

RECOMENDACIONES BÁSICAS

DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN NAVARRA



ÍNDICE

CRÉDITOS	6
DRENAJE SOSTENIBLE PARA SEGUIR MEJORANDO EN LA GESTIÓN DEL AGUA.	7
1. PRESENTACIÓN.	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. Qué se quiere lograr.	10
2.2. Ámbito de aplicación	10
2.3. A quién va dirigida	10
2.4. Cómo interpretar la información	10
3. MARCO REGULATORIO DE REFERENCIA	11
3.1. Nivel europeo	11
3.2. Normativa nacional	11
3.3. Normativa foral	12
3.4. Normativa local	13
4. INTRODUCCIÓN AL DRENAJE SOSTENIBLE	14
4.1. Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)	14
4.2. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	15
4.2.1. Filosofía de los SUDS.	15
4.2.2. Tren de tratamiento	16
4.3. Los SUDS en España	17
5. DESCRIPCIÓN DE LOS SUDS	18
5.1. Medidas estructurales y no estructurales	18
5.2. Principales tipos de SUDS estructurales	18
5.2.1. Aljibes	18
5.2.2. Cubiertas vegetadas	19
5.2.3. Pavimentos permeables	21
5.2.4. Alcorques estructurales	22
5.2.5. Parterres inundables	23
5.2.6. Zanjas y pozos de infiltración	24
5.2.7. Depósitos reticulares	24
5.2.8. Drenes filtrantes	25
5.2.9. Franjas filtrantes	26

5.2.10. Cunetas vegetadas	27
5.2.11. Balsa de detención y/o infiltración	28
5.2.12. Humedales artificiales y estanques	29
6. PARÁMETROS PLUVIOMÉTRICOS	
PARA EL DISEÑO DE SUDS EN NAVARRA	30
6.1. Análisis regional	31
6.2. Valores de diseño para eventos extremos	32
6.3. Valores de diseño basadas en percentiles volumétricos	35
7. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE SUDS	36
7.1. Estrategia de implementación de SUDS	36
7.1.1. Tipo de proyectos	36
7.1.2. Medio receptor	37
7.2. Condicionantes de diseño	38
7.2.1. Tipo de unidad urbana	38
7.2.2. Planteamientos en nuevos desarrollos	56
7.2.3. Oportunidades didácticas en el planteamiento de SUDS	57
7.3. Criterios para la elección de SUDS	59
7.3.1. Funciones de los SUDS	59
7.3.2. Otros criterios	60
7.4. Criterios para el dimensionamiento de SUDS	60
7.4.1. Criterios de tratamiento de la escorrentía	60
7.4.2. Criterios de reducción del volumen de escorrentía	62
7.4.3. Criterios de control de caudales	63
7.5. Dimensionamiento	63
7.5.1. Pluviometría	64
7.5.2. Características de la cuenca	64
7.5.3. Geología del terreno	64
7.5.4. Calidad de la escorrentía	65
7.5.5. Definición geométrica	65
7.5.6. Tiempo de vaciado	66
7.5.7. Dimensionamiento de vertederos	67
7.6. Ejemplo de cálculo	67
7.7. Selección de la vegetación	69

8. LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO Y LA MONITORIZACIÓN.	70
8.1. Introducción al mantenimiento	70
8.2. Plan de mantenimiento.	72
8.2.1. Qué –Tareas a realizar	72
8.2.2. Cómo – Realización de las tareas	73
8.2.3. Cuándo – Periodicidad del mantenimiento.	74
8.2.4. Quién – Personal responsable	74

9. PROTOTIPO DE SUDS EN EL APARCAMIENTO DE LA UPNA (TUDELA)	76
--	-----------

10. BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA	80
10.1. Normativa y regulación	80
10.2. Manuales de referencia para el diseño y mantenimiento de SUDS	81
10.3. Publicaciones en prensa	81
10.4. Otras referencias	82

ANEJO I. Jardinería	84
--------------------------------------	-----------

ANEJO II. Prototipo de Sistema Urbano de Drenaje	
Sostenible (SUDS) instalado en el aparcamiento de la UPNA (Tudela).	106

ANEJO III. Relación entre municipios de Navarra	
y la zonificación climática	120

Índice de tablas

Tabla 1. Estaciones automáticas seleccionadas como representativas de cada comarca.	32
Tabla 2. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica Doneztebe-Santesteban GN (Navarra).	33
Tabla 3. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Isaba (Navarra).	33
Tabla 4. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Pamplona GN (Navarra).	33
Tabla 5. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Tafalla GN (Navarra).	33
Tabla 6. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Estella GN (Navarra).	34
Tabla 7. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Sartaguda GN (Navarra).	34
Tabla 8. Intensidad de lluvia simulada (en mm/h) para diferentes duraciones de tormenta y distintos periodos de retorno, en la estación meteorológica de Tudela, Montes del Cierzo (Navarra).	34
Tabla 9. Percentiles de diseño para las diferentes regiones consideradas en el estudio.	35
Tabla 10. SUDS recomendados para urbanización densa.	40
Tabla 11. SUDS recomendados para edificación abierta.	42
Tabla 12. Tipología de SUDS recomendados para casas unifamiliares.	44
Tabla 13. Tipología de SUDS recomendados para zonas industriales.	46
Tabla 14. Tipología de SUDS recomendados para el sector terciario.	48
Tabla 15. Tipología de SUDS recomendados para calles.	50
Tabla 16. SUDS recomendados para aparcamientos.	52
Tabla 17. SUDS recomendados para parques y zonas verdes.	54
Tabla 18. Relación entre tipología de SUDS y tipo de unidad urbana.	55
Tabla 19. Funciones asociadas a cada tipología de SUDS. Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el Término Municipal de Castelló de la Plana.	59
Tabla 20. Índices de peligrosidad según áreas de zonas urbanizadas Fuente: Guía básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València.	61
Tabla 21. Índices de mitigación para las principales técnicas SUDS. Fuente: Guía básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València.	62
Tabla 22. Criterio volumétrico de acuerdo a la tipología urbana, para oportunidades de regeneración y actuaciones puntuales.	62
Tabla 23. Valor del coeficiente de escorrentía por zonas. Fuente: Guía de Prescripciones Técnicas de Drenaje del Ayuntamiento de Barcelona (adaptación).	64
Tabla 24. Datos de partida del aparcamiento del Centro Termolúdico Cascante.	68
Tabla 25. Cálculos para la instalación de un parterre inundable en el aparcamiento del Centro Termolúdico Cascante.	68
Tabla 26. Ejemplo de tareas asociadas al mantenimiento de un parterre inundable. Fuente: Guía SUDS Castellón	73

Índice de figuras

Figura 1. Pilares de diseño y de los beneficios de los SUDS. Fuente: Adaptado de CIRIA, 2015.	15
Figura 2. Tren de tratamiento formada por pavimentos permeables, cunetas vegetadas y balsas de laminación infiltración en Ardler, Dundee (Escocia). Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 3. Aljibe en el Centro Social de Benaguasil (Valencia).	19
Figura 4. Cubierta vegetada sobre un tanque de laminación en Eugi (Navarra).	20
Figura 5. Pavimento permeable en Av. Pamplona, Echavacoiz Norte (Navarra).	21
Figura 6. Alcorques estructurales en el barrio de Bon Pastor, Barcelona.	22
Figura 7. Parterre inundable en la calle Raimundo Fernández Villaverde, Madrid.	23
Figura 8. Zanja de infiltración en Riba-roja de Túria (Valencia).	24
Figura 9. Depósito reticular instalado en Guerendiain (Navarra).	25
Figura 10. Dren filtrante en la zona verde de la sede del BBVA, Madrid.	26

Figura 11. Franja filtrante en Leicester (Reino Unido).	.26
Figura 12. Cuneta vegetada en Dundee (Escocia).	.27
Figura 13. Balsa de detención multifuncional. Water Square en Benthemplein, Rotterdam (Países Bajos). Fuente: Ossip van Duivenbode, De Urbanisten.	.28
Figura 14. Estanque de laminación de pluviales de la Ciudad Agroalimentaria de Tudela (Navarra).	.29
Figura 15. Distribución de las series pluviométricas por regiones.	.31
Figura 16. Estaciones automáticas seleccionadas como representativas de cada comarca.	.32
Figura 17. Estaciones manuales seleccionadas como representativas de cada comarca.	.35
Figura 18. Cómo reproducir el sistema de drenaje natural tras un desarrollo. Fuente: NHBC, 2010.	.37
Figura 19. Prioridad de gestión de la escorrentía.	.37
Figura 20. Ejemplos de urbanización densa en Navarra. Fuente: Google Maps.	.39
Figura 21. Ejemplo de incorporación de SUDS en zonas de urbanización densa.	.40
Figura 22. Ejemplo de edificación abierta en Navarra. Fuente: Google Maps.	.41
Figura 23. Ejemplos de implementación de SUDS en edificación abierta.	.42
Figura 24. Ejemplos de zonas con casas unifamiliares en Navarra.	.43
Figura 25. Ejemplos de implementación de SUDS en casas unifamiliares.	.44
Figura 26. Ejemplos de zonas industriales en Navarra. Fuente: Google Maps.	.45
Figura 27. Ejemplos de incorporación de SUDS en zonas industriales.	.46
Figura 28. Ejemplo de sector terciario en Navarra. Fuente: Google Maps.	.47
Figura 29. Ejemplo de incorporación de SUDS en el sector terciario.	.48
Figura 30. Ejemplo de red viaria en Navarra. Fuente: Google Maps.	.49
Figura 31. Ejemplos de implementación de SUDS en calles.	.49-50
Figura 32. Aparcamientos en diferentes zonas de Navarra. Fuente: Google Maps.	.51
Figura 33. Ejemplos de implementación de SUDS en aparcamientos.	.51-52
Figura 34. Ejemplos de parques y zonas verdes en Navarra.	.53
Figura 35. Ejemplos de implementación de SUDS en parques y zonas verdes.	.54
Figura 36. Integración de SUDS en nuevos desarrollos: jardín de lluvia (izquierda) y cuneta vegetada (derecha). Leicester (Reino Unido).	.56
Figura 37. Integración de SUDS en nuevos desarrollos: represa de madera en cuneta vegetada (izquierda) y balsa de infiltración (derecha). Leicester (Reino Unido).	.57
Figura 38. Distribución de los diferentes elementos en la zona verde. C/ Alfonso XIII, Madrid.	.58
Figura 39. Cartelería que explica el funcionamiento de una zanja drenante. C/ Alfonso XIII, Madrid.	.58
Figura 40. Pasos a seguir para el dimensionamiento de SUDS. Fuente: Guía de Prescripciones Técnicas de Drenaje del Ayuntamiento de Barcelona (adaptación).	.63
Figura 41. Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad. Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos. Fuente: Ayuntamiento de Madrid.	.65
Figura 42. Propuesta de drenaje sobre una zona de aparcamiento en sector terciario, Cascante (Navarra). Fuente: Google Maps.	.69
Figura 43. Ejemplo de falta de consideración del mantenimiento en fase de diseño de los SUDS, Dundee (Escocia).	.70-71
Figura 44. Ejemplo de adoquín permeable bien mantenido, Dundee (Escocia).	.71
Figura 45. Ejemplos de ubicaciones con distintas necesidades de mantenimiento debido a su valor estético.	.72-73
Figura 46. Ejemplos de mal mantenimiento. Fuente: San Mateo Countywide Water Prevention Program 2020.	.74
Figura 47. Ejemplos de tareas de mantenimiento llevadas a cabo por profesionales de distintos ámbitos y formaciones. Fuente: Izquierda: Propia. Derecha: San Mateo Countywide Water Pollution Prevention Program 2020.	.75
Figura 48. Áreas drenadas de los SUDS de Tudela (Navarra).	.77
Figura 49. Imágenes de los SUDS realizados en el Aparcamiento de la UPNA, Tudela (Navarra).	.77-78
Figura 50. Pluviómetro y medidor de nivel.	.79

