, nutrientes y metales.

El proyecto incluye un sistema de riego y un pozo de captación de agua subterránea. La implementación del software libre SWMM demostró su eficacia en la representación hidrológica e hidrodinámica actual, permitiendo simular distintos tipos de SUDS y evaluar su efectividad, consolidando un enfoque sostenible para la gestión del agua pluvial en la cuenca de estudio.

El Estudio de Impacto Ambiental, considerando las etapas de construcción, operación y desafectación, incluyó el Plan de Mitigación, Gestión Ambiental y Contingencias. Se identificó que los impactos negativos predominantes ocurren durante la fase de construcción, siendo transitorios y confinados al área del proyecto. En operación, el proyecto generará impactos positivos duraderos, mejorando la calidad de vida y el hábitat urbano, ofreciendo espacios verdes y contribuyendo a la mitigación del cambio climático y la reducción del riesgo hídrico. Se subraya la importancia de la participación comunitaria y la difusión ambiental para evitar problemáticas con los vecinos que pueden dificultar o retrasar su construcción.

El cómputo y presupuesto para la obra del área de biorretención y ciclovía en la Av. San Juan incluyen los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento. A pesar de la considerable



inversión inicial, los costos de operación son bajos, con tareas de mantenimiento de rutina a cargo de las áreas correspondientes del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. El incremento del gasto público debido al presente proyecto será despreciable frente a los trabajos de mantenimiento llevados a cabo en la actualidad. Este tipo de iniciativas tiene un valor significativo en términos ambientales y sociales, y podría calificar para financiamiento de organismos multilaterales de crédito.

Se recomienda llevar a cabo la ingeniería de detalle y los estudios técnicos pendientes para implementar el sistema de manera eficiente. Cabe destacar que este tipo de proyectos deben enmarcarse dentro de una estrategia integral para el manejo del agua pluvial en la cuenca Radio Antiguo. Así, este proyecto se presenta como una acción inicial que apunta hacia una gestión integral y sostenible del agua pluvial.

En conclusión, el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible en la Av. San Juan, cuenca Radio Antiguo, es viable desde un enfoque técnico, económico, ambiental y social. El proyecto no solo ofrece soluciones técnicas a problemas ambientales urbanos, sino que también enfatiza la importancia de integrar la sostenibilidad en el desarrollo de infraestructuras urbanas para promover ciudades resilientes.

Capítulo 10: Bibliografía

- Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (Ed.). (2013). *La Ingeniería Sanitaria en Argentina* (Lazos de Agua Ediciones ed.). Editoriales AYSA.
- Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (2018). *Historias del Agua en Buenos Aires: de aljibes, aguateros y aguas corrientes*. Editoriales AYSA. ISBN 978-987-46551-4-1
- Ayuntamiento de Mérida. (2021, Septiembre). *Sistemas Urbanos de Drenaje Pluvial Sostenible para Mérida*.
<https://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/ordenamientoterritorial/paginas/suds.php>
- Ballester-Olmos y Anguís, J. F., Peris García, P. P., Perales Momparler, S., Doménech, I. A., & Escuder Bueno, I. (2015). *El agua en Benaguasil, un viaje en el tiempo*. Ayuntamiento de Benaguasil, España. ISBN 978-84-606-9596-7
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Fabela, P., Izurieta-Dávila, J., & Mijangos-Carro, M. (2013, Febrero 1). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. Comisión de Infraestructura Hidráulica, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC).
https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/noticias_principales/contaminacion_difusa/contaminacion.pdf
- Brignoli, D. (2017). *Estudio de la calidad del agua de lluvia, para el consumo humano y productivo en Los Talas, partido de Berisso* [Tesis de grado]. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63762>
- Cámara Comercio Cartagena & Comisión Regional de Competitividad e Innovación de Cartagena y Bolívar. (2022, Septiembre 19). *Proyectos e Iniciativas Priorizados para Cartagena y Bolívar*.
<https://www.cccartagena.org.co/wp-content/uploads/2022/10/Documento-Te%CC%81cnico Boli%CC%81var-1.pdf>
- Castrillón Ocampo, Y. A. (2014, Febrero). *Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del río Meléndez* [Trabajo de grado para título de Ingeniera Sanitaria]. Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia.
- CH2M Hill Argentina. (2019). *Plan Maestro de Drenaje Urbano de la Cuenca del Arroyo Medrano*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH), Argentina.
- Civeira, M. (2018, Octubre 23). Enterrador, pero vivos: los arroyos de la Ciudad de Buenos Aires (VI) - Arroyos del Radio Antiguo.
<https://www.linkedin.com/pulse/enterrados-pero-vivos-los-arroyos-de-la-ciudad-buenos-martin-civeira-1e/>
- Corti, M., Contreras del Olmo, V., Fiszman, I. M., & Regúnaga, C. (2020, Septiembre). *Los espacios públicos verdes en la Ciudad de Buenos Aires*. Instituto IDEAS.
<https://www.institutoideas.com.ar/wp-content/uploads/2020/10/Informe-Espacios-Verdes-Final-1.pdf>
- Environmental Protection Authority Victoria. (2021). *Urban stormwater management guidance* (Publicación 1739.1).



- Fegan, C., & Schwerdtfeger, M. (2022, Mayo). *Seminario Drenaje Sustentable. Sistema Urbano de Drenaje Sostenible* [Seminario dictado en el marco de la materia Ingeniería del Agua]. Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).
- Fundación Conama. (2018). Agua y Ciudad. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. En *Grupo de trabajo ST-10, Congreso Nacional del Medio Ambiente*. Madrid, España. http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/STs%202018/10_preliminar.pdf
- Génova, L. J., Andreau, R., Etcheverry, M., & Etchevers, P. (2023). Clase "Riego por Aspersión" en el marco de la materia "Riego y Drenaje" [TP N° 8. Unidad N° 8]. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/15625/mod_resource/content/1/unidad%208%20aspersion.pdf
- Global Water Partnership. (2012, Marzo 05). *MANUAL PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS TRANSFRONTERIZAS DE RÍOS, LAGOS Y ACUÍFEROS*. Global Water Partnership. Recuperado Junio 20, 2023, de <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/the-handbook-for-integrated-water-resources-management-in-transboundary-basins-of-rivers-lakes-and-aquifers-inbo-gwp-2012-spanish.pdf>
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (GCBA). (n.d.). *Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Buenos Aires Ciudad. Recuperado Junio 20, 2023, de <https://buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/manualdedisenourbano/paisaje-urbano-verde/sistema-urbano-de-drenaje-sostenible-suds>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (Ed.). (2006, Enero). *Plan Director de Ordenamiento Hidráulico y Control de las Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires y Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del arroyo Maldonado*. Consorcio Halcrow-Harza-latasa-Latinoconsult. <http://www.asambleasaavedra.mdc.com.ar/documentos/Resumen%20Ejecutivo%20de%20Plan%20Director%20Enero%202006.pdf>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2019). *Código Urbanístico*. Subsecretaría de Planeamiento. https://cdn2.buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/codigo_urbanistico/0_codigo_urbanistico_31_3.pdf
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires - GCBA. (2020b). *Desagües Pluviales 020204-0205 (3) [Código de Edificación - Reglamentos Técnicos. Proyecto, ejecución de las obras, conservación y mantenimiento de las instalaciones.]*. <https://documentosboletinoficial.buenosaires.gob.ar/publico/PE-RES-MJGGC-SSREGI-C-99-20-ANX-5.pdf>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires - GCBA. (2020a). *Lineamientos - Presentación de Documentación [Plan Hidráulico - UCP BIRF 8628 AR]*. Secretaría de Transporte y Obras Públicas, Dirección General de Infraestructura Urbana (DGINURB).
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires - GCBA. (2020c). *Plan de Acción Climática 2050*. Ciudad de Buenos Aires - PAC 2025.
- Gravito, P. K. (2015). *CARACTERIZACIÓN DEL PRIMER LAVADO DE ESCORRENTÍA DE AGUAS LLUVIAS SOBRE DIFERENTES TIPOS DE TECHO UBICADOS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES* [Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental]. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería.



- INDEC. (2022). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Resultados definitivos.
- Las Cuencas Metropolitanas. (2017, Mayo 24). Esquivando charcos. Las Cuencas Metropolitanas. *La Social Información*.
<http://lasocialinformacion.blogspot.com/2017/05/esquivando-charcos-las-cuencas.html>
- Maza, J., Loustaunau, H., López, P., Manzanera, M., Vargas, A. A., Burgos, V., Benegas, V., Zarategui, J., Rodríguez, C., Núñez, M., Álvarez, A., & Fornero, L. (2005). SIMULACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL EN UN ÁREA URBANA DE MENDOZA. *Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (Ed.). (2009). *Modelo Territorial Buenos Aires 2010-2060* (1era ed.). edición literaria a cargo de Mauricio Macri; Daniel Chain; Héctor Lostri. ISBN 978-987-24660-3-9.
<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/CABA/Modelo-territorial-2010-2060.pdf>
- Nabel, P. E., & Becerra Serial, R. M. (2008). Uso de técnicas geomáticas para el mapeo y caracterización de unidades geomórficas de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina) mediante interpretación visual de parámetros morfométricos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2), 173-185.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3 ed.).
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2011). *Urban Bikeway Design Guide*. Island Press, Cities for Cycling Initiative.
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2013). *Urban Street Design Guide*. Island Press.
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2016). *Global Street Design Guide*. Island Press, Global Designing Cities Initiative.
- National Association of City Transportation Officials (NACTO) (Ed.). (2017). *Urban Street Stormwater Guide*. Island Press. ISBN 9781610918121.
- Nazarpour, S., Gnecco, I., & Palla, A. (2023). Evaluating the Effectiveness of Bioretention Cells for Urban Stormwater Management: A Systematic Review. *Water*, 15(5), 913.
<https://doi.org/10.3390/w15050913>
- Olivares-Cerpa, G., Russo, B., Martínez-Puentes, M., Bladé, E., & Sanz-Ramos, M. (2022). "SUDS-linear" to reduce flood risk considering Climate Change scenarios. *Ingeniería del agua*, 26(2), 77-90. <https://doi.org/10.4995/la.2022.17058>
- Perales Momparler, S. (2019, Mayo 28-29). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)* [Curso - Seminario]. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UBA; Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda; ORSEP. Auspiciado: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Programa Hidrológico Internacional.
- Pérez Hurtado, O. F. (2020). *Uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Municipio de Paipa* [Proyecto para optar por el título de Ingeniero Civil]. Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
<http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8865>



- Prieto, G. (2018, junio 18). *La evolución de Buenos Aires a través de los mapas*. Geografía Infinita. <https://www.geografiainfinita.com/2018/06/la-evolucion-de-buenos-aires-a-traves-de-los-mapas/>
- Rossman, L. A., & Huber, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual* (Vol. III - Water Quality). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). EPA/600/R-16/093.
- Rossman, L. A., & Simon, M. A. (2022). *Storm Water Management Model User's Manual Versión 5.2*. US. Environmental Protection Agency. EPA- 600/R-22/030.
- Rubaja, L. (2023). *Evaluación de alternativas* [Seminario dictado en el marco de la materia Proyecto Final Integrador]. Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).
- Sánchez San Román, J. F. (2001, 01 06). *El Ciclo Hidrológico*. Universidad Nacional del Comahue, Departamento de Geología. <https://web.archive.org/web/20090205224502/http://ausma.uncoma.edu.ar/academica/materias/riego/clave/temas/T020.pdf>
- SCHW Consultores. (2021). *Estudio de Impacto Hidrológico Distrito Dorrego* [Ex Sastrería Militar].
- SEGEMAR. (2001). *Carta Geológico - Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires*. Servicio Geológico Minero Argentino. SSN 03289052.
- SEGEMAR. (2006). *Hidrogeología de la ciudad de Buenos Aires. Serie Contribuciones Técnicas Ordenamiento Territorial N° 6*. Dirección De Geología Ambiental y Aplicada. ISSN 0328-9052. Buenos Aires 2006.
- Serio, L., Puccetti, C., & Oderigo, J. (2020). *Revisión de los monitoreos de calidad del aire en la Ciudad de Buenos Aires* (Vol. 40. 50-62). Revista de la Facultad de Agronomía.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2024). <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>
- Spraakman, S., Rodgers, T. F. M., Monri-Fung, H., Nowicki, A., Diamon, M. L., Passeport, E., Thuna, M., & Drake, J. (2020). A Need for Standardized Reporting: A Scoping Review of Bioretention Research 2000-2019. *Water*, 12(11), 3122. <https://doi.org/10.3390/w12113122>
- UNESCO. (2004). *Water Cycle in Urban Areas*. Aquatic Habits in Integrated Urban Water Management. http://www.aquatic.unesco.lodz.pl/index.php?p=water_cycle
- Vela Huergo, J. (1936). *Las Obras de Desagües Pluviales de la Ciudad de Buenos Aires*.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA. ISBN: 978-0-86017-760-9.
- Yrigoyen, M. (1993). *Morfología y Geología de la Ciudad de Buenos Aires*. *Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*, 7, 7-38.