CRÉDITOS

Febrero 2023

PROYECTO EUROPEO

Este documento corresponde al resultado de la actividad de la acción C2.3 de drenaje sostenible urbano del proyecto LIFE-IP NAdapta-CC (LIFE 16 IPC/ES/000001), "Hacia una implementación completa, coherente e integrada de la política de adaptación al cambio climático en la región de Navarra - Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of Climate Change Adaptation policy in a region: Navarre". Este proyecto pertenece a la categoría de proyectos LIFE integrados - LIFE Integrated Projects, y está ejecutado con la contribución financiera del programa LIFE de la Unión Europea.

EDICIÓN, COORDINACIÓN Y MAQUETACIÓN NILSA

Gregorio Berrozpe Ullate.
Director de Proyectos y Obras.

Dr. Jairo Gómez Muñoz.
Técnico de Operación y Mantenimiento. Responsable proyectos I+D+i.

Itsaso Ilzarbe Senosiain.
Técnica de I+D+i.

REDACCIÓN Y DISEÑO GREEN BLUE MANAGEMENT S.L.

Sara Perales Momparler.
Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

Alberto Gay Garrigues.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

COLABORACIÓN UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (UPNA)

Dr. José Javier López Rodríguez.
Catedrático de Universidad de Ingeniería Hidráulica.

Dr. Mikel Goñi Garatea.
Profesor Contratado Doctor de Expresión Gráfica en la Ingeniería.

COLABORACIÓN AHORA CLIMA S.L.

Mikel Baztán.
Responsable de Proyectos.

DRENAJE SOSTENIBLE PARA SEGUIR MEJORANDO EN LA GESTIÓN DEL AGUA



BERNARDO CIRIZA PÉREZ
Consejero de Cohesión Territorial
del Gobierno de Navarra

Si el agua es vida, la correcta gestión del agua es vital. Especialmente en el contexto de cambio climático que vivimos y que debemos afrontar para lograr un desarrollo sostenible de nuestra tierra en particular y de todo el planeta en general.

El Gobierno de Navarra, a través del Departamento de Cohesión Territorial y mediante la empresa pública NILSA, trabaja para la optimización de la gestión del ciclo hídrico desde diversas acciones. Una de estas áreas estratégicas se corresponde con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Los SUDS son sistemas que imitan el modelo de la naturaleza: el agua de lluvia se gestiona a través de mecanismos de retención y filtración para conseguir que se infiltre en el suelo allí donde cae, sin ser canalizada de forma artificial. De esta forma se logra un triple objetivo: proteger a los núcleos urbanos frente a las inundaciones, reducir la contaminación en los ríos y apuntalar una gestión más eficiente.

Por otra parte, el drenaje sostenible refuerza las zonas verdes, que mejoran la calidad de vida de la ciudadanía, así como la habitabilidad de los núcleos de población. De esta manera se imbrica la solución técnica, la calidad de vida y la sostenibilidad medioambiental.

Confío en que esta práctica se pueda extender paulatinamente por toda Navarra, como me consta que ya está sucediendo en numerosas localidades, hasta llegar a constituir un paradigma habitual y contemporáneo para canalizar las aguas de lluvia. El esfuerzo redundará en una poderosa herramienta para mitigar los efectos del cambio climático y gestionar de una forma más óptima y eficiente un bien tan preciado como el agua.

Finalmente es importante poner en valor que Navarra es la primera región de la Unión Europea en contar con un proyecto de adaptación al cambio climático. El proyecto LIFE NADAPTA (LIFE16 IPC/ES/000001 - LIFE-IP NAdapta-CC), con una vigencia de 8 años, de 2017 a 2025, cuenta con 15,6 millones de euros de financiación para acciones en infraestructuras, masas de agua, agricultura y ganadería, bosques y salud. Dentro de este programa se enmarcan las acciones implementadas por NILSA en materia de drenaje sostenible. Esta guía recoge buenas prácticas al respecto y casos de éxito.

1

PRESENTACIÓN

A lo largo del tiempo, el diseño de los sistemas de drenaje ha sido una tarea que, habitualmente, se ha limitado a la captación y transporte de la escorrentía, de la forma más rápida posible, para evitar inundaciones. Con el aumento de la trama urbana, las dimensiones de los colectores se vuelven cada vez más grandes, debido al aumento de la superficie impermeable que provoca que los volúmenes de escorrentías y los caudales pico asociados a estas, se vayan incrementando.

Del mismo modo, estos grandes caudales que terminan llegando a los colectores de redes unitarias son inabordables para las plantas de tratamiento, resultando en Descargas del Sistema Unitario (DSUs) al medio receptor y causando problemas de contaminación.

Complementariamente, el cambio global se ha convertido a lo largo de las últimas décadas, en el mayor reto ambiental al que se enfrenta la humanidad. En líneas generales, los estudios de variabilidad climática realizados en el marco de LIFE-IP NAdapta-CC, permiten deducir para Navarra un futuro con una tendencia positiva en las temperaturas medias (más acusado en la Zona Media), y un progresivo descenso medio en cuanto a precipitaciones, pero también todos los escenarios apuntan a un incremento de los fenómenos extremos, entre los que se encuentran las lluvias torrenciales y, como efecto, eventos de inundación pluvial y fluvial.



En este sentido, la Comunidad Foral de Navarra, en el Plan Director del Ciclo Integral del Agua de Uso Urbano de Navarra, marca como uno de sus principios la lucha contra el cambio climático, así como la apuesta por la economía circular en materia de aguas. La hoja de ruta frente al cambio climático del Gobierno de Navarra HCCN-KLINa, es la principal herramienta de Navarra en la lucha contra el cambio climático, junto a la recién aprobada Ley Foral 4/2022, de 22 de marzo, de Cambio Climático y Transición Energética.

Implementando KLINa, el proyecto LIFE-IP NAdapta-CC, busca el desarrollo e implementación de medidas que favorezcan la resiliencia de la Comunidad Foral de Navarra frente a estos retos, abordando medidas de adaptación en el área del agua, y en concreto, aborda como solución en el ámbito urbano los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible o SUDS.

Es por ello, que resulta necesario la aplicación de soluciones que actúen en el origen del problema y que contribuyan a disminuir la superficie impermeable y a mejorar la calidad de los vertidos al medio, ayudando de este modo, a paliar la acción del cambio climático especialmente en el ámbito local.

En este ámbito, la implantación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es una de las medidas principales que permiten la reducción del volumen de escorrentía y la mejora de su calidad, a la vez que contribuyen a la naturalización de las superficies de las ciudades, reduciendo el efecto [isla de calor](#) y pudiendo llegar a proporcionar, según el diseño, unos espacios urba-

nos más saludables para los habitantes, y pudiendo contribuir a la creación de nuevos hábitats para especies de flora y fauna.

Los SUDS son sistemas de drenaje, que, por separado o en combinación con otros elementos de drenaje convencional, proporcionan soluciones más racionales y sostenibles a la gestión del agua de lluvia. Con los SUDS se intenta reproducir o restituir, en la medida de lo posible, el ciclo hidrológico previo a la urbanización, actuando en el origen de las escorrentías, y contribuyendo a:

- Laminar caudales.
- Reducir volúmenes.
- Mejorar la calidad del agua.

El objetivo final es el tratamiento del agua como un recurso y no como un residuo, favoreciendo estrategias de economía circular.

Este documento busca incorporar una serie de recomendaciones básicas de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en Navarra, con el objeto de crear un documento sencillo con un propósito múltiple técnico-didáctico y dirigido a un público diverso, que favorezca la implantación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Comunidad Foral.

Este documento es una guía viva, por lo que está sujeta a modificaciones e incorporaciones de nueva información que facilite la implantación de SUDS en Navarra.



2

OBJETIVOS

2.1. QUÉ SE QUIERE LOGRAR

El objetivo de estas recomendaciones básicas de diseño es dotar a Navarra de un documento marco para conocer el funcionamiento de los SUDS, trasladar los beneficios que aportan como herramienta de adaptación al cambio climático e introducir una metodología que está cada vez más extendida en el mundo.

Asimismo, introduce referencias a otras guías de diseño de SUDS de ámbito nacional e internacional, con las que profundizar acerca de diferentes aspectos de los SUDS aquí descritos (diseño, construcción, mantenimiento, monitorización...).