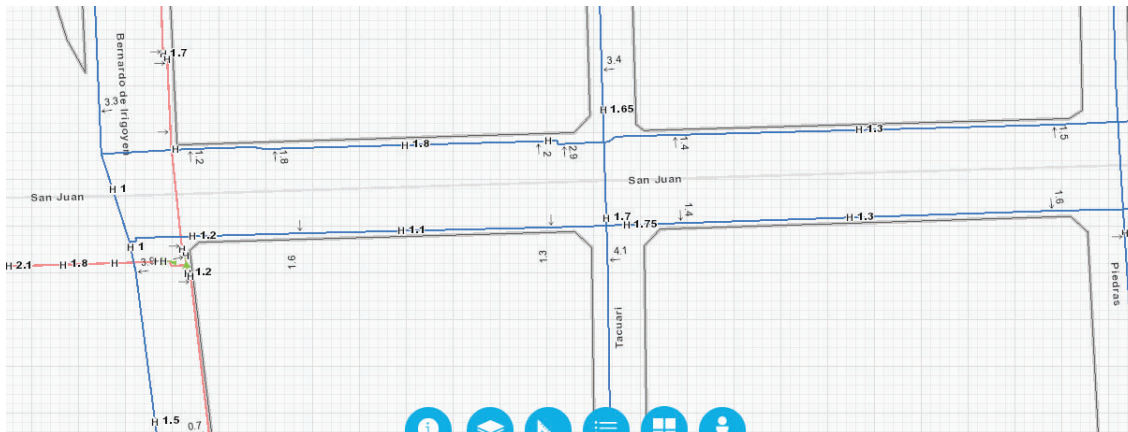
Capítulo 11: Anexo

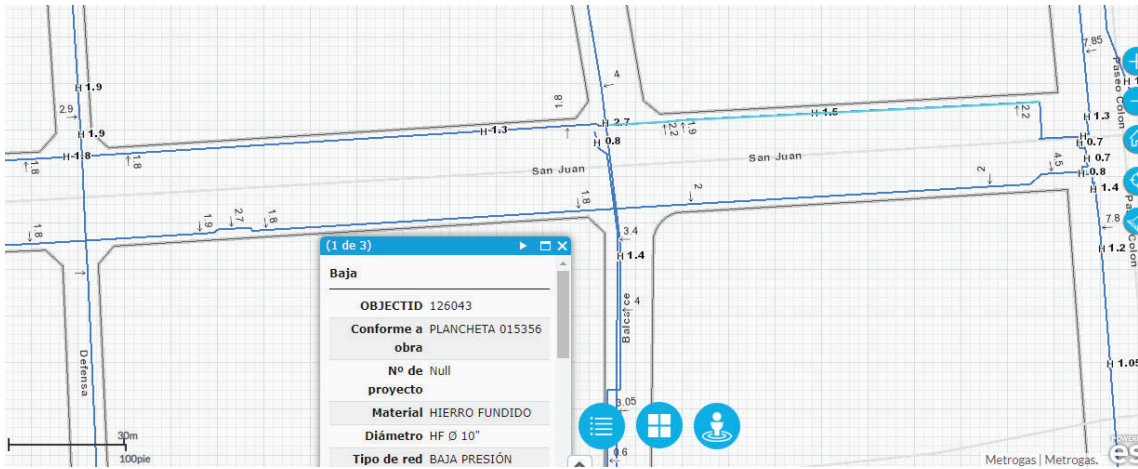
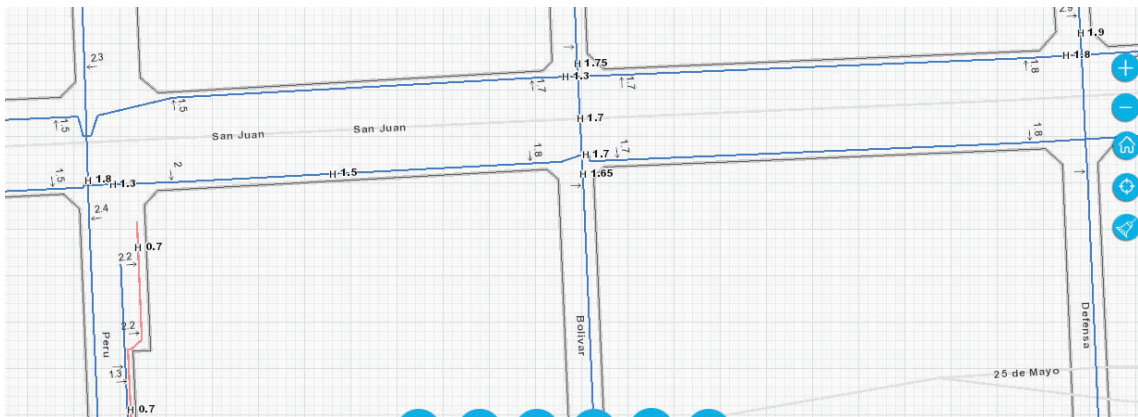
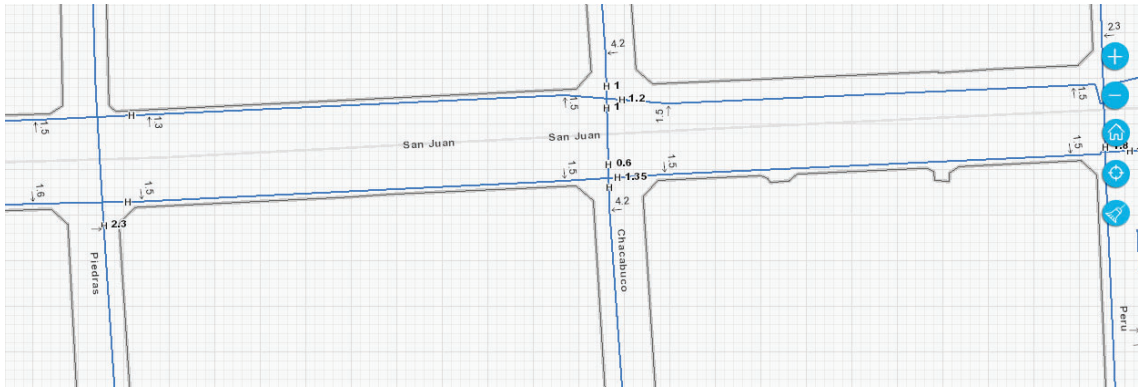
Tabla N° A.1. Cálculo de longitud y pendiente de la zona de intervención

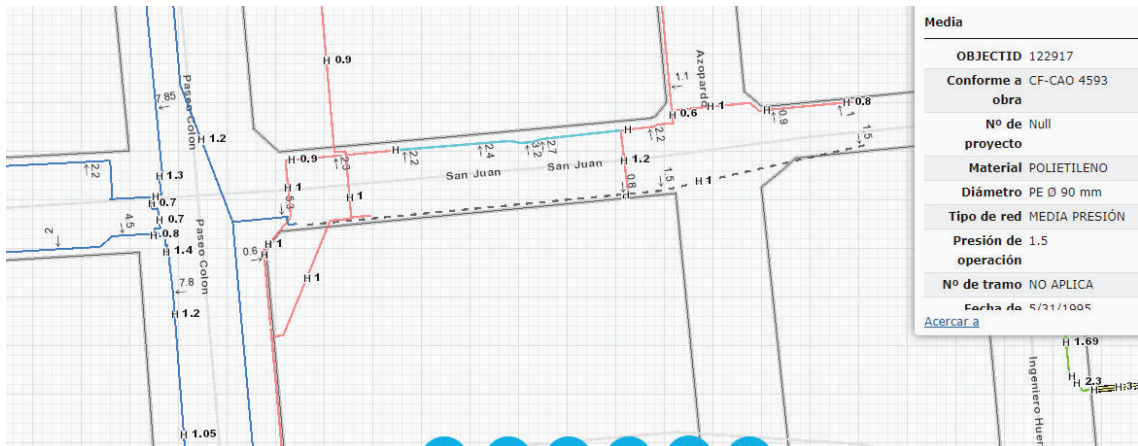
Tramo	Calles		Cota		Longitud (m)	Pendiente
	Inicio	Fin	Inicio	Fin		
1	Bernardo de Irigoyen	Tacuarí	18	16	122	1.64%
2	Tacuarí	Piedras	16	14	130	1.54%
3	Piedras	Chacabuco	14	11	143	2.10%
4	Chacabuco	Perú	11	10	137	0.73%
5	Perú	Bolívar	10	13	124	-2.42%
6	Bolívar	Defensa	13	14	134	-0.75%
7	Defensa	Balcarce	14	13	145	0.69%
8	Balcarce	Paseo Colón	13	6	134	5.22%
9	Paseo Colón	Azopardo	6	5	129	0.78%
		Total longitud (m)			1198	
		Total longitud zona intervención (m)			947	

Fuente: elaboración propia.

Imagen N° A.1. Red de gas existente en área de intervención







Fuente: información suministrada por la prestataria de servicios Metrogas.

Imagen N° A.2. Red de baja tensión existente en área de intervención





Fuente: información suministrada por la prestataria de servicios Edesur.

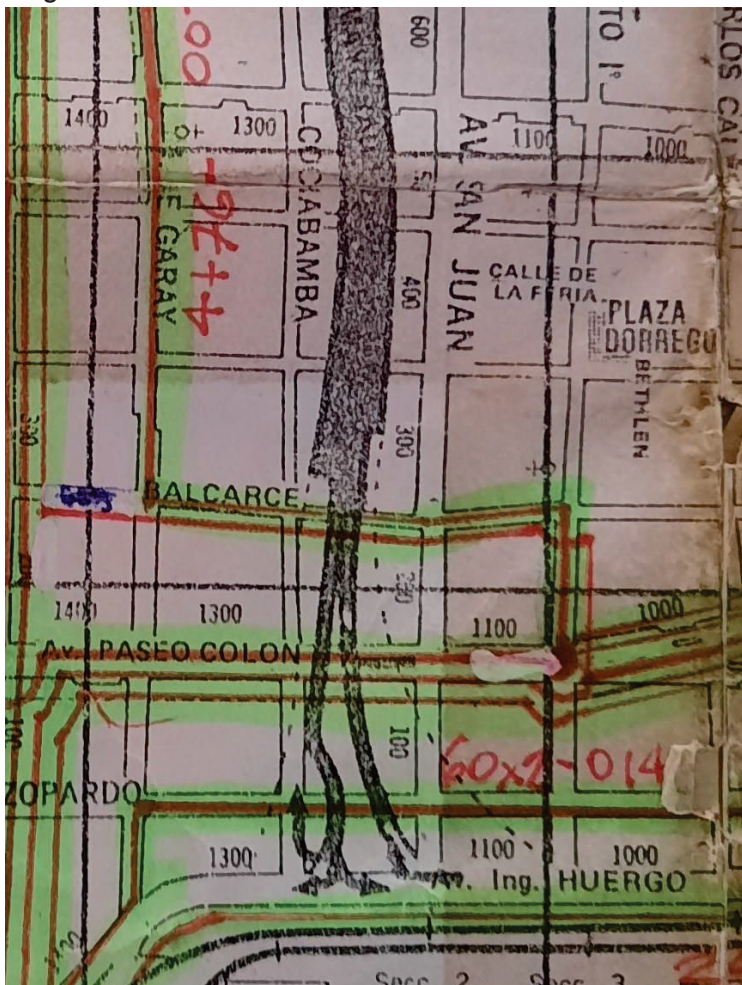
Imagen N° A.3. Red de media tensión existente en área de intervención





Fuente: información suministrada por la prestataria de servicios Edesur.

Imagen N° A.4. Red de telecomunicaciones existente en área de intervención



Fuente: información suministrada por la prestataria de servicios Edesur.



Tabla N° A.5.

Elemento	Mitchell (2005)				Leisenring et al. (2014)	Leisenring et al. (2014) rangos adoptados	Maza et al (2005)			Brignoli (2017)	Gravito (2015)		
	Comercial	Residencial	Espacio abierto urbano	Espacio abierto desarrollado			Evento 2003	Evento 12/01/04	Evento 22/01/04		Evento 1	Evento 2	Evento 3
TTS (mg/l)	50.4	85.1	126.3		48.7	20 - 114					4.875	5.74	3.8325
Sólidos disueltos totales (mg/l)													
Cd (µg/l)	2.2				0.3	0.2 - 0.6					154		
Cu (µg/l)			27.9	51.1	10.9	6.0 - 22.0	46	50	76				
Zn (µg/l)	188.6	296.9	203		55.9	29 - 112	136	147	212				
Ni (µg/l)			14.8	30.4	4.6	3.0 - 8.0							
N total (mg/l)	5										1.65	1.1	1
NO3 (mg/l)							8.05	8.712	12.819	< 45			
NO2 (mg/l)										< 0.1			
Cr (mg/l)							0.641	0.637	0.616				
Cl (mg/l)							17.636	19.111	28.338				
Cloro activo residual (mg/l)													
Ba (mg/l)							0.174	0.188	0.277		0.0594		
Mg (mg/l)							4.715	5.08	7.341	19.26			
Fósforo (mg/l)													
Sulfatos (mg/l)											0.2525	0.4625	0.525
Aceites (mg/l)	5 a 25	2 a 5								3.1875			
HPT (mg/l)							0.761	0.802	1.137				
Alcalinidad (mg/l)													
Dureza total (mg/l)										44.804			
Dureza cálcica (mg/l)										45.7			
										22.85			

Fuente: elaboración propia en base a bibliografía

Tabla N° A.6. Lluvia de diseño en el tiempo para los distintos tiempos de recurrencia

Tiempo (h:min)	Tiempo de recurrencia						
	2 años (mm)	5 años (mm)	10 años (mm)	20 años (mm)	50 años (mm)	100 años (mm)	200 años (mm)
00:00	0	0	0	0	0	0	0
00:12	7.7	10.5	12.5	14.5	17.3	19.5	21.8
00:24	11.8	16.1	19.2	22.3	26.5	29.9	33.5
00:36	16.4	22.4	26.7	31	36.9	41.6	46.6
00:48	4.6	6.3	7.5	8.7	10.4	11.7	13.1
01:00	3.6	4.9	5.8	6.8	8.1	9.1	10.2
01:12	2.6	3.5	4.2	4.8	5.8	6.5	7.3
01:24	2.1	2.8	3.3	3.9	4.6	5.2	5.8
01:36	1	1.4	1.7	1.9	2.3	2.6	2.9
01:48	1	1.4	1.7	1.9	2.3	2.6	2.9
02:00	0.5	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.5

Fuente: elaboración propia en base a CH2M Hill Argentina (2019).

Tabla N° A.7. Datos completos de relación Precipitación – Duración – Recurrencia

Tiempo (hh:mm)	Tiempo de recurrencia						
	2años (mm)	5años (mm)	10 años (mm)	20 años (mm)	50 años (mm)	100 años (mm)	200 años (mm)
00:05	12	16	19	22	26	30	34
00:10	18	24	29	34	41	47	53
00:15	23	31	37	43	52	59	68
00:30	31	41	48	56	68	77	88
01:00	40	54	64	75	91	104	119
02:00	51	70	83	97	115	130	146
03:00	58	78	91	105	123	137	151
06:00	68	90	104	117	133	145	156
12:00	83	109	127	144	167	184	201
24:00	90	116	133	151	176	194	214

Fuente: CH2M Hill Argentina (2019) obtenido de Estación Villa Ortúzar serie 1961 - 2016.

Tabla N° A.8. Relación Intensidad - Duración - Recurrencia (IDF) para los distintos tiempos de recurrencia

Tiempo (min)	Tiempo de recurrencia						
	2 años (mm/h)	5 años (mm/h)	10 años (mm/h)	20 años (mm/h)	50 años (mm/h)	100 años (mm/h)	200 años (mm/h)
00:05	139	188	224	262	317	363	413



00:10	108	146	174	203	246	282	320
00:15	91	123	147	172	208	238	271
00:30	61	81	96	112	135	154	176
01:00	40	54	64	75	91	104	119
02:00	25.7	35.1	41.7	48.4	57.7	65.1	72.8
03:00	19.3	25.9	30.4	34.9	40.9	45.5	50.3
06:00	11.4	15	17.4	19.5	22.2	24.1	25.9
12:00	6.9	9.1	10.6	12	13.9	15.3	16.7

Fuente: CH2M Hill Argentina (2019) obtenido de Estación Villa Ortúzar serie 1961 - 2016.

Imagen N° A.5. Coeficientes de escorrentía utilizados en el método racional.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: cátedra Ing. del Agua, UNSAM (2022).



Imagen N° A.6. Coeficiente de Manning

Material	Prandtl-Colebrook		Hazen-Williams		Manning	
	k (mm)		c		n	
	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio
Fundición	0,03	0,2	130	100	0,012	0,017
Hormigón	0,3	3,0	140	110	0,013	0,017
Acero	0,03	0,1	120	90	0,008	0,011
Polietileno	0,005	0,03	150	140	0,007	0,009
PRFV	0,03	0,06	110	100	0,009	0,010
PVC	0,002	0,003	150	140	0,007	0,009
PVC-O	0,003	0,007	150	140	0,007	0,009

Fuente: <https://www.molecorparana.com.py/es/calculos-hidraulicos-diseno-redes>

Tabla N° A.9. Interferencias en la zona de intervención

Mano derecha				
Calle		Tipo de interferencia		
		Establecimiento	Estacionamiento / carga y descarga	Otros comentarios
1	Tacuarí – Piedras	Chino	3	
2	Piedras – Chacabuco	Plazoleta		Parada 126
3	Chacabuco – Perú	Estacionamiento	2	Plaza
4	Perú – Bolívar		2	
5	Bolívar – Defensa	Mercado + restaurantes	3	Bicisenda sobre bolívar Parada 126
6	Defensa – Balcarce	Mercado, MAMBA, MACBA	1	
7	Balcarce – Paseo Colón	Casa colectiva américa	2	
8	Paseo Colón – Azopardo	Universidad popular campo de deportes		Bicisenda de esta mano, en mal estado. En Azopardo empieza ciclovía.
Mano izquierda				
8	Azopardo – Paseo Colón		3	Fábricas.
7	Paseo Colón – Balcarce	Colegio en desuso	2	
6	Balcarce – Defensa	Escuela 26 Hip. Yrigoyen	3	
5	Defensa – Bolívar	Estacionamiento	3 (2)	
4	Bolívar – Perú	Bar en esquina	2	Plaza Edificio grande en construcción

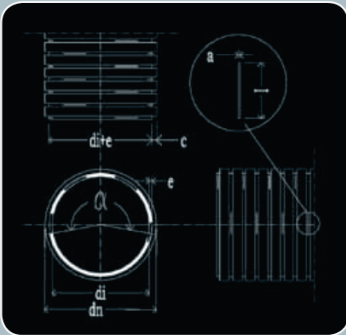


3	Perú – Chacabuco	San Juan Tenis Club	2	
2	Chacabuco – Piedras		1 (grande)	
1	Piedras – Tacuarí		2	

Fuente: elaboración propia.