2.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Las recomendaciones de esta guía van asociadas al desarrollo urbano y rural, tanto público como privado, en la Comunidad Foral de Navarra, para el fomento de la gestión de la escorrentía urbana de manera sostenible, bien como una actuación en zonas de nuevo desarrollo, bien como apoyo en otras zonas donde se busque aliviar la presión sobre la red de drenaje existente y el medio receptor. Es especialmente necesaria su aplicación en actuaciones de regeneración urbana, para aprovechar las oportunidades de incrementar la resiliencia de nuestros pueblos y ciudades.

2.3. A QUIÉN VA DIRIGIDA

- a) Responsables políticos, para que valoren este tipo de soluciones y propicien el contexto normativo y marco regulatorio adecuado para promover su utilización.
- b) Profesionales del sector, para que incorporen soluciones de drenaje sostenible en sus proyectos.
- c) Público general y cualquier interesado en conocer un poco más acerca de los beneficios de la aplicación de SUDS, para apreciar su valor y que los SUDS sean una demanda ciudadana.

2.4. CÓMO INTERPRETAR LA INFORMACIÓN

Este documento debe interpretarse como un documento básico sobre SUDS con recomendaciones particularizadas para la Comunidad Foral de Navarra. Se concibe como un punto de partida que abre el abanico de soluciones para una gestión sostenible de las aguas pluviales, aglutinando experiencias y bibliografía de referencia (incluyendo manuales técnicos de diseño y cálculo), que sirvan de apoyo a la redacción de planes y proyectos, así como a la construcción, el mantenimiento y la monitorización de los SUDS.

3

MARCO REGULATORIO DE REFERENCIA

3.1. NIVEL EUROPEO

A nivel europeo la normativa que afecta en materia de aguas viene definida por las Directivas que se trasponen al marco legislativo español. Son principalmente cinco:

Directiva del Tratamiento de agua de lluvia urbana (91/271/EC)

- Se deben tratar todos los vertidos de la red unitaria de colectores.
- Se deben reducir los vertidos y las descargas del sistema unitario.

Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE)

- Se establece la necesidad de reducir las presiones e impactos sobre las masas de agua.
- La gestión de la calidad del agua se basa en buscar preservar una buena calidad del agua.

Directiva de calidad de aguas de baño (Directiva 2006/7/CE) y Directiva de la contaminación de acuíferos (Directiva 2006/118/CE)

- Están relacionadas con la gestión del drenaje urbano.
- Ponen de manifiesto los impactos derivados de las descargas de los sistemas de colectores unitarios y separativos al medio receptor (acuífero, cauce fluvial o medio marino).

Directiva relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Directiva 2007/60/EC)

- Establece un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Refiere a la necesidad de una mejora de la retención de aguas y la inundación controlada de determinadas zonas en caso de inundación.

3.2. NORMATIVA NACIONAL

En materia de normativa nacional se establecen leyes y reales decretos que afectan a la gestión del agua de lluvia, siendo los más destacados:

Ley de aguas

- Regula el dominio público hidráulico respecto la protección y planificación de las cuencas hidrográficas gestionadas por las Demarcaciones Hidrográficas.

- No incluye regulación respecto la gestión del agua de lluvia o al drenaje urbano.

Real Decreto 903/2010

- Regula los procedimientos para la evaluación preliminar del riesgo de inundación a nivel nacional.
- No menciona explícitamente la inundación urbana por riesgo pluvial, y se focaliza en la inundación por ríos o cursos de agua intermitentes, así como inundación en zonas costeras o de zonas de transición.

Real Decreto 1290/2012

- Modificar el Reglamento del Dominio Público hidráulico RD 849/1986 y el Real Decreto 509/1996 y se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Pone de manifiesto la necesidad de gestionar los Desbordamientos de Sistemas de Saneamiento (DSS), en especial el Desbordamiento de Sistemas Unitarios (DSU).
- En concreto el artículo 259 ter. se menciona lo siguiente en cuanto a los criterios de las autorizaciones de vertido de los sistemas de saneamiento de las zonas urbanas, relativo a los desbordamientos en episodios de lluvia:

a) Los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán justificar la conveniencia de establecer redes de saneamiento separativas o unitarias para aguas residuales y de escorrentía, así como plantear medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores.

b) En las redes de colectores de aguas residuales urbanas no se admitirá la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores a la aglomeración urbana o de otro tipo de aguas que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.

Real Decreto 638/2016

- Modifica el reglamento de dominio público hidráulico, planificación hidrológica y otra normativa relativa a la gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- Establece que: “Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desa-

rollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique” (Artículo 126 ter, Punto 7).

- Introduce el concepto de invariabilidad ecológica por la que se promueven las medidas que compensen o restituyan procesos hidrológicos previos a la urbanización mediante el uso de SUDS.

3.3. NORMATIVA FORAL

La normativa foral en materia de aguas se establece a través de la figura de planeamiento de Plan Director, según lo establecido en la Ley Foral 10/1988 del 29 de diciembre de Saneamiento y Aguas Residuales. Se trata del Plan Director del Ciclo Integral del Agua de Uso Urbano de Navarra 2019-2030, aprobado en mayo de 2019. Este plan constituye la principal herramienta de Navarra en materia de aguas, y busca “incorporar los principios de economía circular y lucha contra el cambio climático”.

En materia de gestión del agua, el plan se rige de acuerdo con las siguientes bases de la planificación:

- Extender el saneamiento separativo en todo el territorio.
- Conseguir que las redes de saneamiento en baja sean eficientes e incorporen el menor volumen posible de aguas limpias.
- Disminuir, por tanto, el volumen y carga de los alivios y desbordamientos del sistema de saneamiento de aguas residuales.
- Ordenar adecuadamente el sistema de pluviales, reduciendo su volumen de vertido en la medida de lo posible (por ejemplo, mediante el empleo creciente de sistemas de drenaje sostenible) y minimizando su impacto en el medio.

En materia de actuaciones concretas, se establecen diferentes líneas de actuación. La línea 6 se centra en las acciones generales de saneamiento, y fija las siguientes subacciones:

- Drenaje urbano sostenible.
- Saneamiento en alta de polígonos industriales.

- Gestión de riesgos de inundación.
- Contaminantes emergentes.
- Especies exóticas invasoras.

En materia de drenaje sostenible se propone “que en el futuro las nuevas áreas urbanizadas, tanto residenciales como industriales o dotacionales, así como las zonas que se reurbanicen, disminuyan al mínimo las áreas impermeables y apliquen técnicas de drenaje sostenible en la mayor fracción posible de la superficie”.

Dentro de la normativa de Ordenación del Territorio, y en relación con el drenaje sostenible, en el Plan de Ordenación Territorial del Área central (POT 3), aprobado por Decreto Foral 45/2011, de 16 de mayo, se recoge:

Artículo 72.- Criterios territoriales y para el planeamiento en materia de saneamiento. (VP). 2. Aguas pluviales:

a) En los nuevos desarrollos relativos a sectores y/o actuaciones urbanísticas cuya extensión superficial sea mayor que 10 hectáreas, o cuya actividad suponga una población equivalente superior a 2.000 habitantes-equivalentes (según Real Decreto- Ley 11/1995), será preceptivo realizar un Estudio de Drenaje Sostenible que reproduzca de la manera más fiel posible el ciclo hidrológico preexistente en los siguientes parámetros:

- El volumen de las aguas de escorrentía.
- El caudal punta de vertido al medio receptor.
- La calidad de las aguas de escorrentía.

b) Este estudio deberá contar con informe favorable del órgano competente en materia medioambiental del Gobierno de Navarra.

3.4. NORMATIVA LOCAL

En materia de normativa local, existen diferentes normativas en forma de ordenanzas o regulaciones asociadas a poblaciones o mancomunidades. A destacar, para la Mancomunidad Comarca de Pamplona, la ordenanza de Redes de Saneamiento, publicada en abril 2020; que constituye una guía básica para:

- Las características y disposición de las redes de saneamiento de agua potable.
- Las bases de cálculo y criterios de diseño básicos y simplificados de las redes.
- Los materiales que componen las redes y que se encuentran aceptados por Mancomunidad.
- Los detalles constructivos habituales de las obras de fábrica y la disposición de los distintos elementos en ellas.
- La ejecución de los diferentes tipos de acometidas a las redes de saneamiento.
- Instrucciones de montaje y pruebas a realizar.

LEGISLACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Marco internacional:

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/>

Marco europeo:

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea/>

Marco estatal:

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, PNIEC

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)

Hoja de ruta

Planes de Impulso al Medio Ambiente (PIMA). Los Planes de Impulso al Medio Ambiente conocidos como PIMAs son una herramienta para dar impulso a un conjunto de medidas concretas que van a contribuir a la mejora de las condiciones medioambientales.

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Marco regional:

HCCN - KLINa

LIFE-IP NAdapta-CC

Ley Foral 4/2022, de 22 de marzo, de Cambio Climático y Transición Energética (Artículo 64. Adaptación al cambio climático en el medio urbano. hace mención explícita a los SUDS).

4

INTRODUCCIÓN AL DRENAJE SOSTENIBLE

Los SUDS son soluciones que permiten gestionar el agua de lluvia replicando procesos naturales, de forma complementaria o alternativa a los sistemas convencionales de drenaje y suponen una herramienta muy útil de adaptación al cambio climático en situaciones de eventos extremos, tanto por fenómenos de lluvia torrencial como en periodos de sequía. En este sentido forman parte de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y de la infraestructura verde, alineándose con la estrategia de la Unión Europea a través de planes como el Green New Deal, o de las Naciones Unidas, a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). En España este tipo de soluciones se han venido desarrollando desde hace veinte años, ganando una gran fuerza en los últimos cinco.

Este tipo de sistemas se basa en replicar procesos naturales para la gestión de la escorrentía, centrándose en la mejora de la calidad y la disminución de la cantidad, con elementos multifuncionales integrados en el paisaje urbano. Además, estos sistemas suponen un cambio de paradigma frente al drenaje convencional, gestionando escorrentía al tiempo que introduciendo objetivos de sostenibilidad y mejora del medio ambiente urbano.