Imagen N° A.7. Especificaciones cañería de drenaje

6.1.2.- SISTEMA TUYPERDREN

- Tubería de drenaje corrugada de doble pared de PE-AD que corresponde al sistema DP, es decir, **CON ranurado** hasta la zona próxima a los riñones del tubo.
- Diseñado para resolver aquellas situaciones en la que es prioritaria la función de **captar** sobre la de evacuar.
- Ideal para aplicar en tramos secundarios.

TABLA DIMENSIONAL SISTEMA TUYPERDREN - PE AD

Referencia	Diámetro nominal dn (mm)	Diámetro interior di (mm)	e (mm)	Rigidez circunferencial	Canales por metro	Cortes perimetrales	Canal		Sección de drenaje (cm ² /m)
							I (mm)	a (mm)	
110DPB	110	94	8,5	SN4	184	3	20,3	1,6	90,0
160DPB	160	135	12,2	SN4	366	4	25,4	1,7	105,3
200DPB	200	170	14,7	SN4	276	4	27,0	1,9	96,6
250DPB	250	210	18,8	SN4	124	4	34,0	2,2	92,8
315DPB	315	267	24,8	SN4	92	4	52,2	2,5	120,1
*350DPB	350	294	27,6	SN4	87	4	58,0	2,5	124,2
400DPB	400	340	30,9	SN4	84	4	61,0	2,5	128,1
*465DPB	465	392	35,2	SN4	72	4	70,0	2,6	128,5
500DPB	500	425	38,9	SN4	68	4	73,2	2,6	129,0

* para estos diámetros, por favor consultar

Fuente: [Ingemecánica](http://www.ingemecanica.com).



Imagen N° A.8. Especificaciones de caudales y velocidades de cañería de drenaje

10.3 ÁBACO DE CAUDALES Y VELOCIDADES																									
ÁBACO DE CAUDALES (litros/seg.)																									
		Pendiente de la Zanja																							
		0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0			
PIPEREN	200	16,5	21,24	30,06	36,84	42,54	47,58	52,14	56,34	60,18	63,84	67,32	73,74	79,68	85,14	90,30	95,22	99,84	104,28	108,54	112,68	116,64			
	250	29,76	38,34	54,24	66,48	76,74	85,80	94,02	101,52	108,54	115,14	121,38	132,96	143,64	153,54	162,84	171,66	180,06	188,04	195,72	203,10	210,24			
	315	54,36	70,20	99,30	121,62	140,46	157,08	172,02	185,82	198,66	210,72	222,12	243,30	262,80	280,98	298,02	314,16	329,46	344,10	358,14	371,70	384,72			
	400	102,48	132,3	187,14	229,20	264,66	295,86	324,12	350,10	374,28	396,96	418,44	458,40	495,12	529,32	561,42	591,78	620,64	648,24	674,70	700,20	724,80			
TUYPEREN	110	1,35	1,71	2,43	2,97	3,45	3,87	4,23	4,56	4,89	5,16	5,46	5,97	6,45	6,90	7,32	7,71	8,07	8,43	8,79	9,12	9,45			
	160	3,51	4,53	6,42	7,86	9,06	10,14	11,10	12,00	12,81	13,59	14,34	15,69	16,95	18,12	19,23	20,25	21,24	22,20	23,10	23,97	24,81			
	200	6,48	8,37	11,85	14,52	16,74	18,72	20,52	22,17	23,70	25,14	26,49	29,01	31,35	33,51	35,55	37,47	39,30	41,04	42,72	44,34	45,87			
	250	11,40	14,73	20,82	25,50	29,43	32,91	36,06	39,94	41,64	44,16	46,53	50,97	55,05	58,86	62,43	65,82	69,03	72,09	75,03	77,88	80,61			
	315	21,63	27,93	39,48	48,36	55,83	62,43	68,40	73,86	78,99	83,76	88,29	96,72	104,46	111,69	118,47	124,86	130,95	136,77	142,38	147,75	152,94			
	350	26,71	34,49	48,75	59,72	68,94	77,09	84,47	91,21	97,51	103,44	109,03	119,44	129,00	137,93	146,30	154,19	161,71	168,90	175,83	182,46	188,87			
	400	41,19	53,19	75,21	92,13	106,38	118,95	130,29	140,73	150,45	159,57	168,21	184,26	199,02	212,76	225,66	237,87	249,48	260,58	271,23	281,46	291,33			
	465	64,62	83,43	117,97	144,49	166,83	186,53	204,33	220,70	235,96	250,26	263,81	288,98	312,13	333,69	353,93	373,08	391,50	408,69	425,37	441,44	456,93			
	500	74,70	96,45	136,38	167,04	192,87	215,64	236,22	255,15	272,79	289,32	304,98	334,08	360,84	385,77	409,17	431,31	452,34	472,47	491,76	510,33	528,24			
TUBODREN	75	0,95	1,25	1,75	2,20	2,50	2,80	3,05	3,40	3,55	3,75	4,00	4,40	4,70	5,00	5,40	5,60								
	90	1,60	2,10	3,00	3,60	4,20	4,60	5,05	5,50	5,90	6,20	6,50	7,20	7,75	8,25	8,75	9,25								
	110	2,75	3,60	5,05	6,20	7,20	8,00	8,75	9,50	10,00	10,80	11,25	12,40	13,30	14,20	15,10	16,00								
	125	3,90	5,10	7,10	8,75	10,20	11,20	12,50	13,20	14,20	15,10	16,00	17,50	19,00	20,10	20,80	21,20								
	150	7,60	10,00	14,00	17,00	19,50	22,00	24,00	26,00	28,80	29,50	32,00	34,00	37,00	39,00	42,00	44,00								

Fuente: [Ingemecánica](#).

Tabla N° A.10. Resultados hidrológicos alternativas

Subcuenca	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Escorren Imperm mm	Escorren Perm mm	Total Escorren mm	Total Escorren 10^6 ltr	Pico Escorren CMS	Coef Escorren
Hidrología de base - 2 años de recurrencia										
S27127804	51.30	0.00	0.00	14.28	36.93	0.01	36.94	0.39	0.17	0.72
S27125955	51.30	0.00	0.00	14.28	36.97	0.02	36.99	0.29	0.13	0.72
S27125873	51.30	0.00	0.00	14.25	37.00	0.04	37.05	0.57	0.25	0.72
S27124832	51.30	0.00	0.00	14.29	36.65	0.00	36.65	0.89	0.32	0.71
S27122892	51.30	0.00	0.00	14.27	36.98	0.02	37.00	0.65	0.29	0.72
S27121871	51.30	0.00	0.00	14.28	36.93	0.01	36.95	1.02	0.44	0.72
S27120831	51.30	0.00	0.00	14.28	36.95	0.02	36.96	1.35	0.58	0.72
S27120644	51.30	0.00	0.00	14.29	36.53	0.00	36.53	1.34	0.45	0.71
S26127779	51.30	0.00	0.00	14.27	36.98	0.03	37.01	0.38	0.17	0.72
S26127671	51.30	0.00	0.00	14.27	36.98	0.02	37.00	0.83	0.37	0.72
S26128992	51.30	0.00	0.00	14.28	36.96	0.02	36.98	0.97	0.42	0.72
Cuneta Verde - Alternativa 1 - 2 años de recurrencia										
S27127804	51.30	0.00	0.00	13.89	33.27	0.01	37.24	0.39	0.16	0.73
S27125955	51.30	0.00	0.00	14.27	36.95	0.02	36.99	0.29	0.13	0.72
S27125873	51.30	0.00	0.00	14.10	35.56	0.04	37.18	0.57	0.25	0.73
S27124832	51.30	0.00	0.00	14.04	34.40	0.00	36.89	0.90	0.32	0.72
S27122892	51.30	0.00	0.00	14.21	36.45	0.02	37.06	0.65	0.29	0.72
S27121871	51.30	0.00	0.00	14.01	34.39	0.01	37.16	1.03	0.42	0.72



Subcuenca	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Escorren Imperm mm	Escorren Perm mm	Total Escorren mm	Total Escorren 10^6 ltr	Pico Escorren CMS	Coef Escorren
S27120831	51.30	0.00	0.00	14.05	34.79	0.02	37.13	1.36	0.57	0.72
S27120644	51.30	0.00	0.00	14.29	36.53	0.00	36.66	1.34	0.47	0.72
S26127779	51.30	0.00	0.00	14.25	36.82	0.03	37.03	0.38	0.17	0.72
S26127671	51.30	0.00	0.00	14.27	36.95	0.02	37.01	0.83	0.37	0.72
S26128992	51.30	0.00	0.00	14.27	36.94	0.02	36.98	0.97	0.42	0.72
Área de Biorretención - Alternativa 3 - 2 años de recurrencia										
S27127804	51.30	0.00	0.00	12.96	33.27	0.01	30.39	0.32	0.14	0.59
S27125955	51.30	0.00	0.00	14.27	36.95	0.02	36.97	0.29	0.13	0.72
S27125873	51.30	0.00	0.00	13.73	35.56	0.04	34.31	0.53	0.24	0.67
S27124832	51.30	0.00	0.00	13.46	34.40	0.00	32.54	0.79	0.29	0.63
S27122892	51.30	0.00	0.00	14.08	36.45	0.02	36.05	0.63	0.28	0.70
S27121871	51.30	0.00	0.00	13.36	34.39	0.01	32.32	0.89	0.38	0.63
S27120831	51.30	0.00	0.00	13.50	34.79	0.02	33.03	1.21	0.52	0.64
S27120644	51.30	0.00	0.00	14.29	36.53	0.00	36.50	1.34	0.45	0.71
S26127779	51.30	0.00	0.00	14.21	36.82	0.03	36.70	0.37	0.17	0.72
S26127671	51.30	0.00	0.00	14.26	36.95	0.02	36.89	0.83	0.36	0.72
S26128992	51.30	0.00	0.00	14.27	36.94	0.02	36.96	0.97	0.42	0.72
Zanja de Infiltración - Alternativa 2 - 2 años de recurrencia										
S27127804	51.30	0.00	0.00	20.45	33.27	0.01	30.39	0.32	0.14	0.59
S27125955	51.30	0.00	0.00	14.29	36.95	0.02	36.97	0.29	0.13	0.72
S27125873	51.30	0.00	0.00	16.68	35.56	0.04	34.31	0.53	0.24	0.67
S27124832	51.30	0.00	0.00	18.15	34.40	0.00	32.54	0.79	0.29	0.63
S27122892	51.30	0.00	0.00	15.17	36.45	0.02	36.05	0.63	0.28	0.70
S27121871	51.30	0.00	0.00	18.57	34.39	0.01	32.32	0.89	0.38	0.63
S27120831	51.30	0.00	0.00	17.91	34.79	0.02	33.03	1.21	0.52	0.64
S27120644	51.30	0.00	0.00	14.30	36.53	0.00	36.52	1.34	0.45	0.71
S26127779	51.30	0.00	0.00	14.55	36.82	0.03	36.70	0.37	0.17	0.72
S26127671	51.30	0.00	0.00	14.31	36.95	0.02	36.95	0.83	0.37	0.72
S26128992	51.30	0.00	0.00	14.30	36.94	0.02	36.96	0.97	0.42	0.72

Fuente: elaboración propia en base a modelación realizada en SWMM.

Tabla N° A.11. Resultados de los SUDS evaluados

Subcatchment	Ingreso Total mm	Pérdida Evaporación mm	Pérdida Infiltración mm	Escorrentía Superficial mm	Salida Drenaje mm	Almacenamiento Inicial mm	Almacenamiento Final mm	Error %
Cuneta Verde - Alternativa 1								
SS26127671	173.34	0.00	5.99	167.33	0.00	0.00	0.03	-0.01
SS26127779	83.55	0.00	10.07	73.45	0.00	0.00	0.03	0.00
SS26128992	51.30	0.00	5.84	45.47	0.00	0.00	0.00	-0.01
SS27120644	296.54	0.00	2.21	1346.45	0.00	0.00	0.06	-354.82

Subcatchment	Ingreso Total mm	Pérdida Evaporación mm	Pérdida Infiltración mm	Escurrentía Superficial mm	Salida Drenaje mm	Almacenamiento Inicial mm	Almacenamiento Final mm	Error %
SS27120831	81.72	0.00	10.35	70.18	0.00	0.00	1.04	0.19
SS27121871	81.38	0.00	10.34	70.00	0.00	0.00	0.91	0.16
SS27122892	80.43	0.00	10.18	70.07	0.00	0.00	0.16	0.01
SS27124832	81.40	0.00	10.29	70.15	0.00	0.00	0.83	0.15
SS27125873	84.29	0.00	10.28	73.49	0.00	0.00	0.46	0.07
SS27125955	51.30	0.00	1.53	49.83	0.00	0.00	0.00	-0.12
SS27127804	80.41	0.00	10.35	68.89	0.00	0.00	1.02	0.19
Área de Biorretención - Alternativa 3								
SS26127671	173.34	0.00	4.41	0.00	4.94	25.65	189.66	0.00
SS26127779	83.55	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	99.97	-0.03
SS26128992	51.30	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	67.71	-0.03
SS27120644	296.54	0.00	5.12	0.00	4.94	25.65	312.13	0.00
SS27120831	81.72	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	98.12	-0.01
SS27121871	81.38	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	97.79	-0.02
SS27122892	80.43	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	96.83	-0.01
SS27124832	81.40	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	97.81	-0.02
SS27125873	84.29	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	100.70	-0.02
SS27125955	51.30	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	67.71	-0.03
SS27127804	80.41	0.00	4.33	0.00	4.94	25.65	96.81	-0.01
Zanja de Infiltración - Alternativa 2								
SS26127671	173.34	0.00	76.41	0.00	103.75	20.59	13.98	-0.11
SS26127779	83.55	0.00	76.41	0.00	18.93	20.59	9.01	-0.20
SS26128992	51.30	0.00	71.89	0.00	0.00	20.59	0.00	0.00
SS27120644	296.54	0.00	76.41	0.00	210.01	20.59	30.90	-0.06
SS27120831	81.72	0.00	76.41	0.00	16.75	20.59	9.36	-0.21
SS27121871	81.38	0.00	76.41	0.00	16.29	20.59	9.48	-0.21
SS27122892	80.43	0.00	76.41	0.00	15.97	20.59	8.85	-0.21
SS27124832	81.40	0.00	76.41	0.00	14.00	20.59	11.79	-0.21
SS27125873	84.29	0.00	76.41	0.00	20.03	20.59	8.64	-0.20
SS27125955	51.30	0.00	71.89	0.00	0.00	20.59	0.00	0.00
SS27127804	80.41	0.00	76.41	0.00	15.44	20.59	9.36	-0.21

Fuente: elaboración propia en base a modelación realizada en SWMM.