4.1. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SbN)

La Comisión Europea define las SbN como soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia. Las SbN permiten incorporar procesos naturales a los entornos antropizados; por ejemplo, en las ciudades promueven la adaptación al cambio climático, en función del diseño puede favorecer el incremento de la biodiversidad, permiten mejorar la calidad de las escorrentías y la calidad del aire. En resumen, pueden ayudar a mejorar la vida de las personas.

Las SbN forman parte de la infraestructura verde, definida por la Comisión Europea como una red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de servicios ecosistémicos. Este tipo de infraestructura se promueve por la Unión Europea a través de los Fondos de Cohesión y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). La infraestructura verde busca la obtención de múltiples beneficios y por tanto supone un cambio de paradigma frente a la llamada infraestructura gris.

Los SUDS, por tanto, forman parte de una red amplia e innovadora de soluciones promocionadas de forma directa por las estrategias e instituciones europeas. Además, están alineados con los objetivos de desarrollo sostenible que las Naciones Unidas establecieron para el cumplimiento de la Agenda 2030, en particular con los siguientes:

• **Objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento):** Los SUDS permiten mejorar la calidad del agua de escorrentía en las ciudades y reducir los caudales y volúmenes que llegan a la red de saneamiento.

• **Objetivos 14 (Vida submarina) y Objetivo 15 (Vida Ecosistemas Terrestres):** A través de la filtración y tratamiento de escorrentías junto con la contribución a la reducción de Desbordamientos del Sistema de Saneamiento permiten mejorar la calidad de las aguas y por tanto, la de la vida relacionada con ellas. Además, contribuyen al objetivo 15 creando espacios y ecosistemas en áreas antropizadas.

• **Objetivos 3 (Salud y bienestar), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el Clima):** Los SUDS incorporan aspectos naturales a las ciudades y promueven la gestión del agua recuperando el ciclo hidrológico natural. Esto hace que aumente la resiliencia, o capacidad de adaptación al cambio climático, de las ciudades (objetivo 13); que aumente la sostenibilidad de las zonas urbanas (objetivo 11) y que mejore la calidad de vida de las personas (objetivo 3).

• **Objetivo 17 (Alianzas para lograr objetivos):** Los SUDS suponen un cambio de paradigma y de mentalidad en el desarrollo de las ciudades. Esto da lugar a la necesidad de colaboraciones entre responsables, profesionales y agentes de diferentes ámbitos.

Para ampliar sobre Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN):

[SbN en la Unión Europea \(inglés\).](#)

[Soluciones basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua, ONU 2018 \(español\).](#)

[Soluciones basadas en la Naturaleza, CONAMA 2018 \(español\).](#)

[Soluciones basadas en la Naturaleza, CONAMA 2019 \(español\).](#)

[Observatorio de Soluciones Basadas en la Naturaleza, CONAMA \(español\).](#)

Para ampliar sobre Infraestructura Verde:

[Infraestructura verde en la Unión Europea \(español\).](#)

[Estrategia de Infraestructura verde de la EU, Comisión Europea \(español\).](#)

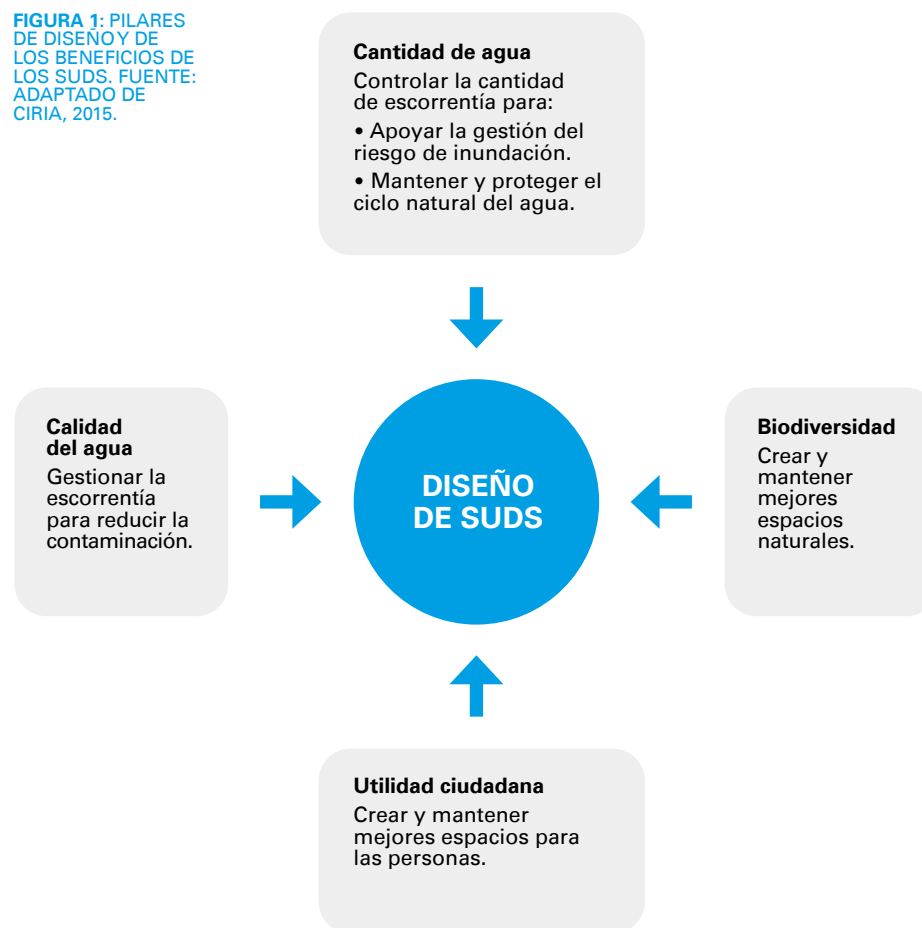
[Multifuncionalidad de la infraestructura verde, Comisión Europea \(inglés\).](#)

4.2. LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

4.2.1. Filosofía de los SUDS

La concepción de los SUDS se basa en una filosofía holística, que busca una solución que obtenga beneficios en las cuatro categorías que se muestran en la figura 1. De este modo, desde un punto de vista de drenaje, los SUDS se centran en el control de la cantidad y la mejora de la calidad; pero al mismo tiempo, incluyen criterios de conservación y/o mejora de la biodiversidad junto a la utilidad para la ciudadanía.

FIGURA 1: PILARES DE DISEÑO Y DE LOS BENEFICIOS DE LOS SUDS. FUENTE: ADAPTADO DE CIRIA, 2015.



El enfoque de los SUDS para la gestión del drenaje utiliza la hidrología natural como base de referencia para evaluar el rendimiento del sistema, replicando procesos naturales como la infiltración, evapotranspiración, laminación, etc. Esto supone un cambio de paradigma frente a la gestión de la escorrentía de los sistemas de drenaje convencionales, cuya prioridad es la salida rápida del agua de los ámbitos de captación a través de redes, trasladando el problema aguas abajo.

Este enfoque se puede resumir en las siguientes prioridades de diseño para la gestión de la escorrentía, definidas en “The SuDS Manual” (CIRIA, 2015):

- Utilización del agua de escorrentía como recurso.
- Gestión de la escorrentía en origen (donde ocurre la precipitación).
- Gestión de la escorrentía en superficie.
- Permitir que la escorrentía infiltre al subsuelo.
- Promover la evapotranspiración.
- Laminar y almacenar la escorrentía para reproducir las tasas y volúmenes de la escorrentía natural.
- Reducir la contaminación de la escorrentía a través de la prevención y controlando la escorrentía en origen.
- Tratar la escorrentía para evitar el riesgo de contaminación del medio natural por contaminantes urbanos.

Los diferentes tipos de SUDS buscan cumplir las prioridades de gestión de la escorrentía llevando a cabo funciones similares a los procesos que se pueden encontrar en sistemas de drenaje naturales, entre ellos se destacan los siguientes:

Filtración: consiste en hacer pasar la escorrentía a través de un medio filtrante que atrapa partículas y contaminantes solubles.

Detención: consiste en el almacenamiento temporal de la escorrentía, permitiendo la reducción del caudal pico y favoreciendo procesos como la sedimentación.

Tratamiento: es el conjunto de procesos que permite la reducción de contaminantes e incluye procesos de separación, biodegradación, absorción, etc., llevados a cabo a través de biorremediación natural u otros procesos.

Retención: consiste en el almacenamiento de la escorrentía para usos que no requieran la calidad del agua potable, como riegos.

Infiltración: consiste en permitir el paso del agua desde la superficie del terreno al subsuelo facilitando la recarga de acuíferos y aumentando la humedad del suelo.

4.2.2. Tren de tratamiento

A la hora de incorporar SUDS en un proyecto, se debe pensar en que los SUDS no actúan como elementos individuales sino como sistemas interconectados que permitan la gestión, el tratamiento y el uso racional del agua desde el lugar de precipitación hasta el medio receptor. En este sentido, se define un Tren de Tratamiento como el trabajo conjunto, en secuencia, de una serie de elementos SUDS para aumentar los beneficios combinando las diferentes funciones de los elementos y buscando sinergias entre ellos (ver figura 2).