Tabla N° A.12. Cantidad de aspersores por tramo

Inicio	Fin	Cuadra	Longitud (m)	#aspersores por ala	#aspersores por cuadra
Tacuarí	Piedras	C1	114	14	28
Piedras	Chacabuco	C2	122	15	30
Chacabuco	Perú	C3	114	14	28



Perú	Bolívar	C4	102	13	26
Bolívar	Defensa	C5	122	15	30
Defensa	Balcarce	C6	122	15	30
Balcarce	Av. Paseo Colón	C7	103	13	26

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° A.13. Cálculo de fricción por accesorios

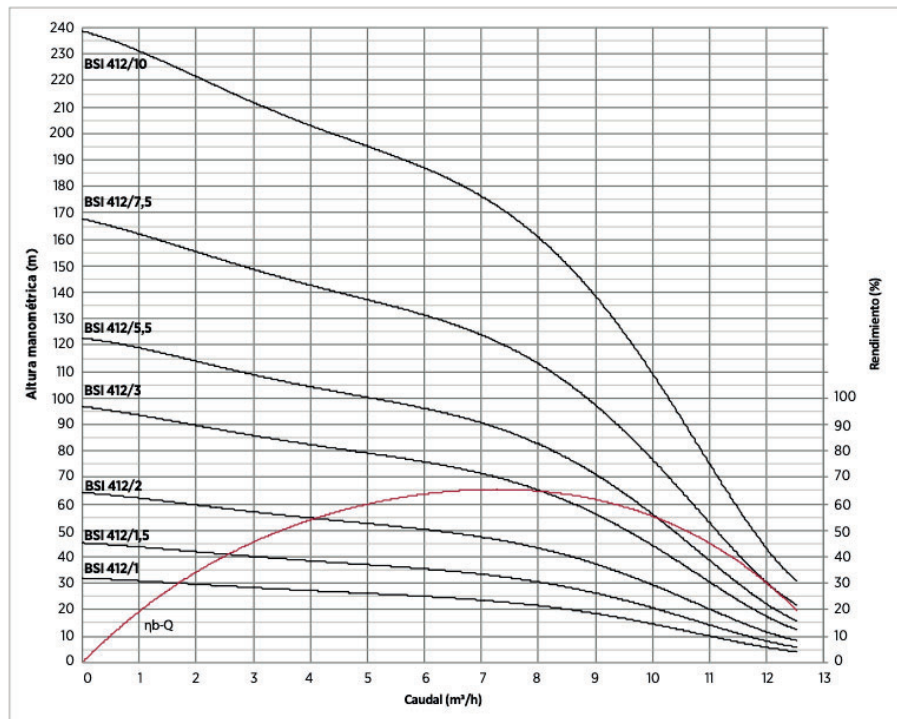
FRICCIÓN ACCESORIOS	
Cantidad de codos	1
K codos 90	0.7
Cantidad válvula ret	3
Cantidad válvula marip	1
K retención	1
K mariposa	0.24
Cantidad de tubos en T	1
K tubos en T	0.4
Cantidad exp caño	1
K expansión caño	0.37
K reducción caño	0
Hf accesorios (m)	6.96E-02

Fuente: elaboración propia.



Imagen N° A.9. Ficha técnica bomba pozo de captación

CURVAS DE RENDIMIENTO



PRESTACIONES - 50Hz - 2850RPM

MODELOS	HP	ALTURA MANOMETRICA (metros)																		
		10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	140	160	200	220	180
BSI 412/1	1	11,00	9,90	8,55	6,10	1,70														
BSI 412/1,5	1,5	11,65	10,87	10,10	9,25	8,10	6,20	3,10												Caudal m³/h
BSI 412/2	2	12,22	11,55	11,05	10,50	9,90	9,30	8,60	6,15	1,90										
BSI 412/3	3		12,25	11,80	11,40	11,00	10,67	10,30	9,55	8,60	7,30	4,70	1,95							
BSI 412/4	4			12,15	11,80	11,50	11,20	10,90	10,35	9,75	9,10	8,25	7,10	5,10	2,75					
BSI 412/5,5	5,5				12,30	12,00	11,77	11,52	11,10	10,70	10,30	9,85	9,30	8,85	8,20	4,45	1,35			
BSI 412/7,5	7,5						12,30	12,10	11,78	11,45	11,15	10,85	10,55	10,25	9,95	8,95	8,00	4,40	2,1	

MODELOS	Descarga	CUERPO DE BOMBA				MOTOR				ELECTROBOMBA					
		Etapas	Ø (mm)	Largo (mm)	Peso (Kg)	Ø (mm)	Largo (mm)		Peso (Kg)		Ø (mm)	Largo (mm)		Peso (Kg)	
							M	T	M	T		M	T	M	T
BSI 412/1 M/T	2"	5	96	289	3,08	98,6	363,5	368,5	9,4	9	98,6	652,5	657,5	12,48	12,08
BSI 412/1,5 M/T	2"	7	96	349	3,6	98,6	394,5	404,5	10,7	10,4	98,6	743,5	753,5	14,3	14
BSI 412/2 M/T	2"	10	96	439	5,1	98,6	434,5	444,5	12,6	12,1	98,6	873,5	883,5	17,7	17,2
BSI 412/3 M/T	2"	15	96	589	7,7	98,6	547	542	17,1	16,2	98,6	1136	1131	24,8	23,9
BSI 412/4 M/T	2"	19	96	709	9,78	98,6	---	597	---	20	98,6	---	1306	---	29,78
BSI 412/5,5 M/T	2"	26	96	919	12,9	98,6	---	608	---	22,3	98,6	---	1527	---	35,2
BSI 412/7,5 T	2"	37	96	1249	18,62	98,6	---	766	---	27,9	98,6	---	2015	---	46,52

Fuente: [Motorarg](#).



Tabla N° A.14. Instituciones educativas en área de interés

Universidades			
Nombre	Dirección	Otros	Régimen
Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino	Defensa 422	Facultad de Filosofía	Privado
Universidad ISALUD	Venezuela 931	Rectorado	Privado
Instituto Universitario de Gendarmería Nacional	Av. Paseo Colón 533	Rectorado	Público
Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	Av. Alicia Moreau de Justo 1300	Rectorado	Privado
Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	Av. Alicia Moreau de Justo 1400	Facultad de Ciencias Económicas	Privado
Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	Av. Alicia Moreau de Justo 1500	Facultad de Ciencias Sociales	Privado
Universidad Argentina de la Empresa	Lima 717	Rectorado	Privado
Universidad del Cine	Pasaje Giuffra 330	Rectorado	Privado
Universidad de Buenos Aires	Paseo Colón 850	Facultad de Ingeniería	Público
Universidad de Morón	Humberto Primo 378	Servicio Penitenciario Federal Argentino	Privado
Establecimientos Educativos			
Nombre	Dirección	Nivel Modal	Tipo
Colegio N° 07 Juan Martín de Pueyrredon	Chacabuco 922	Nivel Secundario Común	Colegio
Esc. para Niños y Niñas con Discapacidad Mental N° 14 Constancio C. Vigil	Av. Independencia 668	Nivel Inicial y Primario Especial	Escuela de Educación Especial
Esc. para Jóvenes y Adultos con Discapacidad Visual y Formación Integral N° 37 Francisco Gatti	Av. Independencia 672	Otros Servicios Educativos de la modalidad Especial	Escuela de Educación Especial
Esc. Integral Interdisciplinaria N° 03	Piedras 1430	Nivel Primario Especial	Escuela de Integración Interdisciplinaria
Jardín de Infantes Común N° 03/03° San Telmo	Piedras 860	Nivel Inicial Común	Jardín de Infantes Común



Centro de Formación Profesional N° 27 (sede) - Sindicato de Luz y Fuerza	Perú 823 4° piso	Otros Servicios Educativos de las modalidades Común y de Jóvenes y Adultos	Centro de Formación Profesional
Centro Educativo de Nivel Secundario N° 36	Av. Independencia 758	Nivel Secundario de Jóvenes y Adultos	Centro Educativo de Nivel Secundario
Esc. Primaria p/Adultos N° 01 Valentín Gómez	Av. Independencia 758	Nivel Primario de Jóvenes y Adultos - Otros Servicios Educativos de la modalidad de Jóvenes y Adultos	Escuela Primaria para Adultos
Esc. Primaria Común N° 01 Valentín Gómez	Av. Independencia 758	Nivel Primario Común	Escuela de Jornada Completa
ESEA en Danza Ramicone Curso Vocacional de Folklore N° 03	Av. Independencia 758	Otros Servicios Educativos de la modalidad Común	Escuela Superior de Educación Artística
UGEE N° 07 Bachillerato Popular de Adultos y Adolescentes Paulo Freire	Av. Independencia 766	Nivel Secundario de Jóvenes y Adultos	Unidad de Gestión Educativa Experimental
Centro Educativo Complementario de Idiomas Extranjeros N° 04	Humberto I° 343	Otros Servicios Educativos de la modalidad Común	Centro Educativo Complementario de Idioma Extranjero
Esc. Primaria Común N° 22 Dr. Guillermo Rawson	Humberto I° 343	Nivel Primario Común	Escuela de Jornada Completa
Esc. Primaria Común N° 26 Hipólito Yrigoyen	Avda. San Juan 353	Nivel Primario Común	Escuela de Jornada Completa
Jardín de Infantes Integral N° 09/04°	Avda. San Juan 353	Nivel Inicial Común	Jardín de Infantes Integral
CENOF Centro Defensa	Defensa 1431	Otros Servicios Educativos de la modalidad de Jóvenes y Adultos	Centro de Educación No Formal
Esc. Primaria Común N° 27 Deán Funes	Defensa 1431	Nivel Primario Común	Escuela de Jornada Completa
Esc. Normal Superior N° 03 Bernardino Rivadavia (sede)	Bolívar 1235	Nivel Inicial, Primario, Secundario y Superior No Universitario Común	Escuela Normal Superior
Instituto de Formación Técnica Superior N° 32	Humberto I° 102	Nivel Superior No Universitario Común	Instituto de Formación Técnica Superior
Inst. Privado de Educación Técnica y Formación Profesional 13	Humberto I° 102	Nivel Secundario Común	Instituto Educativo Incorporado a la Enseñanza Oficial



Instituto de Formación Técnica Superior N° 33	Humberto I° 102	Nivel Superior No Universitario Común	Instituto de Formación Técnica Superior
Centro de Formación Profesional N° 27 (anexo) - Instituto Privado 13 de Julio	Humberto I° 102	Otros Servicios Educativos de las modalidades Común y de Jóvenes y Adultos	Centro de Formación Profesional
Centro de Actividades Infantiles y Juveniles Club San Telmo	Bolívar 1280	Otros Servicios Educativos de la modalidad Común	Centro de Actividades Infantiles y Juveniles
Centro de Formación Profesional N° 25 (sede)	Av. Paseo Colón 1318	Otros Servicios Educativos de las modalidades Común y de Jóvenes y Adultos	Centro de Formación Profesional
Inst. Industrial Luis A. Huergo	Perú 759	Nivel Secundario Común	Instituto Educativo Incorporado a la Enseñanza Oficial
Inst. Privado Simón Bolívar	Bolívar 1163	Nivel Secundario Común	Instituto Educativo Incorporado a la Enseñanza Oficial
Inst. María Auxiliadora	Av. Juan de Garay 556	Nivel Inicial y Primario Común	Instituto Educativo Incorporado a la Enseñanza Oficial
Inst. Integral del Sud	Defensa 1318	Nivel Inicial Común	Instituto Educativo Incorporado a la Enseñanza Oficial
El Elefante Trompita	Azopardo 1051	Otros Servicios Educativos de la modalidad Común	Instituto Educativo Asistencial no Incorporado a la Enseñanza Oficial
Esc. Primaria Común N° 21 Hipolito Vieytes	Perú 946	Nivel Primario Común	Escuela de Jornada Simple
Centro Educativo de Nivel Secundario N° 60	Perú 946	Nivel Secundario de Jóvenes y Adultos	Centro Educativo de Nivel Secundario
Jardín Maternal N° 12/04°	Avda. Independencia 569	Nivel Inicial Común	Jardín Maternal
Escuela Infantil N° 08/04°	Avda. Independencia 569	Nivel Inicial Común	Escuela Infantil
Centro de Formación Profesional N° 33	Avda. Paseo Colón 731	Otros Servicios Educativos de las modalidades Común y de Jóvenes y Adultos	Centro de Formación Profesional
Esc. de Comercio N° 04 Baldomero Fernández Moreno	Perú 1357	Nivel Secundario Común	Escuela de Comercio
Esc. de Comercio N° 27 Antártida Argentina	Perú 1357	Nivel Secundario Común	Escuela de Comercio



CENOF Centro Isaura Arancibia	Carlos Calvo 190	Otros Servicios Educativos de la modalidad de Jóvenes y Adultos	Centro de Educación No Formal
Primera Infancia Jardín del Puente	Carlos Calvo 190	Otros Servicios Educativos de la modalidad Común	Primera Infancia
Centro Educativo de Nivel Primario N° 01-10-11-12-16-17-25-51	Carlos Calvo 190	Nivel Primario de Jóvenes y Adultos	Centro Educativo de Nivel Primario

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° A.15. Valoración de impactos

	Acción de Proyecto	Componente Ambiental	Factor	±	I	Ex	Pe	Rv	Ac	Ef	Pr	IA
CONSTRUCCIÓN	Tareas Preliminares	Aire	Ruido	-1	2	4	1	1	1	1	1	-19
		Vialidad		-1	2	1	1	1	4	1	1	-16
		Paisaje		-1	2	1	1	1	1	4	1	-16
	Demolición	Aire	Calidad del Aire	-1	2	4	1	1	4	1	4	-25
			Ruido	-1	2	4	1	1	4	4	1	-25
		Suelo y geomorfología		-1	2	1	1	1	1	4	4	-19
		Agua	Superficial	-1	2	1	1	1	1	4	4	-19
		Fauna		-1	2	1	1	1	4	1	2	-17
		Vialidad		-1	2	4	1	1	4	1	4	-25
		Uso de suelo		-1	2	1	2	1	1	1	4	-17
		Calidad de vida		-1	2	1	1	1	4	1	4	-19
		Infraestructura y servicios		1	2	4	1	1	4	1	1	22
		Empleo y desarrollo económico		1	4	4	1	2	4	4	4	35
		Paisaje		-1	4	1	4	2	1	4	4	-29
	Movimiento de suelos	Aire	Calidad del Aire	-1	6	4	1	1	4	4	1	-37
			Ruido	-1	4	4	1	1	4	1	1	-28
		Suelo y geomorfología		-1	6	1	4	4	1	4	4	-37
		Agua	Subterránea	-1	2	1	1	1	4	1	1	-16
			Superficial	-1	4	4	4	4	4	4	4	-40
		Cobertura vegetal		-1	2	1	2	1	1	1	4	-17
		Fauna		-1	2	1	1	1	4	1	4	-19
		Uso de suelo		-1	2	1	2	4	1	4	4	-23
		Calidad de vida		-1	2	1	1	1	4	1	4	-19
		Empleo y desarrollo económico		1	6	4	1	1	4	4	4	40
		Paisaje		-1	6	1	4	2	4	4	4	-38
	Instalación sanitaria	Agua	Subterránea	-1	2	1	1	1	4	1	1	-16
			Superficial	-1	2	1	1	1	1	4	4	-19
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	4	28
	Relleno y nivelación	Aire	Ruido	-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Suelo y geomorfología		1	2	1	2	4	1	4	4	23
		Calidad de vida		-1	2	1	1	1	4	1	2	-17



	Acción de Proyecto	Componente Ambiental	Factor	±	I	Ex	Pe	Rv	Ac	Ef	Pr	IA
O P E R A C I O N		Infraestructura y servicios		1	2	4	1	1	4	1	1	22
		Empleo y desarrollo económico		1	4	4	1	2	4	4	4	35
		Paisaje		1	2	1	4	1	1	4	4	22
	Hormigonado	Aire	Calidad del Aire	-1	2	4	1	1	4	1	4	-25
			Ruido	-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Fauna		-1	2	1	1	1	4	1	4	-19
		Calidad de vida		-1	2	1	1	1	4	1	1	-16
		Infraestructura y servicios		1	2	4	1	1	4	1	1	22
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	4	28
		Paisaje		1	2	1	4	1	1	4	4	22
	Albañilería y pintura	Suelo y geomorfología		-1	2	1	1	1	1	1	1	-13
		Agua	Superficial	-1	2	1	1	1	1	4	1	-16
		Infraestructura y servicios		1	2	4	1	1	1	1	1	19
	Paisajismo y sistema de riego	Suelo y geomorfología		1	2	1	1	1	1	4	4	19
		Agua	Subterránea	-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Cobertura vegetal		1	2	1	1	1	4	4	4	22
		Fauna		1	2	1	1	1	1	1	4	16
		Infraestructura y servicios		-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Paisaje		1	4	1	2	2	4	4	4	30
	Limpieza final y desocupación	Aire	Calidad del Aire	-1	2	4	1	1	4	1	4	-25
			Ruido	-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Suelo y geomorfología		1	2	1	1	1	1	4	4	19
		Agua	Superficial	1	2	1	1	1	1	4	4	19
		Cobertura vegetal		1	2	1	1	1	1	4	1	16
		Vialidad		1	2	4	1	1	1	4	4	25
		Calidad de vida		1	2	4	1	1	1	1	4	22
		Paisaje		1	2	1	1	1	4	4	4	22
O P E R A C I O N	Puesta en marcha	Infraestructura y servicios		-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Empleo y desarrollo económico		1	4	4	1	2	4	4	4	35
	Funcionamiento SUDS y ciclovia	Aire	Calidad del Aire	1	1	4	4	1	1	1	4	22
			Ruido	1	2	4	4	1	1	4	4	28
		Suelo y geomorfología		1	2	1	2	1	1	4	4	20
		Agua	Subterránea	1	4	1	2	1	4	4	1	26
			Superficial	1	4	1	2	1	4	4	4	29
		Cobertura vegetal		1	4	1	2	2	1	4	4	27
		Fauna		1	2	1	2	1	1	1	4	17
		Vialidad		-1	4	4	1	1	1	1	4	-28
		Calidad de vida		1	6	4	2	1	1	4	4	38
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	4	28
		Paisaje		1	2	1	2	2	4	4	4	24
	Gestión de residuos e higiene urbana	Cobertura vegetal		1	2	1	1	1	4	1	2	17
		Calidad de vida		1	2	4	1	1	1	1	2	20
		Infraestructura y servicios		1	2	4	1	1	4	1	2	23
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	2	26
		Paisaje		1	2	1	1	1	4	1	2	17