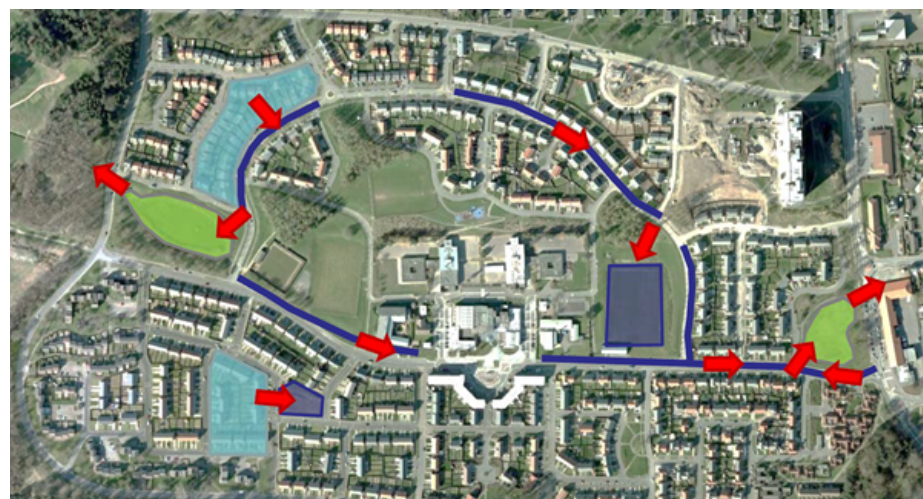


FIGURA 2: TREN DE TRATAMIENTO FORMADO POR PAVIMENTOS PERMEABLES, CUNETAS VEGETADAS Y BALSAS DE LAMINACIÓN INFILTRACIÓN EN ARDLER, DUNDEE (ESCOCIA). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los trenes de tratamiento se pueden centrar en la reducción de la contaminación, obteniendo a través de la cadena de SUDS un tratamiento mayor que a través de elementos individuales; así como en un aumento de la laminación, mediante la combinación de elementos intermedios, con este propósito. Sin embargo, las cadenas de SUDS también se pueden utilizar con otros objetivos como el valor estético y ambiental.

Los trenes de tratamiento también son herramientas útiles para la reducción de los costes de mantenimiento de ciertos elementos. Por ejemplo, incluir una cuneta vegetada, como elemento de pretratamiento, previo a la entrada a una balsa de infiltración o un estanque, permite reducir el volumen de sedimentos que entra al elemento, y con ello, reducir el riesgo de colmatación y alargar la vida útil del elemento.

4.3. LOS SUDS EN ESPAÑA

Debido al fuerte impulso de los SUDS en regiones de climas húmedos, el concepto de estos sistemas suele asociarse a zonas de precipitación frecuente y de intensidad baja. Sin embargo, la realización de múltiples estudios recientes, y el trabajo de profesionales durante los últimos veinte años, demuestran la eficacia de los SUDS en climas de tipo mediterráneo, con una pluviometría efímera y torrencial. Como ejemplo, entre 2010 y 2013 se llevó a cabo el proyecto europeo AQUAVAL que permitió monitorizar el funcionamiento de varias tipologías de SUDS, demostrando su funcionamiento y eficacia en ámbitos mediterráneos. Otros proyectos europeos como el LIFE CERSUDS y grupos de investigación en Santander, València, A Coruña, Oviedo y Granada, entre otros, han contribuido a la experiencia e investigación de estos sistemas.

En España, la experiencia en el campo de los SUDS es amplia y está en continua expansión en los últimos años. La promoción de las soluciones de drenaje sostenible se ha visto reforzada gracias al intercambio de conocimiento, por medio de charlas, ponencias, experiencias a través de plataformas como [RedSUDS](#) y publicaciones en revistas técnicas.

Además, en el ámbito local, diversos ayuntamientos promueven la implementación de SUDS en sus áreas metropolitanas, por ello, se han elaborado guías particulares de implementación de SUDS para ciudades como Madrid, Castellón, Barcelona y Valencia.

Para ampliar sobre los SUDS en España:

[SUDS en España: un diagnóstico \(inglés\)](#). Diagnóstico en el ámbito social, regulativo y técnico de los SUDS en España, así como los retos a los que se enfrenta su implementación.

[RedSUDS, plataforma \(español\)](#).

[Consolidando el drenaje Sostenible en España, ROP 2019 \(español\)](#). Revista técnica que recopila experiencias de implementación de SUDS en España.

[Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: SUDS \(español\)](#). MITECO 2019.

Guías de implementación de SUDS en el ámbito municipal:

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid, 2018 \(español\)](#).

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana, 2019 \(español\)](#).

[Guia tècnica per al disseny de SUDS a Barcelona, 2020 \(catalán\)](#).

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València, 2021 \(español\)](#).

5

DESCRIPCIÓN DE LOS SUDS

Es habitual encontrar distintas clasificaciones de los tipos de SUDS, asociado a la función que desempeñan, al tipo de sistema empleado o al lugar donde se aplican. En este capítulo, la clasificación se realizará desde el punto de vista de medidas estructurales y no estructurales.

5.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Las medidas estructurales están compuestas por medidas constructivas como cubiertas vegetadas, pavimentos permeables y balsas de infiltración, o medidas que requieren de elementos reguladores o adicionales, como elementos de entrada de escorrentía o de tratamiento. Las medidas no estructurales, por su parte, son las medidas que contribuyen a la mejora de la calidad del agua, reducción de la escorrentía y mejora del ambiente urbano sin necesidad de medidas constructivas; y pueden ser tan diversas como la implantación de normativa, medidas educativas, tareas de mantenimiento, etc.

Las medidas no estructurales son un complemento indispensable para las medidas estructurales en muchos sentidos:

- La normativa permite y facilita la implementación de medidas en los ámbitos de actuación estableciendo los criterios y líneas prioritarias de actuación.
- Las medidas educativas como formaciones, campañas de prevención, paneles explicativos, etc., permiten a la ciudadanía, los profesionales y los legisladores, conocer y entender el funcionamiento de las medidas implementadas.
- Por otro lado, el mantenimiento y la coordinación entre gestores que esto requiere permite, que las medidas implementadas cumplan correctamente sus funciones, asegurando el éxito de la inversión en las medidas estructurales.

5.2. PRINCIPALES TIPOS DE SUDS ESTRUCTURALES

En los siguientes apartados se hará una descripción de los principales tipos de SUDS estructurales y sus características.

5.2.1. Aljibes

Los aljibes son depósitos que permiten captar y almacenar escorrentía para un uso posterior. En general, los aljibes se ubican en el exterior de los edificios y almacenan el agua de las cubiertas u otras superficies altas a través de bajantes; sin embargo, estos también se pueden ubicar dentro de los propios edificios o ser subterráneos. En todo caso, en función de su uso, se debe asegurar la

calidad del agua almacenada con una serie de tratamientos previos como son filtros de retención de gruesos, sistemas de protección anti-insectos y/o sistemas de decantación en el propio depósito, en caso de que no se pueda evitar la entrada de sedimentos al sistema. Por regla general, el agua de lluvia almacenada en los aljibes será utilizada para usos de agua no potables como riegos o aguas para recarga de inodoros. Otros usos, pueden necesitar de un sistema de tratamiento adicional.

Los materiales más utilizados para la construcción de aljibes son el plástico (figura 3), la fibra de vidrio y el metal galvanizado, aunque se pueden utilizar otros que aseguren ser herméticos y estériles.

El tamaño y el diseño del aljibe dependerá del área a drenar, de los patrones de lluvias locales y de la demanda de agua a cubrir. En su diseño, además, se debe asegurar un rebose seguro a la red de colectores o a una zona permeable.

Los aljibes son buenas soluciones para incorporar en zonas ya edificadas o sin capacidad de infiltración donde se busque reducir el caudal pico y el volumen de escorrentía, obteniendo, además, un doble beneficio al poder reducir la demanda de agua potable del ámbito.



FIGURA 3: ALJIBE EN EL CENTRO SOCIAL DE BENAGUASIL (VALENCIA).

Para ampliar sobre aljibes

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)

5.2.2. Cubiertas vegetadas

Las cubiertas vegetadas están formadas por un conjunto de capas que se instala sobre el tejado de los edificios (o estructuras de aparcamiento) y favorece el crecimiento de vegetación. El paquete vegetado, generalmente, está compuesto por vegetación desarrollada sobre un sustrato, una lámina de geotextil filtrante, el sistema de drenaje, una barrera antirraíces y una membrana impermeable. Su funcionamiento es similar al de una esponja. El paquete vegetado recibe la lluvia, filtrándola a través del sustrato, donde se almacena temporalmente. Los sobrantes se evacúan a través del sistema de drenaje que conducen la escorrentía hacia las bajantes del edificio. El sistema de drenaje puede incluir una estructura de almacenamiento, separada de la membrana impermeable, que permita el riego pasivo de la vegetación.

Este tipo de cubiertas tienen múltiples beneficios que incluyen el aislamiento térmico del edificio, el valor ecológico y el valor estético; además de la capacidad para mejorar la calidad del agua, reducir el volumen de escorrentía y su velocidad.

Existen dos tipos principales de cubiertas vegetadas en función de la profundidad del sustrato:

Extensivas: Se caracterizan por tener una profundidad del sustrato menor a 15 cm y recubrirse con vegetación resistente, de crecimiento lento y con pocas necesidades de mantenimiento. El tipo de vegetación las convierte en el tipo de cubierta con menores costes de construcción y de mantenimiento.

Intensivas: Se caracterizan por tener una profundidad de sustrato mayor a 15 cm y ser capaces de albergar vegetación herbácea, arbustiva e incluso arbórea. Este tipo de cubiertas poseen más beneficios en cuanto a la gestión del agua, creación de hábitats y aislamiento sonoro y térmico. Además, pueden ser accesibles para el público (sector terciario) añadiendo valor recreativo a la cubierta. Sin embargo, requieren de mayores necesidades de mantenimiento, inclusive la necesidad de riego periódico.

Las cubiertas vegetadas se pueden incorporar en nuevas cubiertas o en cubiertas existentes de edificios u otras estructuras (figura 4). Para ello, se ha de asegurar la capacidad portante del edificio o de la estructura antes de decidir si es posible incorporar una y de qué tipo.

Para ampliar sobre cubiertas vegetadas

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)

[Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(español\).](#)



FIGURA 4: CUBIERTA VEGETADA SOBRE UN TANQUE DE LAMINACIÓN EN EUGI (NAVARRA).

5.2.3. Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables son un tipo de pavimento que permite la filtración de la escorrentía a capas subsuperficiales. El agua se almacena temporalmente bajo el pavimento pudiendo ser infiltrado o descargado de forma controlada aguas abajo. En algunos casos, el agua infiltrada o descargada también puede ser aprovechada para otros usos y almacenada en aljibes.

Se clasifican en:

Pavimentos porosos: son aquellos con capacidad para infiltrar agua a través de toda su superficie

Hormigón y asfalto permeables: son similares a los materiales convencionales, pero permiten el paso de agua a través de sus poros.

Pavimento vegetado o sistema de malla/geocelda: están hechos de celdas de plástico u hormigón rellenos de sustrato o agregados que permiten el paso de agua a través a la vez que le confieren capacidad portante. Este tipo de sistemas de suelo suelen vegetar con césped.

Pavimentos permeables por junta: son aquellos formados por materiales impermeables en bloques, cuya configuración crea huecos que permiten el paso de agua a capas inferiores. Estos huecos se suelen rellenar de gravillín, que proporciona permeabilidad además de capacidad de filtración (figura 5).

Los pavimentos permeables cuentan con capacidad portante y con adaptabilidad para ser utilizados en ubicaciones variadas como aceras, calles o aparcamientos, sin embargo, no se recomiendan en zonas con tráfico pesado o en zonas con alta concentración de sedimentos y contaminantes. Son soluciones que reducen la escorrentía en origen, aunque pueden funcionar como captadores de escorrentía de zonas impermeables adyacentes, intentando que la ratio no sea mayor de 1:2 (pavimento permeable: superficie impermeable). El mantenimiento es especialmente importante, ya que se debe asegurar que el volumen de sedimentos no taponen los poros que permiten el paso del agua.



FIGURA 5: PAVIMENTO PERMEABLE EN AV. PAMPLONA, ECHAVACIOZ NORTE (NAVARRA).

Para ampliar sobre pavimentos permeables

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)

[Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(español\).](#)

5.2.4. Alcorques estructurales

Los alcorques estructurales son SUDS formados por un suelo estructural, que permite el tránsito ligero, el desarrollo de las raíces del árbol, así como el almacenamiento temporal de la escorrentía. Están diseñados para gestionar pequeñas cuencas y ser incorporados en ambientes urbanos.

Existen dos tipos principales de alcorques estructurales:

Alcorques de material granular: Incluye unas mezclas de material granular con sustrato que está diseñado para permitir el crecimiento de árboles, además de funcionar como subbase para el pavimento. Este tipo de material es muy poroso y está diseñado para ser usado bajo pavimentos de asfalto y hormigón por su capacidad portante.

Alcorques de material geocelular de polipropileno: Son estructuras con capacidad portante rellenas de sustrato. La estructura carga con el pavimento evitando la compactación del sustrato, además de proporcionar área adicional para la detención de escorrentía.

Los alcorques estructurales permiten la gestión del agua gracias a la interceptación del agua de lluvia a través de las hojas de los árboles y la consiguiente detención; favoreciendo su acumulación en el entorno del árbol (figura 6). El agua interceptada se acumula temporalmente en el alcorque pudiendo ser, o bien infiltrado al terreno, o drenado a aguas abajo.

Estos sistemas tienen la capacidad de mejorar la calidad de la escorrentía, a través de la filtración y absorción por parte del árbol; reducir el caudal pico a través de la detención del árbol y reducir el volumen total de escorrentía, a través de la evapotranspiración por parte del árbol y de la infiltración (si es posible).

Para ampliar sobre alcorques estructurales

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)



FIGURA 6: ALCORQUES ESTRUCTURALES EN EL BARRIO DE BON PASTOR, BARCELONA.

5.2.5. Parterres inundables

Los parterres inundables son zonas vegetadas deprimidas que permiten la gestión del volumen y de la calidad de las escorrentías. A través de reacciones de adsorción por parte de los sedimentos, la absorción de contaminantes por parte de la vegetación y la reducción de sedimentos, que quedan acumulados sobre o entre las partículas del sustrato, los parterres inundables permiten mejorar de forma considerable la calidad de las escorrentías.

Existen principalmente dos tipos de parterres inundables en función de la profundidad del sustrato y su capacidad biorremediadora:

Jardines de lluvia: tienen un espesor de sustrato de entre 0,3 m y 0,5 m y se utilizan en zonas con bajos niveles de contaminación.

Zonas de biorretención: tiene un espesor de sustrato de entre 0,8 m y 1 m y se utilizan en zonas con niveles más altos de contaminación, como aquellas donde hay abundante tráfico rodado.

Los parterres inundables tienen la capacidad de, no solo mejorar la calidad de la escorrentía, sino de reducir el caudal pico y el volumen total de escorrentía. Para ello, el parterre actúa como medio receptor de la escorrentía y la detiene temporalmente, facilitando su salida controlada a través de infiltración o de un conducto drenante en la base con descarga a la red de colectores (o al siguiente elemento de gestión de escorrentías). En este supuesto, a pesar de que no se pueda llevar a cabo la infiltración, también se produce la reducción del volumen de escorrentía, pues parte del agua es retenida en el sustrato y se evacua por evapotranspiración.

Además, son soluciones con un tamaño flexible que dependerá en gran medida de las limitaciones del emplazamiento como el espacio disponible o la topografía; y debido a su flexibilidad, se pueden ubicar en una gran variedad de localizaciones y son fáciles de incorporar en zonas urbanizadas (figura 7).

Para ampliar sobre parterres inundables

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)



FIGURA 7: PARTERRE INUNDABLE EN LA CALLE RAIMUNDO FERNÁNDEZ VILLVERDE, MADRID.

5.2.6. Zanjas y pozos de infiltración

Las zanjas y pozos de infiltración son sistemas cuyas funciones principales son la filtración y la infiltración de escorrentías.

Las zanjas son sistemas lineales, poco profundos mientras que en los pozos prevalece la dimensión vertical; ambos sistemas se recubren de geotextiles y se rellenan de gravas (o de material geocelular), lo que favorece la infiltración de las escorrentías al subsuelo (figura 8).

Para facilitar el mantenimiento, se recomienda incluir una capa superficial de unos 20 cm separada por un geotextil del resto de la zanja, en la que se pueden colocar gravas visualmente más estéticas. En lugares donde se prevea gran aporte de sedimentos, para evitar su colmatación, se recomienda introducir un tratamiento previo que reduzca la cantidad de arrastres que llegan al sistema, como franjas filtrantes.

Los sistemas de infiltración están diseñados para infiltrar escorrentía in situ reduciendo el volumen total de agua que lleva a la red de colectores o medio receptor. Esto también hace que se reduzca el caudal pico aguas abajo.

Para ampliar sobre zanjas de infiltración

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)



FIGURA 8: ZANJA DE INFILTRACIÓN EN RIBA-ROJA DE TÚRIA (VALENCIA).

5.2.7. Depósitos reticulares

Los depósitos reticulares son estructuras modulares, formadas por celdas, cajas o túneles de polipropileno, cuyas características destacadas son que cuentan con una elevada resistencia frente a cargas verticales, y disponen de un alto índice de huecos (Figura 9). Debido a ello, ocupan volúmenes de excavación menores que otros elementos de relleno, como las gravas, para un mismo almacenamiento de agua. Los depósitos reticulares se instalan en asociación con otros elementos SUDS que proporcionen filtración y/o tratamiento. La entrada de la escorrentía debe producirse preferentemente por filtración; pero si ha de ser a través de una conducción, y el agua no ha sido previamente filtrada, se tendrá que estudiar la necesidad de un elemento de tratamiento previo, que dependerá de las características de la cuenca drenada y de la función del depósito reticular (sólo laminación o también infiltración). Asimismo, es recomendable la instalación de un elemento de rebose.

Los depósitos reticulares pueden ser buenas soluciones en zonas de espacio limitado. Dadas sus características, permiten su instalación debajo de zonas sometidas a cargas verticales, como zonas de aparcamiento, o con otros usos,

como canchas deportivas o jardines. Entre sus usos, los depósitos reticulares se utilizan para la atenuación de caudales (pudiendo ir acompañados de un dispositivo de control de flujo); y para la infiltración del agua almacenada, si las características del terreno y del área circundante lo permiten.

Para ampliar sobre depósitos reticulares

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)



FIGURA 9: DEPÓSITO RETICULAR INSTALADO EN GUERENDIAIN (NAVARRA).

5.2.8. Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes son elementos lineales en forma de zanjas someras rellenas de material granular o reticular, que permiten el almacenamiento temporal de la escorrentía. La entrada de la escorrentía suele producirse lateralmente desde la superficie (figura 10). Para facilitar el mantenimiento se recomienda incluir una capa superficial de unos 20 cm separada por un geotextil del resto de la zanja; en la que se pueden usar gravas visualmente más estéticas. Los drenes filtrantes suelen ir acompañados de un conducto drenante en la base con funciones de transporte y vaciado del elemento.

Habitualmente, el material más utilizado para el relleno es un agregado de gravas limpias, con una porosidad por encima del 30 %. Otros elementos posibles en la construcción de drenes filtrantes son las cajas reticulares o geoceldas.

Los drenes filtrantes tienen una función de filtración, atenuación y transporte. Como elemento lineal, los drenes filtrantes son buenas soluciones longitudinales para el transporte de escorrentía, y pueden reemplazar en muchos casos el uso de un drenaje convencional.

Para ampliar sobre drenes filtrantes

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid.](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana.](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València.](#)

[The SuDS Manual.](#)



FIGURA 10: DREN FILTRANTE EN LA ZONA VERDE DE LA SEDE DEL BBVA, MADRID.

5.2.9. Franjas filtrantes

Las franjas filtrantes son sistemas vegetados lineales con taludes suaves que permiten el paso de la escorrentía en superficie, reduciendo su velocidad y promoviendo la sedimentación y la filtración. Van asociados a elementos longitudinales impermeables y como primer sistema de tratamiento dentro de un tren de SUDS (figura 11).

Aunque son sistemas relativamente sencillos, es necesario realizar un adecuado cálculo de la capa de suelo vegetal, una correcta elección del tipo de vegetación utilizada y el uso de unos gradientes moderados para conseguir un buen funcionamiento.

Las franjas filtrantes son elementos útiles en la gestión de eventos de lluvia pequeños, realizando una importante función en la reducción de los posibles contaminantes que lleguen al siguiente elemento de drenaje por medio de sedimentación y filtración.

Para ampliar sobre franjas filtrantes

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)



FIGURA 11: FRANJA FILTRANTE EN LEICESTER (REINO UNIDO).