	Acción de Proyecto	Componente Ambiental	Factor	±	I	Ex	Pe	Rv	Ac	Ef	Pr	IA
D E S A F E C T A C I Ó N	Poda y paisajismo	Cobertura vegetal		1	4	1	1	1	4	4	2	26
		Calidad de vida		1	2	1	1	1	1	1	2	14
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	2	26
		Paisaje		1	2	1	1	1	4	1	2	17
	Sistema de riego	Suelo y geomorfología		1	2	1	1	1	4	4	4	22
		Agua	Subterránea	-1	6	4	1	1	4	4	1	-37
		Cobertura vegetal		1	2	1	1	1	4	4	2	20
		Infraestructura y servicios		-1	2	4	1	1	4	1	4	-25
	Mantenimiento hidráulico	Suelo y geomorfología		1	2	1	1	1	4	4	4	22
		Agua	Superficial	1	2	1	1	1	4	4	4	22
		Calidad de vida		1	2	1	1	1	1	4	4	19
D E S A F E C T A C I Ó N	Desmantelamiento y adecuación del espacio	Aire	Calidad del Aire	-1	2	4	1	1	4	1	1	-22
		Vialidad		-1	2	2	1	1	1	1	4	-18
		Calidad de vida		-1	2	1	1	1	4	1	1	-16
		Paisaje		-1	2	1	1	1	4	1	2	-17
	Monitoreo de cierre	Suelo y geomorfología		1	2	1	1	1	1	4	1	16
		Agua	Subterránea	1	2	1	1	1	1	4	1	16
		Cobertura vegetal		1	2	1	1	1	1	1	1	13
		Calidad de vida		1	2	1	1	1	1	4	4	19
		Empleo y desarrollo económico		1	2	4	1	1	4	4	2	26

PLANOS

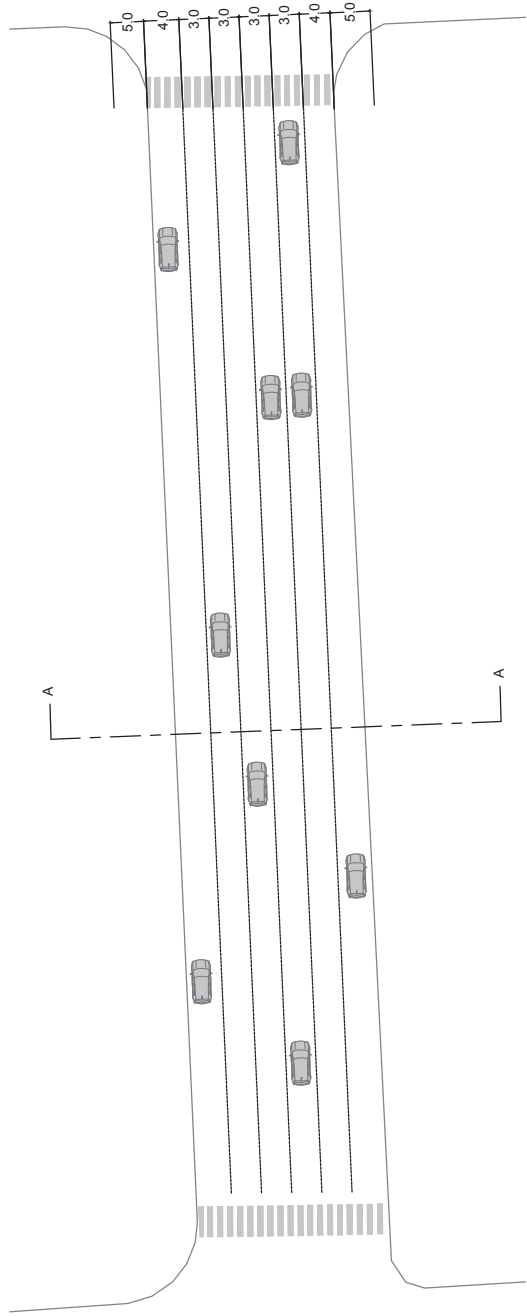


Referencias

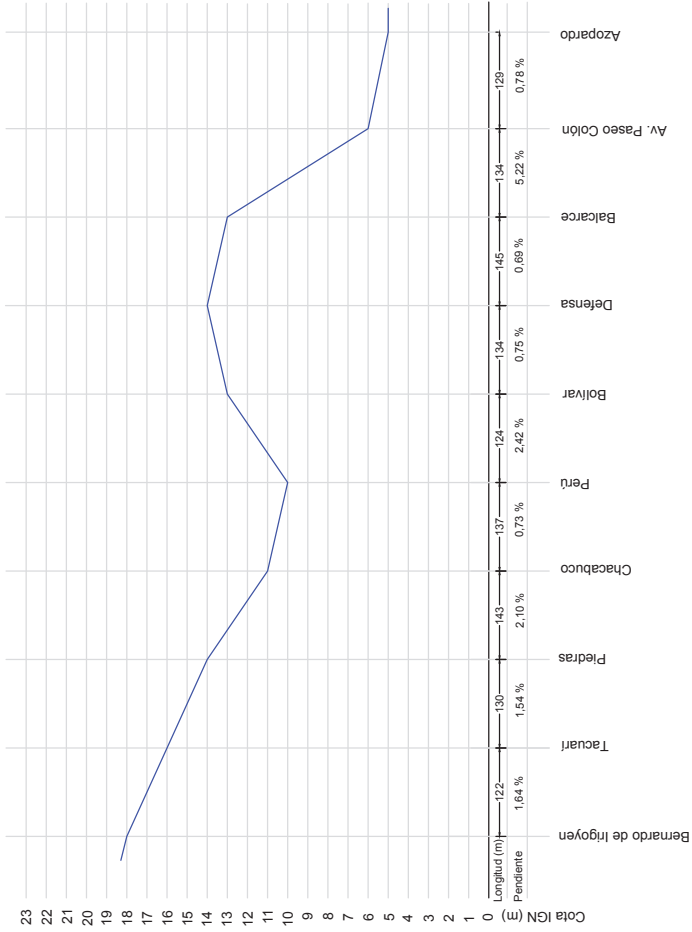
- Espacio verde
- Actividades culturales y deportivas
- Complejos institucionales
- Estacionamiento

Revisó:		07/24		Ing. Zuriga		Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo	 Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad EHPG-UNSAM
Aprobó:		07/24		Ing. Schwanitzky			
Escala:							
1:5000							
Plano N°:							
01						Alumna: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental	
Situación actual Planta - Interferencias							

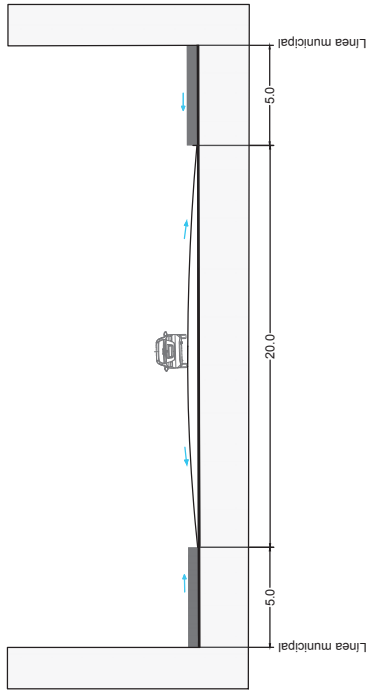
Detalle en planta – Esc. 1:500



Corte B-B Perfil Longitudinal

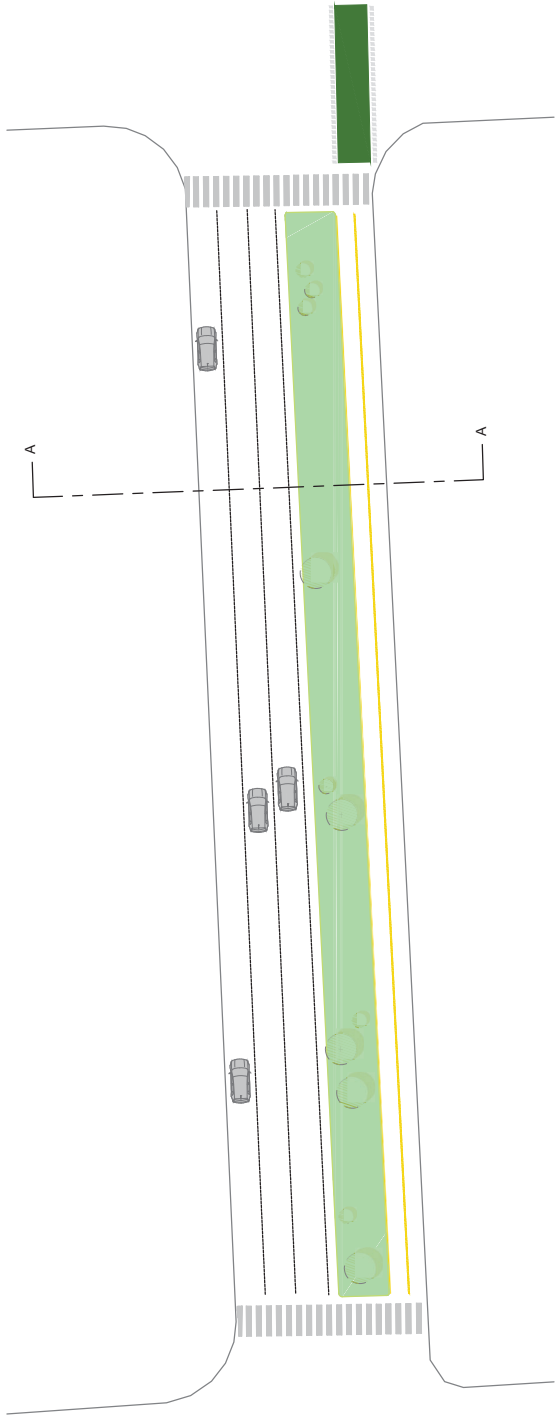


Corte A-A Perfil Transversal – Esc. 1:250

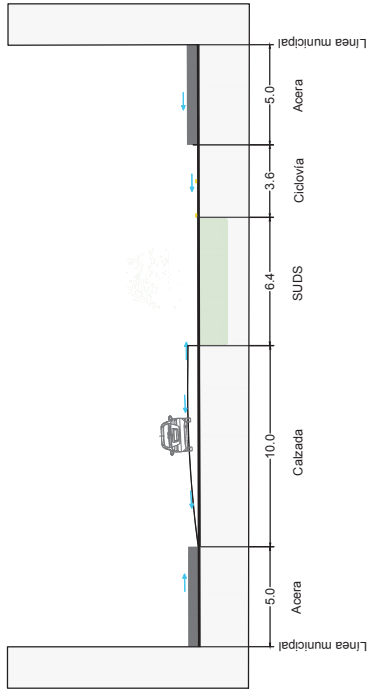


Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo		Escuela de Ingeniería de Sostenibilidad EHSUSINSAM	
Fecha:	Nombre:	Revisó:	Ing. Jorge
07/24	07/24	Aprobó:	Ing. Schenckel
Escala:		Situación actual Perfiles	
Plano N°:		Alumno: Paz Estévez Ercaasi	
02		Carrera: Ingeniería Ambiental	

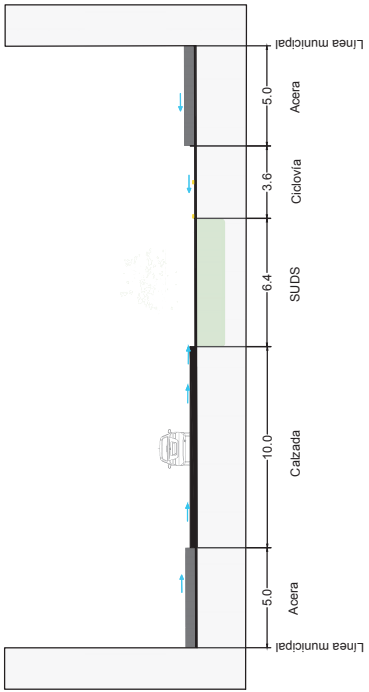
Detalle en planta – Esc. 1:500



Corte A-A pendientes actuales – Esc. 1:250

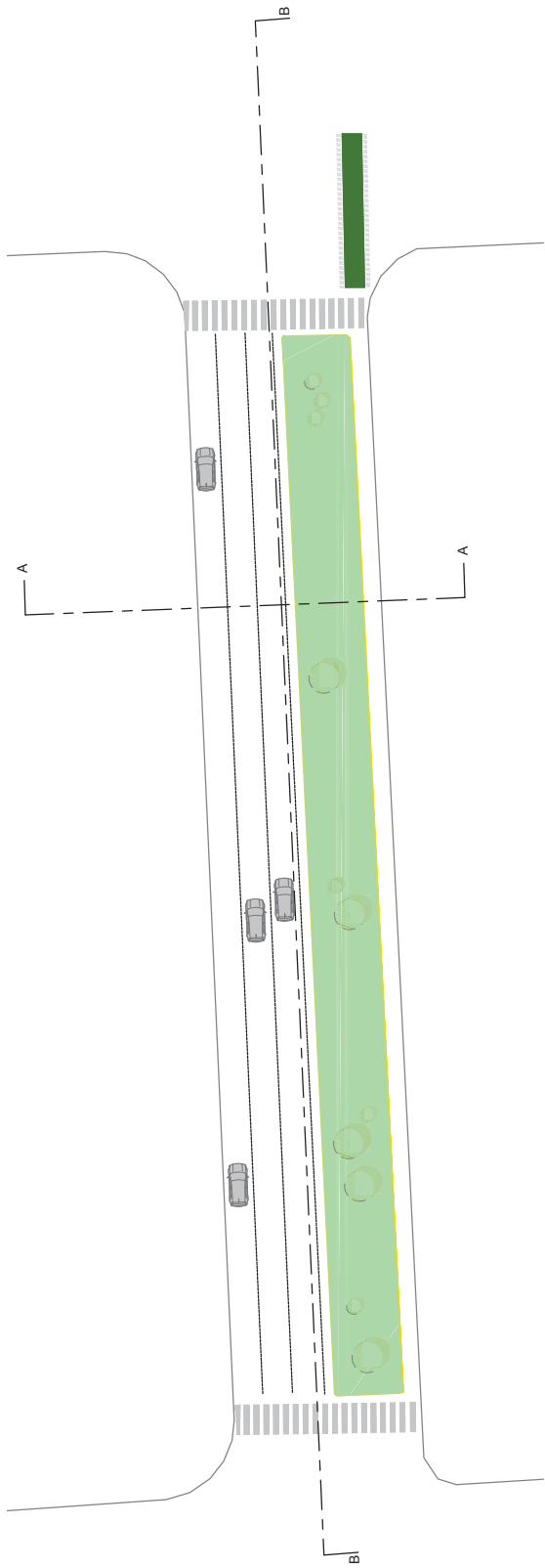


Corte A-A calle de convivencia – Esc. 1:250

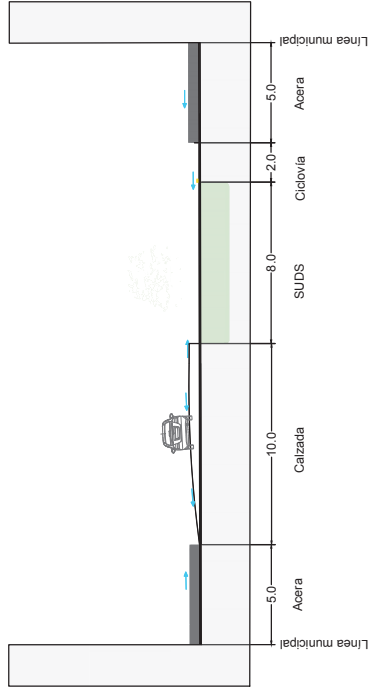


Revisó:		07/24	Ing. Zulma	Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo	 Escuela de Ingeniería de Sostenibilidad EHS-UNSAM	Alumna: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental
Aprobó:		07/24	Ing. Soledad			
Escala:						
Plano N°:		Alternativa A con ciclovía bidireccional				
		03				

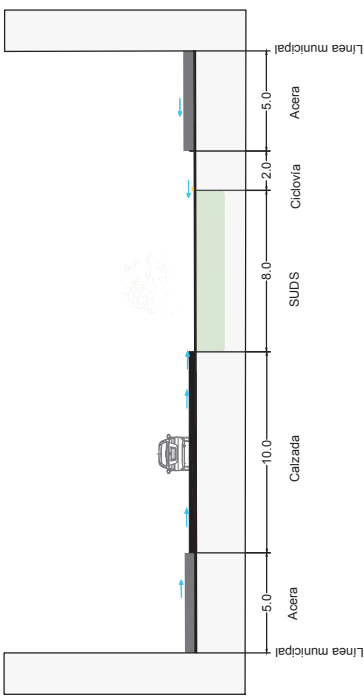
Detalle en planta – Esc. 1:500



Corte A-A pendientes actuales – Esc. 1:250

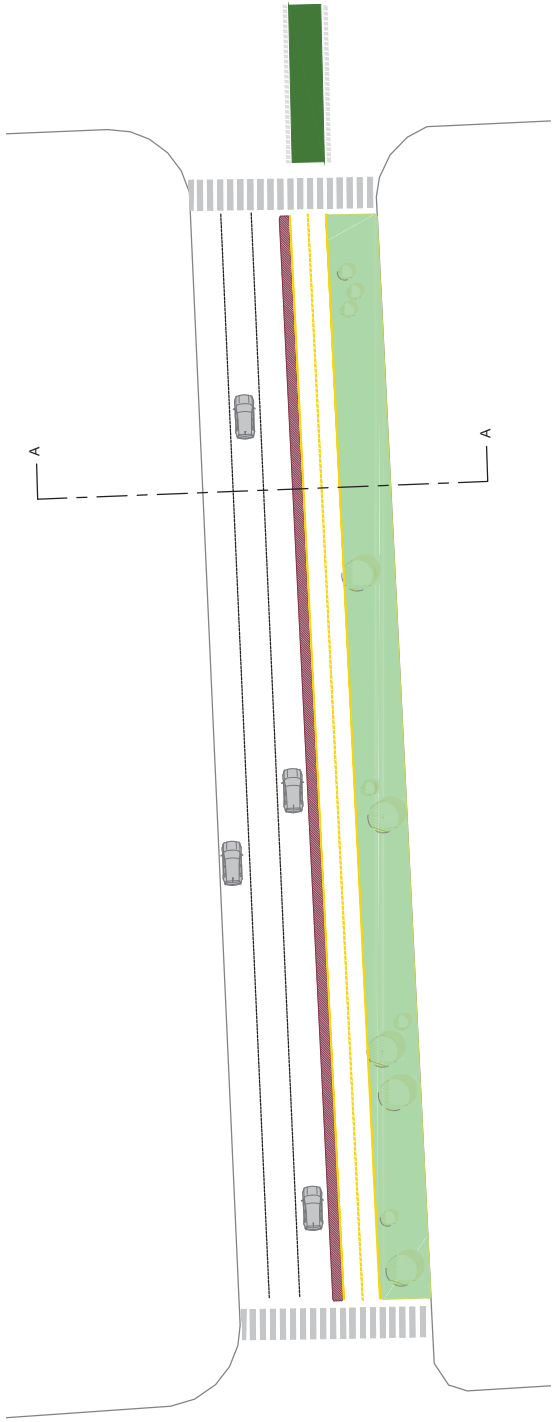


Corte A-A calle de convivencia– Esc. 1:250

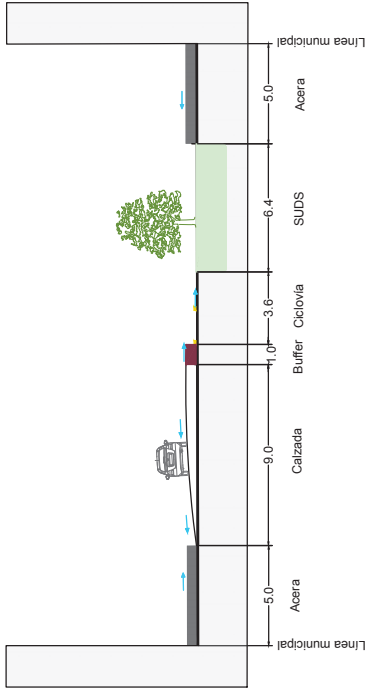


						Alumna: Paz Estévez Ercasi	
						Carrera: Ingeniería Ambiental	
Fecha:Nombre		Nombre del Proyecto:				Alternativa A con ciclovía unidireccional	
Revisó:		SUDS en Av. San Juan San Telmo					
07/24		Ing. Jorge					
Aprobó:		07/24					
Escala:		Ing. Soledad				Plano N°: 04	

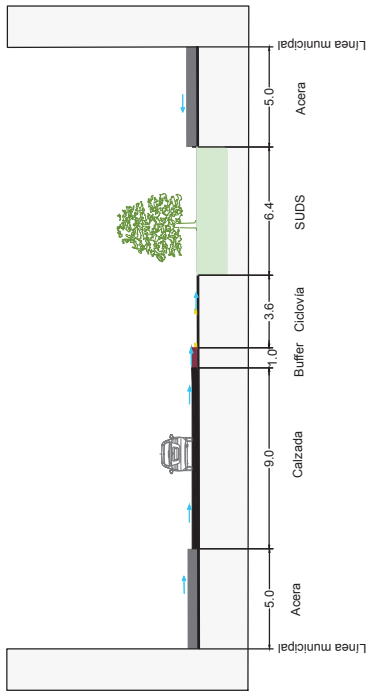
Detalle en planta – Esc. 1:500



Corte A-A pendientes actuales – Esc. 1:250

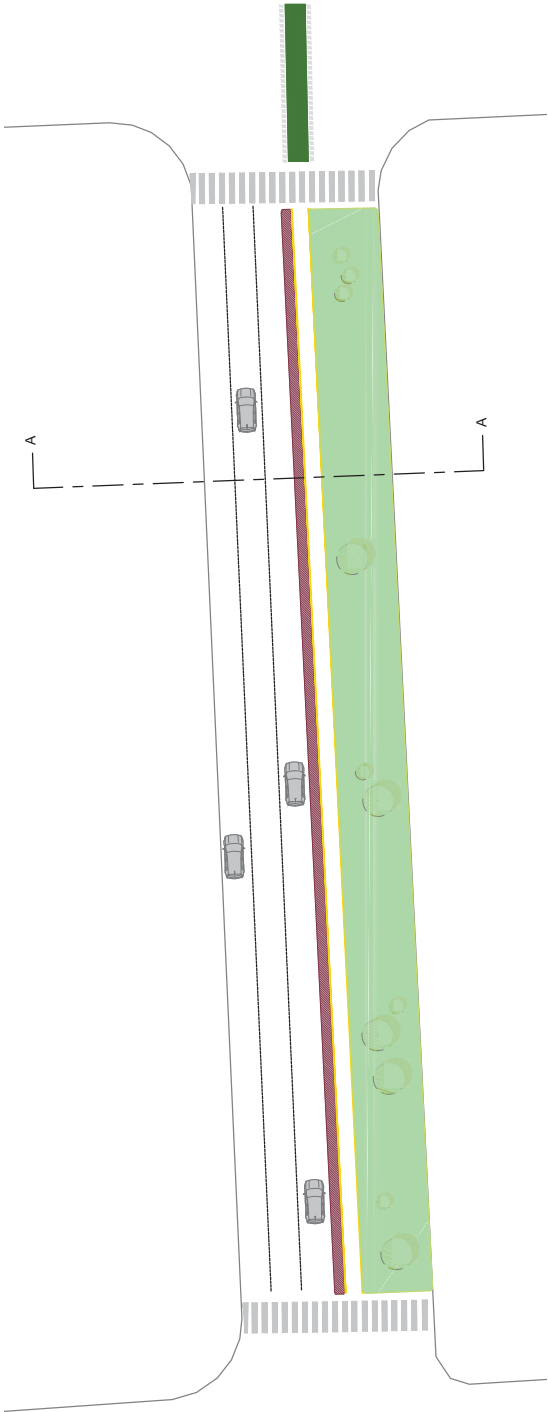


Corte A-A calle de convivencia – Esc. 1:250

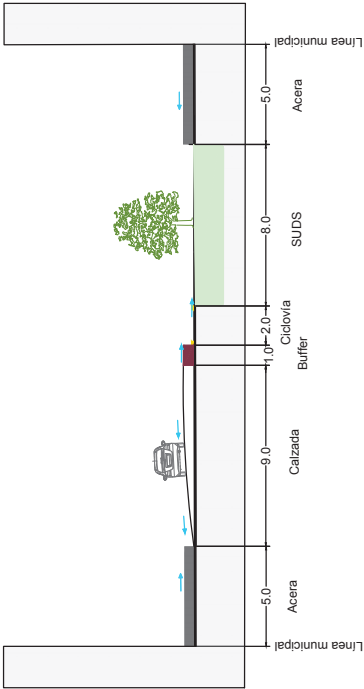


Revisó:		07/24	Ing. Jorge	Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Sostenibilidad EHU-SUNSAM		
Aprobó:		07/24	Ing. Soledad						
Escala:				Alternativa B con ciclovia bidireccional				Alumno: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental	
Plano N°:		05							

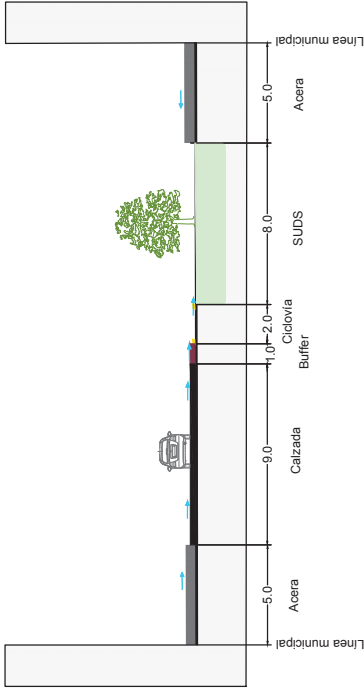
Detalle en planta – Esc. 1:500



Corte A-A pendientes actuales – Esc. 1:250



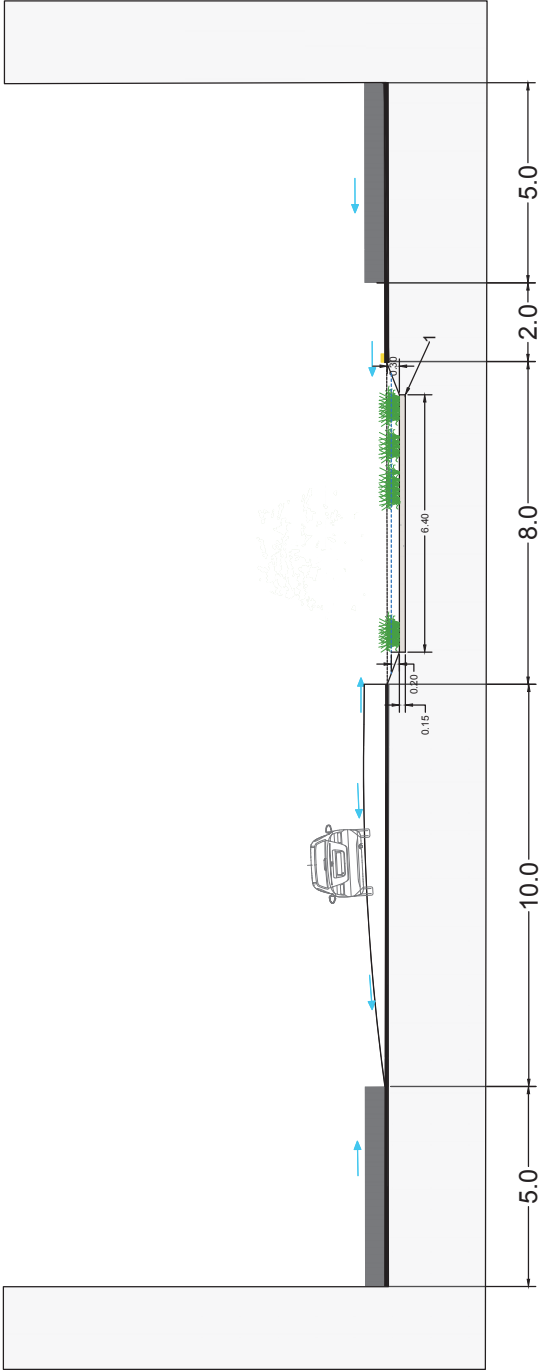
Corte A-A calle de convivencia – Esc. 1:250



Revisó:		07/24	Ing. Zulma	Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo	 Escuela de Ingeniería de Sostenibilidad EHIJUS-UNSAM	Alumna: Paz Estévez Ercasi	Carrera: Ingeniería Ambiental
Aprobó:		07/24	Ing. Soledad				
Escala:							
Plano N°:				Alternativa B		con ciclovía unidireccional	
06							

Corte A-A - Esc. 1:125

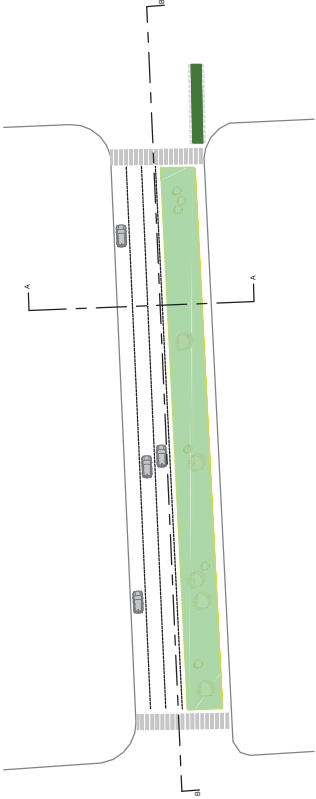
- Referencias
- Línea de encharcamiento
 - Ecurrimiento pluvial
 - 1 Capa superficial



Notas:

1. Capa superficial: compost 25%, suelo existente 40%, arena 15% y marga 20%.
Marga: se trata de un suelo que combina arena, limo y arcilla.