5.2.10. Cunetas vegetadas

Las cunetas vegetadas son canales poco profundos de geometría trapezoidal, fondo plano, vegetados y diseñados para el tratamiento, transporte y atenuación de la escorrentía. La entrada de la escorrentía puede producirse de forma lateral o en cabecera de las mismas por medio de una tubería o embocadura. Son elementos muy versátiles que suelen actuar a la cabeza o como elemento intermedio de un tren de SUDS (figura 12).

En función del nivel de lámina de agua que se quiere conseguir, las cunetas vegetadas pueden dividirse en cunetas secas o cunetas mojadas. El tipo de vegetación utilizada, así como su densidad y altura, servirán como factores de diseño en el dimensionamiento, además de proporcionar un nivel de tratamiento de la escorrentía, en función del tiempo de retención del agua en la misma. En este sentido es importante procurar pendientes someras, e incluso la instalación de elementos de contención transversal (o represas) para reducir la velocidad y favorecer la sedimentación, en zonas con pendiente acusada.

Las cunetas vegetadas son muy adecuadas asociadas a elementos lineales, y como parte de un tren de SUDS, pueden servir como elemento de transporte de escorrentía complementario al uso de tuberías, proporcionando a su vez un valor añadido desde un punto de vista estético y ecológico.

Para ampliar sobre cunetas vegetadas

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)

[Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(español\).](#)



FIGURA 12: CUNETA VEGETADA EN DUNDEE (ESCOCIA).

5.2.11. Balsa de detención e/o infiltración

Las balsas de detención y/o infiltración son elementos inundables situados en una depresión en el terreno, que permanecen normalmente secos hasta la llegada de la precipitación, donde actúan almacenando temporalmente la escorrentía, proporcionando como función principal la detención y laminación de caudales punta; así como la sedimentación de la contaminación, contribuyendo a mejorar la calidad de la escorrentía.

Las balsas de detención y/o infiltración pueden ser de dos tipos:

Vegetadas: Proporcionan, una función complementaria de biorremediación y filtrado, mejorando la calidad de la escorrentía. Además, si las características del terreno lo permiten, pueden ser adecuadas para la infiltración, permitiendo la desconexión de múltiples cuencas o subcuencas de la red de colectores. En caso de que la infiltración no sea posible, deberán contar con elementos de desagüe. Generan espacios que favorecen la biodiversidad.

No vegetadas o superficies duras: Proporcionan una función de detención, laminando los caudales puntas, en espacios que en tiempo seco albergan usos deportivos y recreacionales, como pueden ser canchas de baloncesto, pádel o skateparks.

La construcción de estos elementos permite usos complementarios de tipo recreativo o paisajístico, o con un carácter de espacio multifunción (figura 13). Los taludes de la balsa deben ser someros o escalonados, y puede ir acompañada de diferentes elementos que favorezcan la sedimentación y el aumento del tiempo de retención o el transporte de flujos bajos de agua.

Pueden ser elementos adecuados como puntos terminales del sistema de drenaje, en caso de permitir la infiltración, aunque es recomendable que dispongan de un elemento de rebose o aliviadero para eventos mayores que el de diseño.

Para ampliar sobre balsas de detención

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(inglés\).](#)



FIGURA 13: BALSA DE DETENCIÓN MULTIFUNCIONAL. WATER SQUARE EN BENTHEMPLEIN, ROTTERDAM (PAÍSES BAJOS). FUENTE: OSSIP VAN DUIVENBODE, DE URBANISTEN.

5.2.12. Humedales artificiales y estanques

Los humedales artificiales y los estanques son elementos deprimidos con una lámina permanente de agua y funciones de atenuación y tratamiento de escorrentías, siendo los primeros más someros y con mayor superficie cubierta con vegetación emergente. En general, son de dimensiones grandes, y al contrario que otros sistemas, pueden presentar variaciones más grandes de profundidad. El crecimiento de plantas macrófitas en los mismos, proporciona un elemento de tratamiento y descomposición de contaminantes mucho mayor (figura 14).

Los humedales artificiales son elementos con una importante función paisajística y de biodiversidad. Es conveniente la división en zonas con diferentes condiciones que favorezcan un ecosistema más completo y variable.

Como elementos finales del sistema de drenaje, es adecuado que dispongan de un elemento de rebose o aliviadero, para tormentas que excedan el periodo de diseño. Sus funciones principales son la laminación de caudales pico y el tratamiento de la escorrentía.

Para ampliar sobre humedales artificiales y estanques

[Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana \(español\).](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[The SuDS Manual \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(Estanques\) \(inglés\).](#)

[San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(Humedales\) \(inglés\).](#)



FIGURA 14: ESTANQUE DE LAMINACIÓN DE PLUVIALES DE LA CIUDAD AGROALIMENTARIA DE TUDELA (NAVARRA).

6

PARÁMETROS PLUVIOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO DE SUDS EN NAVARRA

[CLICA AQUÍ PARA IR A IDENA](#)

En el dimensionamiento de sistemas de drenaje con SUDS deben analizarse dos escenarios diferenciados, no excluyentes:

El sistema de drenaje en su conjunto, incluyendo SUDS, conductos, elementos de control de flujo, etc., debe proporcionar el nivel de protección que se exija a un sistema convencional, evitando inundaciones locales, y cumpliendo con las restricciones que se establezcan en cada caso. Por ello, debe comprobarse que la captación, transporte, almacenamiento, evacuación y rebose están diseñados para cumplir los objetivos de acuerdo con las lluvias de diseño establecidas por el organismo regulador local o regional (empleando software de modelización hidrológica-hidráulica en su caso).

Para ello, habitualmente se emplean curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de aplicación en la región.

Por otro lado, los SUDS son elementos que funcionan de una manera óptima para la gestión de lluvias frecuentes de intensidad baja a moderada. Según el objetivo perseguido en cada caso, para su dimensionamiento se deben establecer unos criterios de diseño que permitan la reducción de escorrentía y/o el tratamiento completo del mayor número de eventos en un año medio, y parcialmente de aquellos eventos que sobrepasen el criterio de diseño. Esta metodología es la conocida como la “*Small Storm Hydrology*”.

Para ello, se emplean unos valores de diseño basadas en percentiles volumétricos.

El capítulo 7 ahonda en cómo puede realizarse el establecimiento de los criterios de diseño, mientras que a continuación se presentan los parámetros pluviométricos que pueden emplearse a falta de una indicación específica por parte del organismo regulador local o regional.

En la parametrización de la pluviometría para el diseño de SUDS en la Comunidad Foral de Navarra, se ha realizado una colaboración con la Universidad Pública de Navarra (UPNA), con el objetivo de caracterizar los parámetros de diseño de los SUDS, así como obtener las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de precipitación en Navarra. Fruto de dicha colaboración, se han establecido tanto los valores de diseño para eventos extremales, como los basados en percentiles volumétricos, más particulares del diseño de SUDS, que recogen los volúmenes de lluvia tales que un porcentaje (x) de los días de lluvia de un año tienen una precipitación igual o inferior a ese valor (V_x).

6.1. ANÁLISIS REGIONAL

La zonificación seleccionada ha sido la de Comarcas geográficas. A mediados de la década de los cuarenta los geógrafos Alfredo Floristán y Salvador Mensua definieron una división geográfica que sirvió de base para los estudios geográficos de Navarra, y que posteriormente alcanzó gran aceptación en la región (García, 2011). Esta comarcalización sigue criterios relacionados con el relieve, el clima, la vegetación y, en algunos casos, con la historia. Distingue dos zonas diferenciadas: al norte, La Montaña, con rasgos oceánicos y alpinos; y al sur, La Ribera mediterránea continental. Entre ambas diferencian la Navarra Media, zona de transición con caracteres mixtos de la Montaña y de la Ribera.

A partir de esta división simplificada, los autores afinan las diferencias geográficas que se encuentran dentro de cada una de las tres zonas, a través de una serie de comarcas dentro de estas regiones geográficas. De esta manera, el mapa queda de la siguiente manera (figura 15):

Montaña

Valles Pirenaicos
Navarra Húmeda del Noroeste
Cuencas Prepirenaicas

Zona Media

Navarra Media Occidental
Navarra Media Oriental

Ribera

Ribera Estellesa
Ribera Tudelana

En el Anejo III, puede consultarse la relación entre municipios de Navarra y la zonificación climática descrita en la figura 18.



FIGURA 15: DISTRIBUCIÓN DE LAS SERIES PLUVIOMÉTRICAS POR REGIONES.

Para ampliar sobre división de cuencas en Navarra

[Observaciones Territoriales de Navarra \(español\)](#)

6.2. VALORES DE DISEÑO PARA EVENTOS EXTREMALES

Para los cálculos hidrológico-hidráulicos del sistema de drenaje en condiciones de extremos se suelen aplicar las curvas intensidad-duración-frecuencia.

Se han tomado las siguientes estaciones pluviométricas como representativas de las características climáticas cada comarca identificada en el Capítulo 6.1 (tabla 1 y figura 16):

	COMARCA	ESTACIÓN
1	Navarra Húmeda del Noroeste	Doneztebe-Santesteban GN
2	Valles Pirenaicos	Isaba GN
3	Valles Prepirenaicos	Pamplona GN
4	Navarra Media Oriental	Tafalla GN
5	Navarra Media Occidental	Estella GN
6	Ribera Estellesa	Sartaguda GN
7	Ribera Tudelana	Tudela (Montes del Cierzo) GN

TABLA 1: ESTACIONES AUTOMÁTICAS SELECCIONADAS COMO REPRESENTATIVAS DE CADA COMARCA.

Para el caso de Navarra, a partir de la serie de precipitación máxima diaria en cada año, se ha procedido a ajustar una función de distribución de extremos (ecuación de Chow), con objeto de obtener la precipitación máxima diaria para diferentes periodos de retorno (T), y se han calculado las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que se muestran a continuación, para las siete regiones descritas.



FIGURA 16: ESTACIONES AUTOMÁTICAS SELECCIONADAS COMO REPRESENTATIVAS DE CADA COMARCA.