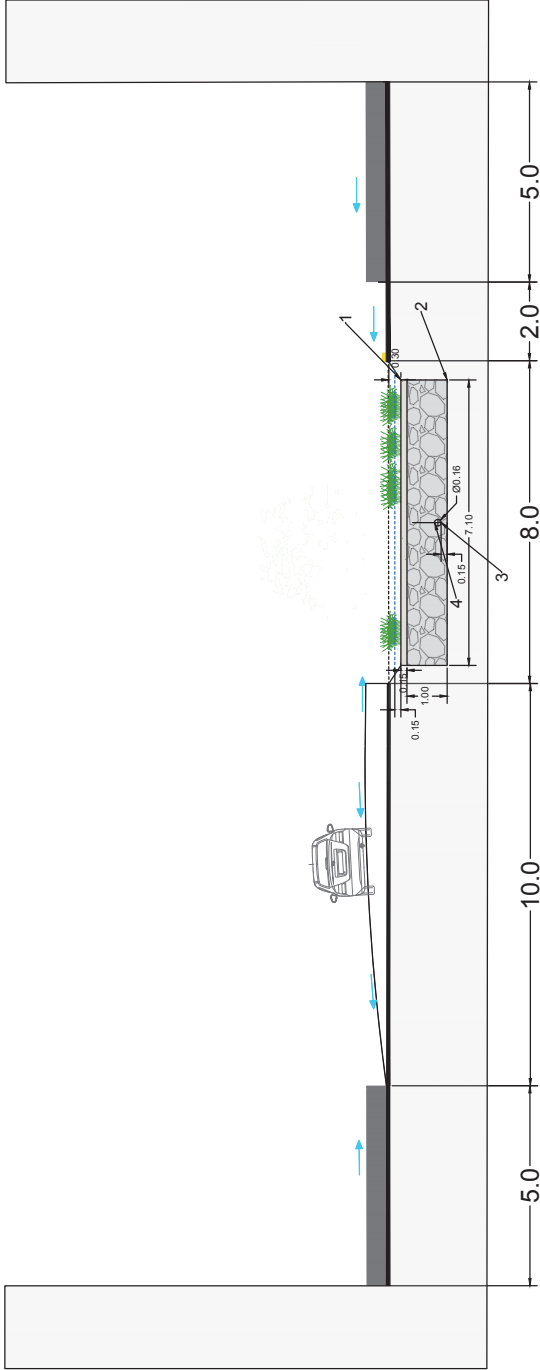
Planta – Esc. 1:1000



Revisó:		07/24	Ing. Zurita	Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo	 Escuela de Ingeniería Sostenible EHUJUNSAM	Alumna: Paz Estévez Ercasi	Carrera: Ingeniería Ambiental
Aprobó:		07/24	Ing. Schenckelberger				
Escalá:							
Plano N°:							
07							

Corte A-A – Esc. 1:125

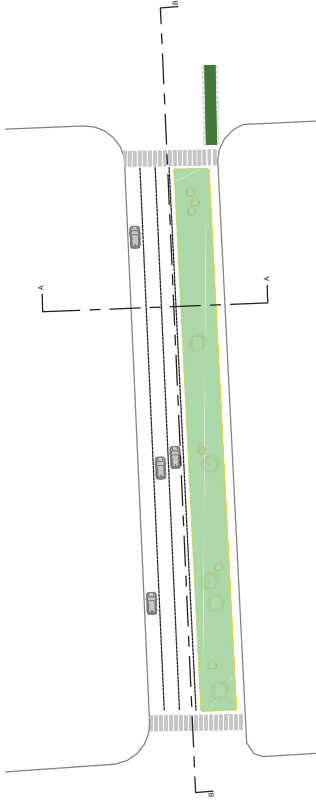
- Referencias
- Línea de encharcamiento
 - Esguerrimiento pluvial
 - 1 Capa superficial
 - 2 Capa de almacenamiento
 - 3 Cañería de drenaje
 - 4 Geodré planar



Notas:

1. Capa superficial: compost 25%, suelo existente 40%, arena 15% y marga 20%.
Marga: se trata de un suelo que combina arena, limo y arcilla.
2. Capa de almacenamiento: grava 100%.
3. Cañería de drenaje: DN 160, 366 canales/m, espesor 12.2 mm, 4 cortes perimetrales, sección de drenaje 105.3 cm²/m.

Vista en planta – Esc. 1:1000

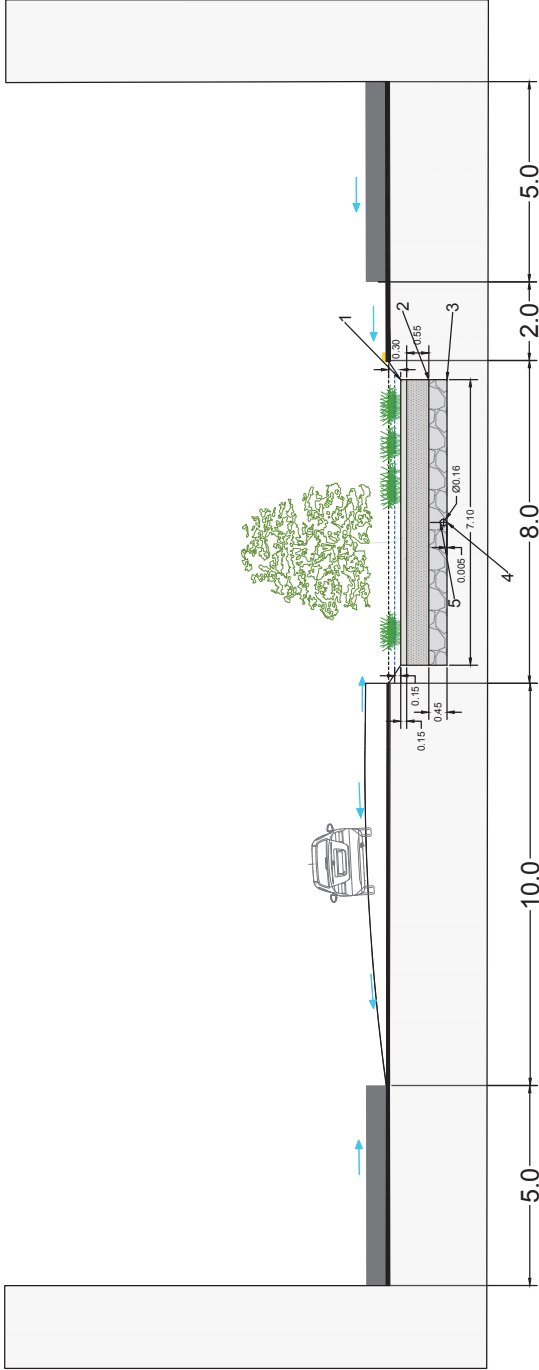


Revisó:	07/24	Ing. Zúñiga	Nombre del Proyecto:	SUDS en Av. San Juan San Telmo	Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad EHUJUNSAM
Aprobó:	07/24	Ing. Schenckelberger			
Escala:					
Plano N°:	08		Alternativa 2		
			Zanja de Infiltración		
					Alumno: Paz Estévez Ercasi
					Carrera: Ingeniería Ambiental

Corte A-A – Esc. 1:125

Referencias

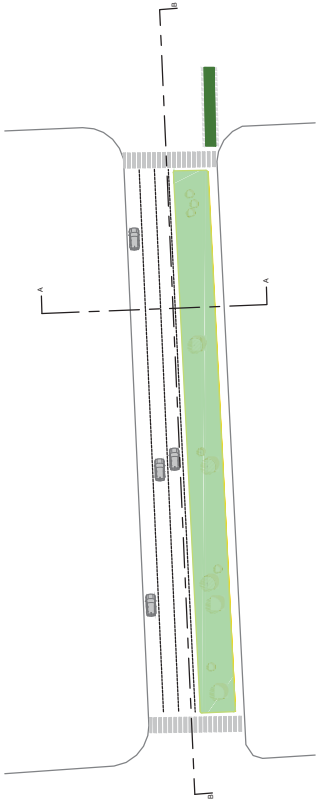
- Línea de encharcamiento
- Escurrimiento pluvial
- 1 Capa superficial
- 2 Capa de suelo
- 3 Capa de almacenamiento
- 4 Cañería de drenaje
- 5 Geodrén planar



Notas:

1. Capa superficial: compost 25%, suelo existente 40%, arena 15% y marga 20%.
2. Capa de suelo seleccionado - tipo marga limosa: limo 35%, marga 60% y arena 5%.
Marga: se trata de un suelo que combina arena, limo y arcilla.
3. Capa de almacenamiento: grava 100%.
4. Cañería de drenaje: DN 160, 366 canales/m, espesor 12.2 mm, 4 cortes perimetrales, sección de drenaje 105.3 cm²/m.

Vista en planta – Esc 1:1000

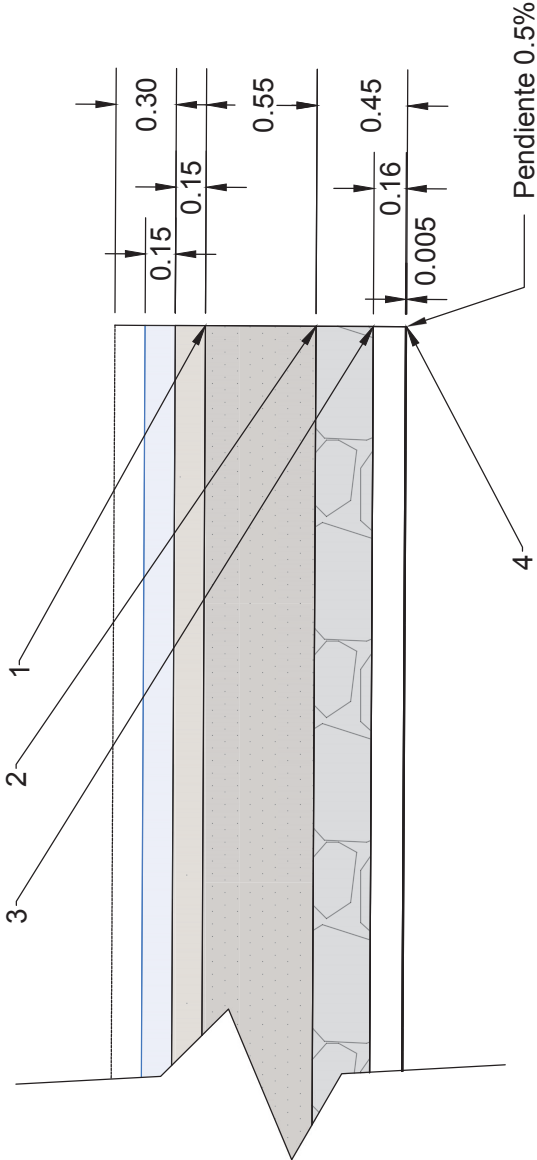


Revisó:	07/24	Ing. Zurita	Fecha	Nombre	Nombre del Proyecto:	Escuela de Ingeniería Sostenibilidad EHU-SUNSAM
Aprobó:	07/24	Ing. Schenckel			SUDS en Av. San Juan San Telmo	
Escala:						
Plano N°:	09				Alternativa 3 Área de Biorretención	Alumna: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental

Corte detalle espesor - Esc. 1:25

Referencias

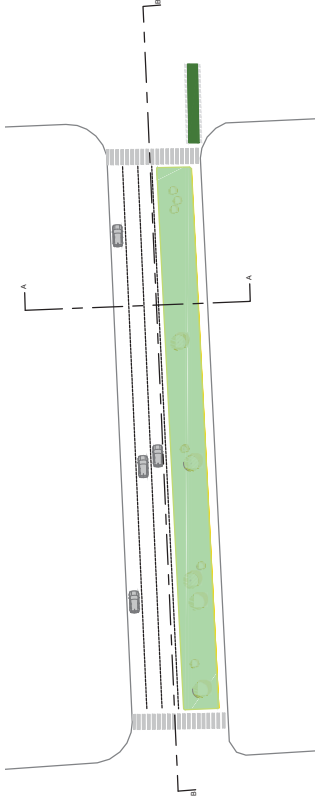
- Nivel de terreno
- Profundidad de encharcamiento
- 1 Capa superficial
- 2 Capa de suelo
- 3 Capa de almacenamiento
- 4 Cañería de drenaje



Notas:

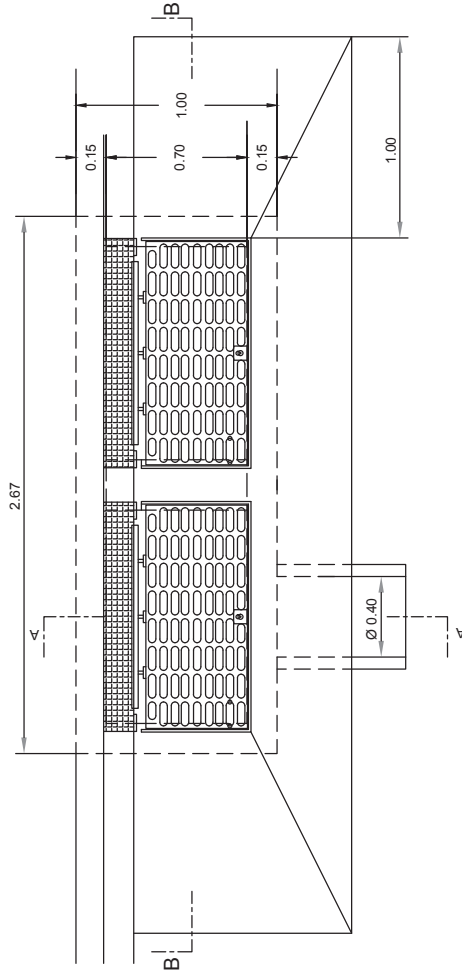
- 1. Capa superficial: compost 25%, suelo existente 40%, arena 15% y marga 20%.
- 2. Capa de suelo seleccionado - tipo marga limosa: limo 35%, marga 60% y arena 5%. Marga: se trata de un suelo que combina arena, limo y arcilla.
- 3. Capa de almacenamiento: grava 100%.
- 4. Cañería de drenaje: DN 160, 366 canales/m, espesor 12.2 mm, 4 cortes perimetrales, sección de drenaje 105.3 cm²/m.

Vista en planta – Esc. 1:1000

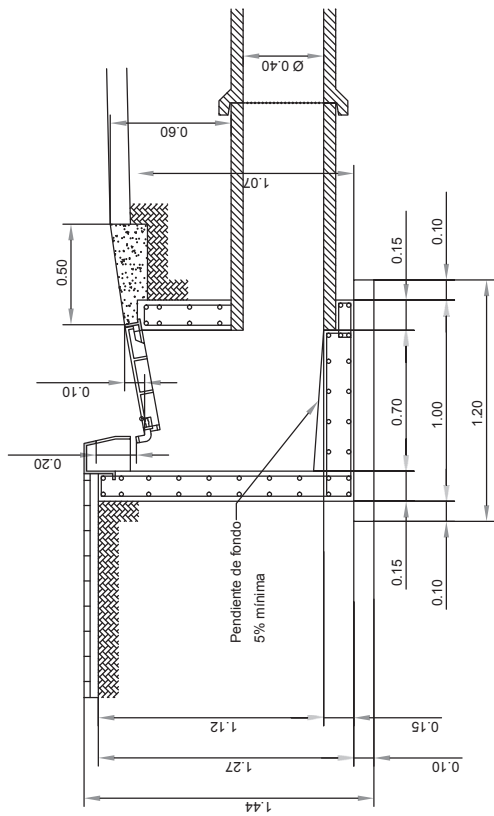


Fecha	Nombre	Nombre del Proyecto:	
Revisó:	07/24	SUDS en Av. San Juan San Telmo	
Aprobó:	07/24	Ing. Soledad López	
Escala:		Alternativa 3	
Área de Biorretención			Alumna:
Perfil Longitudinal			Paz Estévez Ercasi
10			Carrera:
			Ingeniería Ambiental

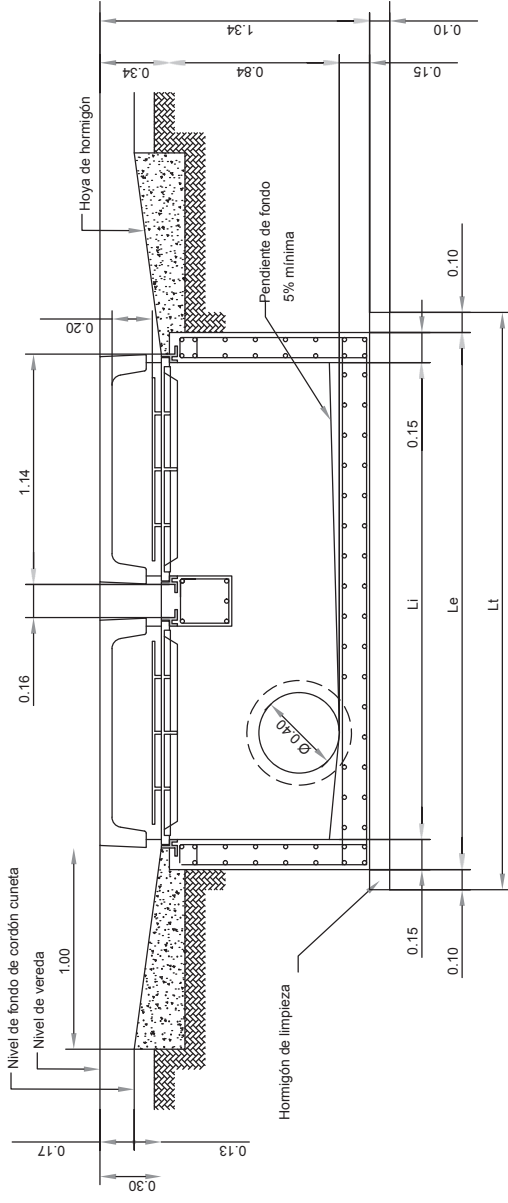
Planta



Corte B-B

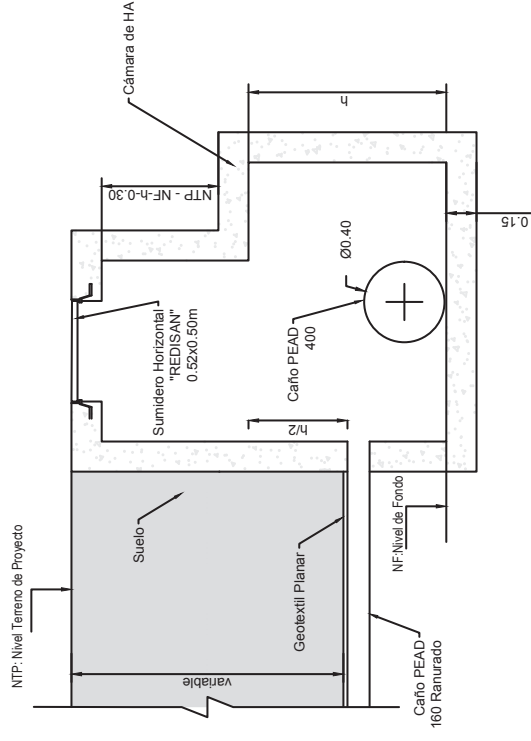


Corte A-A



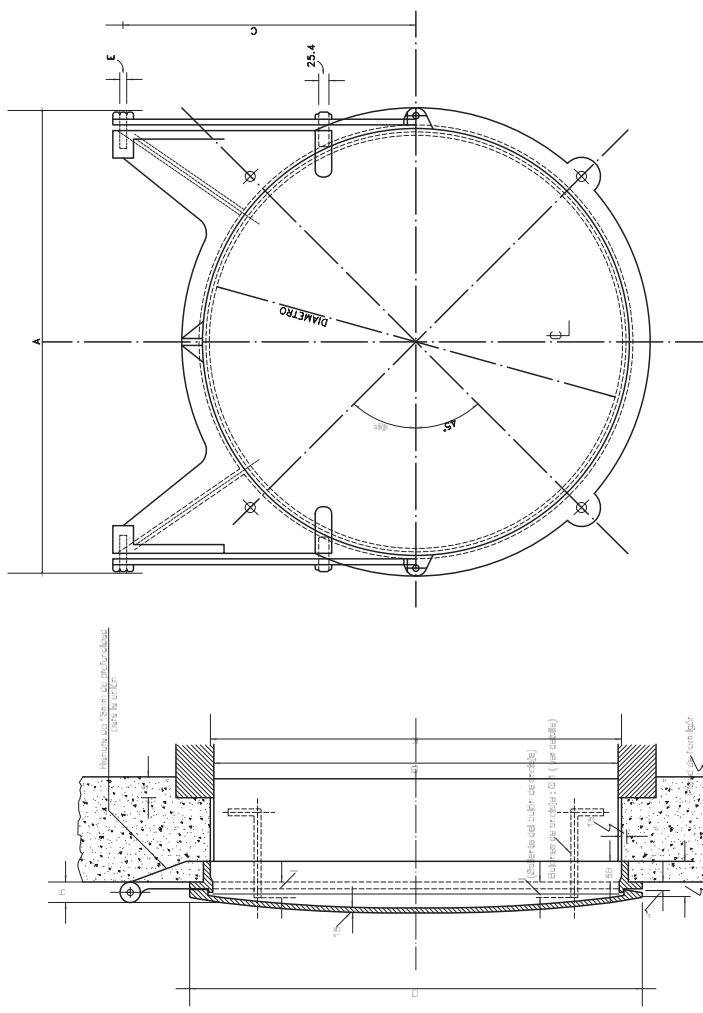
Revisó:	Ing. Jorge	Nombre del Proyecto:	SUDS en Av. San Juan San Telmo		Alumno: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental
Aprobó:	Ing. Scherzinger	Fecha/Nombre:	07/24		
Escala:	1:25	Plano N°:	12		

Corte A-A

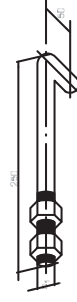


Fecha/Nombre		Nombre del Proyecto:		Escuela de Habitat y Sostenibilidad EHYS-UNSAM	Alumna: Paz Estévez Ercasi	Correa: Ingeniería Ambiental
Revisó:	07/24	Fig. 2.0.4(a)	SUDS en Av. San Juan San Telmo			
Aprobó:	07/24	Fig. 2.0.4(b)	Cámara tipo interna			
Escalón:						
1:25			Plano N°: 13			
Escalón:						

Detalle clapeta tipo - Ø variable – Esc. 1:10



DETALLE DE BULÓN DE ANCLAJE



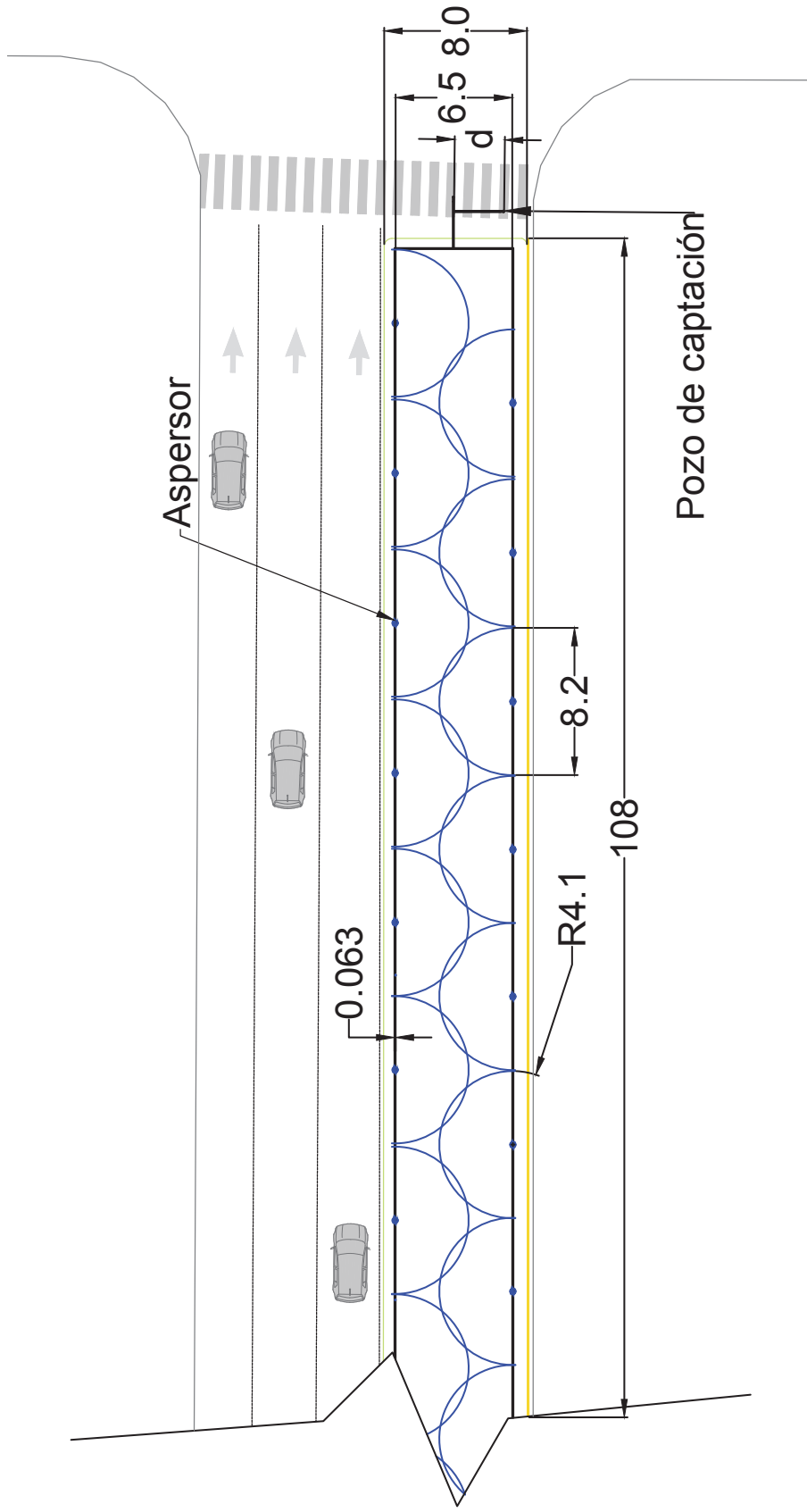
		C		
		(8)	(10)	
A	75	52	53	
B	50	64	64	
C	46	57	70	
D	85	53	52	
E	44	55	54	
F	90	58	58	

		C		
		(8)	(10)	
J	34	44	44	
K	39	42	56	
L	39	44	44	
M	45	47	50	
N	43	43	43	
O	37	36	36	
P	37	36	36	

	Σ		
	800	800	1000
G	14	14	15
H	39	42	56
I	39	44	44
J	16	17	20
Q1	15.5	15.4	16.1
K	31.5	33.6	1026

1.- Midenfalés, n.º 103, brazo de sonder de hierro fundido, Puntas de articulación, ardoite y sujeción, de acero inoxidable.

3- Este plano es suscrito del n° 17.094 de "ARMCU ARGENTINA S.A".



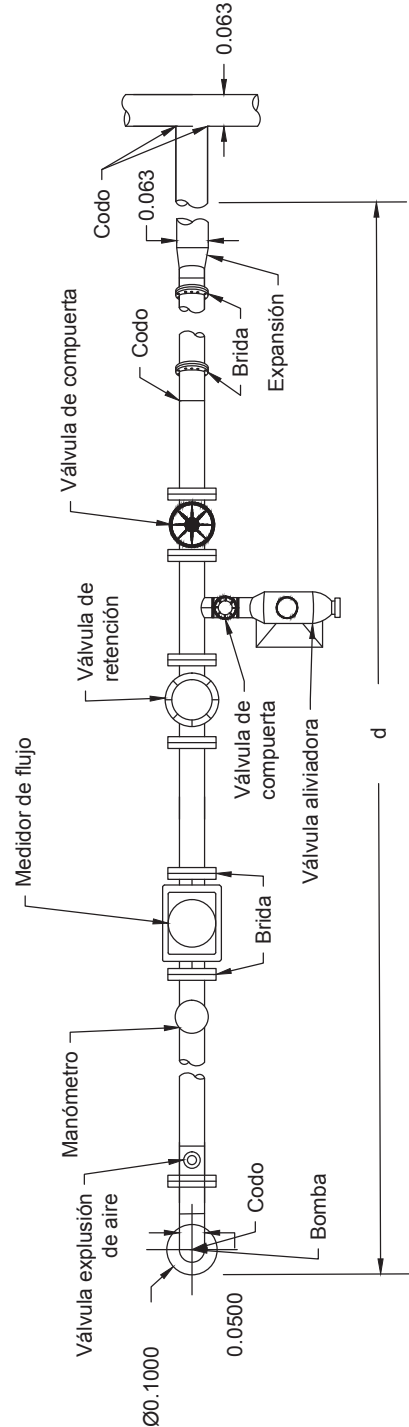
Notas:

1. Aspersor MP Rotator Modelo MP 1000 - 180°
2. Cantidad de aspersores por cuadra: 26 a 30

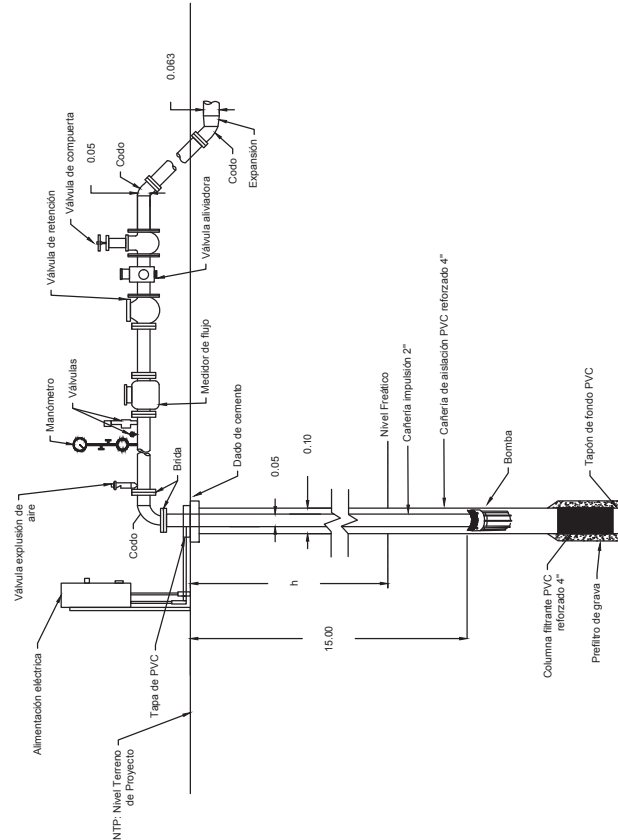
MP 1000 - 180°	
Presión (bar)	2.8000
H presión (m)	28.6000
Radio (m)	4.1000
Q (m3/h)	0.1000
Q (l/min)	1.5900
Pluv (mm/h)	11

		Nombre del Proyecto: SUDS en Av. San Juan San Telmo		 Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad EHUJUNSAM
Fecha/Nombre				
Revisó:		07/24	Ing. Jorge	
Aprobó:		07/24	Ing. Soledad	
Escala:		1:250		
Plano N°:		Sistema de riego Cuadra tipo		
15		Alumna: Paz Estévez Ercasi Carrera: Ingeniería Ambiental		

Planta – Esc. 1:10



Corte – Esc. 1:20



Notas:

1. Electrobomba sumergible 4" 2 HP
MOTOARG MOD. BSI 412/2 6.15 m3/h a
50 mca

Fecha:Nombre		Nombre del Proyecto:	
Revisó:	07/24 Ing. Zorba	SUDS en Av. San Juan San Telmo	
Aprobó:	07/24 Ing. Sarmiento		
Escala:		Pozo de captación	Alumna: Paz Estévez Ercasi
Plano N°:			Carrera: Ingeniería Ambiental
16			