COMARCA 1: NAVARRA HÚMEDA DEL NOROESTE.**Estación de Doneztebe-Santesteban GN.**

TABLA 2. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DONEZTEBE-SANTESTEBAN GN (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	53	73	87	105	120	135
0,5	31	43	51	62	71	80
1	19	26	31	38	43	48
2	13	18	21	26	29	33
4	8	11	13	15	17	20
6	7	9	10	12	14	15
12	5	6	7	9	10	11
18	4	5	6	7	8	9
24	4	4	5	6	7	7

COMARCA 2: VALLES PIRENAICOS.**Estación de Isaba GN.**

TABLA 3. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ISABA (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	65	90	107	130	148	167
0,5	43	59	70	85	97	109
1	24	33	39	48	54	61
2	14	19	23	27	31	35
4	9	12	14	17	20	22
6	7	9	10	12	14	15
12	4	5	6	7	8	9
18	3	4	4	5	6	7
24	2	3	3	4	4	5

COMARCA 3: VALLES PREPIRENAICOS.**Estación de Pamplona GN.**

TABLA 4. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE PAMPLONA GN (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	58	80	94	112	126	139
0,5	31	45	54	64	72	80
1	18	26	32	39	44	50
2	10	14	17	21	25	28
4	6	9	10	12	14	16
6	5	7	8	10	11	13
12	3	5	5	6	7	8
18	3	3	4	4	5	5
24	2	3	3	4	4	4

COMARCA 4: NAVARRA MEDIA ORIENTAL.**Estación de Tafalla GN.**

TABLA 5. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TAFALLA GN (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	72	105	128	155	174	193
0,5	41	59	72	88	100	112
1	25	37	45	56	65	74
2	14	22	27	33	38	42
4	9	12	15	19	22	26
6	6	9	10	13	15	17
12	4	5	6	7	8	10
18	3	4	4	5	6	6
24	2	3	3	4	4	5

COMARCA 5: NAVARRA MEDIA OCCIDENTAL.

Estación de Estella GN.

TABLA 6. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ESTELLA GN (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	61	84	100	119	133	148
0,5	33	47	57	68	76	84
1	20	28	34	41	47	53
2	11	16	19	23	27	31
4	7	9	11	13	15	17
6	5	7	8	10	11	13
12	3	4	5	6	6	7
18	2	3	3	4	4	5
24	2	2	3	3	3	4

COMARCA 6: RIBERA ESTELLESA.

Estación de Sartaguda GN.

TABLA 7. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SARTAGUDA GN (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	65	96	116	140	158	175
0,5	34	50	60	74	84	94
1	20	30	37	46	53	60
2	12	17	22	27	30	34
4	7	10	12	15	18	21
6	5	7	9	11	12	14
12	3	4	5	6	7	8
18	2	3	3	4	5	5
24	2	2	3	3	3	4

Volúmenes extractados de los artículos:

[CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS LLUVIAS DE DISEÑO PARA SUDS EN NAVARRA.](#) Dr. D. José Javier López Rodríguez y Dr. D. Mikel Goñi.

[CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN EN NAVARRA](#) Dr. D. José Javier López y Dr. D. Mikel Goñi

COMARCA 7: RIBERA TUDELANA.

Estación de Tudela (Montes del Cierzo) GN.

TABLA 8. INTENSIDAD DE LLUVIA SIMULADA (EN MM/H) PARA DIFERENTES DURACIONES DE TORMENTA Y DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TUDELA, MONTES DEL CIERZO (NAVARRA).

Dur (h)	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0,167	56	83	101	122	137	152
0,5	32	46	56	68	78	87
1	17	25	31	39	45	51
2	10	15	18	23	26	29
4	6	9	11	14	17	19
6	5	7	8	10	12	13
12	3	4	4	5	6	7
18	2	3	3	4	4	5
24	2	2	2	3	3	4

Todos los valores de diseño para eventos extremos, pueden consultarse en el siguiente [enlace](#), buscando cada municipio en la página web de IDENA (Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra).

En aquellos casos en los que se requiera una modelización del sistema propuesto, se debe comprobar que el conjunto de técnicas de captación, transporte, almacenamiento, evacuación y rebose, gestiona adecuadamente las lluvias de diseño que en su caso establezca la autoridad competente (ayuntamiento, comunidad foral). A falta de otra indicación, es habitual el uso de una batería de lluvias para diferentes duraciones e intensidades medias máximas (uniformes a lo largo de la duración del evento). Estas lluvias de diseño pueden construirse a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) aquí presentadas.

En caso de que haya una restricción de caudal y/o calidad al medio receptor (bien sea este natural o se trate de una red existente), el sistema debe estar dimensionado con el volumen de almacenamiento/tratamiento suficiente, y, en su caso, se debe calcular el sistema de rebose de forma que satisfaga el límite impuesto.

Además del empleo de las lluvias de diseño, es muy interesante analizar el funcionamiento del sistema frente a lluvias reales a lo largo de un periodo de tiempo determinado, mediante la utilización de series históricas de eventos, o series estocásticas. De este modo, podemos estimar cuál sería el funcionamiento del sistema ante un año tipo, destacando, por ejemplo, la reducción del volumen de escorrentía que ya no sería bombeado y tratado en la estación

depuradora, o ante un evento en particular, para ver, por ejemplo, cómo podría haberse reducido la inundación pluvial ocurrida en su momento.

6.3. VALORES DE DISEÑO BASADAS EN PERCENTILES VOLUMÉTRICOS

Para el dimensionamiento de los SUDS, además de los criterios que puedan requerirse para eventos extremales, se suelen establecer unos valores de diseño basados en los percentiles volumétricos, que son representativos de las lluvias ordinarias. El objetivo de la utilización de estos valores es que eventos frecuentes sean gestionados completamente por el sistema de SUDS (en cuanto a reducción de escorrentía, tratamiento, etc.), mientras que eventos mayores tengan una gestión parcial, que suponga además una mejora para el sistema de drenaje (por ejemplo, en forma de laminación de los caudales).

De este modo, se calculan unos percentiles que establecen umbrales de precipitación acumulada tales que el x % de los días de lluvia no superarán este valor. Por ejemplo, el percentil V80 define un volumen de lluvia tal que el 80 % de los días en los que llueve, la precipitación acumulada será de ese valor o menor. Los percentiles de diseño calculados para las diferentes regiones vienen recogidos en la tabla 9:

En cuanto a la regionalización en Navarra para el establecimiento de dichos percentiles, se proponen las siguientes estaciones manuales como representativas de cada comarca (figura 17).

Todos los valores de diseño basados en percentiles volumétricos, pueden consultarse en el siguiente [enlace](#), buscando cada municipio en la página web de IDENA (Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra).

Estos valores promedio constituyen un eje para el dimensionamiento de los SUDS, si bien los criterios de diseño son variables teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece el ámbito de instalación. Las recomendaciones de diseño en función de la tipología de SUDS y otros condicionantes de diseño, se introducen en el siguiente capítulo.



FIGURA 17: ESTACIONES MANUALES SELECCIONADAS COMO REPRESENTATIVAS DE CADA COMARCA.

COMARCA	ESTACIÓN	V60	V75	V80	V90	V95	V98
1. Navarra Húmeda del Noreste	Doneztebe-Santesteban MAN	9	14	18	30	40	59
2. Valles Pirenaicos	Esparza de Salazar	9	14	16	24	34	49
3. Valles Prepirenaicos	Pamplona MAN	7	11	14	20	30	39
4. Navarra Media Oriental	Olite MAN	5	8	10	16	24	34
5. Navarra Media Occidental	Estella-Lizarrza MAN	6	10	12	17	23	32
6. Ribera Estellesa	Sartaguda MAN	5	8	9	16	24	32
7. Ribera Tudelana	Tudela MAN	6	9	11	15	21	35

TABLA 9: PERCENTILES DE DISEÑO PARA LAS DIFERENTES REGIONES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO (EN MM).

7

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE SUDS

7. 1. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS

Los sistemas de drenaje sostenible constituyen una oportunidad para diseñar lugares agradables para las personas, mientras se gestiona de una mejor manera el agua de lluvia.

Para asegurar el mejor ratio coste-beneficio de estas soluciones, es imprescindible considerar los SUDS desde las fases iniciales del desarrollo, de manera que queden integrados en el planeamiento urbanístico. Bien diseñados, los SUDS incrementan el valor de la propiedad, mitigan en origen el riesgo de inundaciones, moderan el efecto de isla de calor, son beneficiosos para la biodiversidad y crean espacios para las comunidades.

La estrategia de implementación de SUDS deben tener en cuenta su objetivo final: crear un sistema de drenaje resiliente, integrado en el paisaje urbano, que proteja el medio receptor, e incluso mejore su estado o funcionamiento actual. Para ello los SUDS buscan replicar la hidrología previa natural, minimizando las superficies impermeables en desarrollos urbanos y reteniendo las escorrentías en origen, pudiéndose integrar tanto en nuevos desarrollos como en proyectos de regeneración urbana, aprovechando en su caso actuaciones contempladas en planes de movilidad, de renaturalización, etc.

7. 1. 1. Tipo de proyectos

A la hora de establecer objetivos y criterios de diseño para la incorporación de SUDS en un área, se establece una diferencia entre proyectos de nuevo desarrollo y proyectos de regeneración urbana. Esta clasificación, aunque en algunos casos pueda resultar difusa, pretende diferenciar entre actuaciones donde se va a trabajar sobre el medio natural, alterándolo definitivamente; frente a actuaciones en zonas urbanas o ya desarrolladas, de tamaño pequeño o medio.

En procesos de nuevos desarrollos, la premisa inicial debe ser tratar de reproducir, a través de Soluciones basadas en la Naturaleza en la medida de lo posible, la hidrología y el drenaje presente en el lugar que se va a urbanizar, detectando los caminos preferentes de flujo, las zonas de acumulación, la infiltración al subsuelo o los puntos de vertido al medio (figura 18).

En proyectos de regeneración urbana, el objetivo será mejorar el funcionamiento del sistema actual y aumentar su resiliencia, minimizando las superficies impermeables, reduciendo la cantidad de escorrentía que entra a las redes de saneamiento y drenaje, y mejorando la calidad del agua desde el origen, etc.

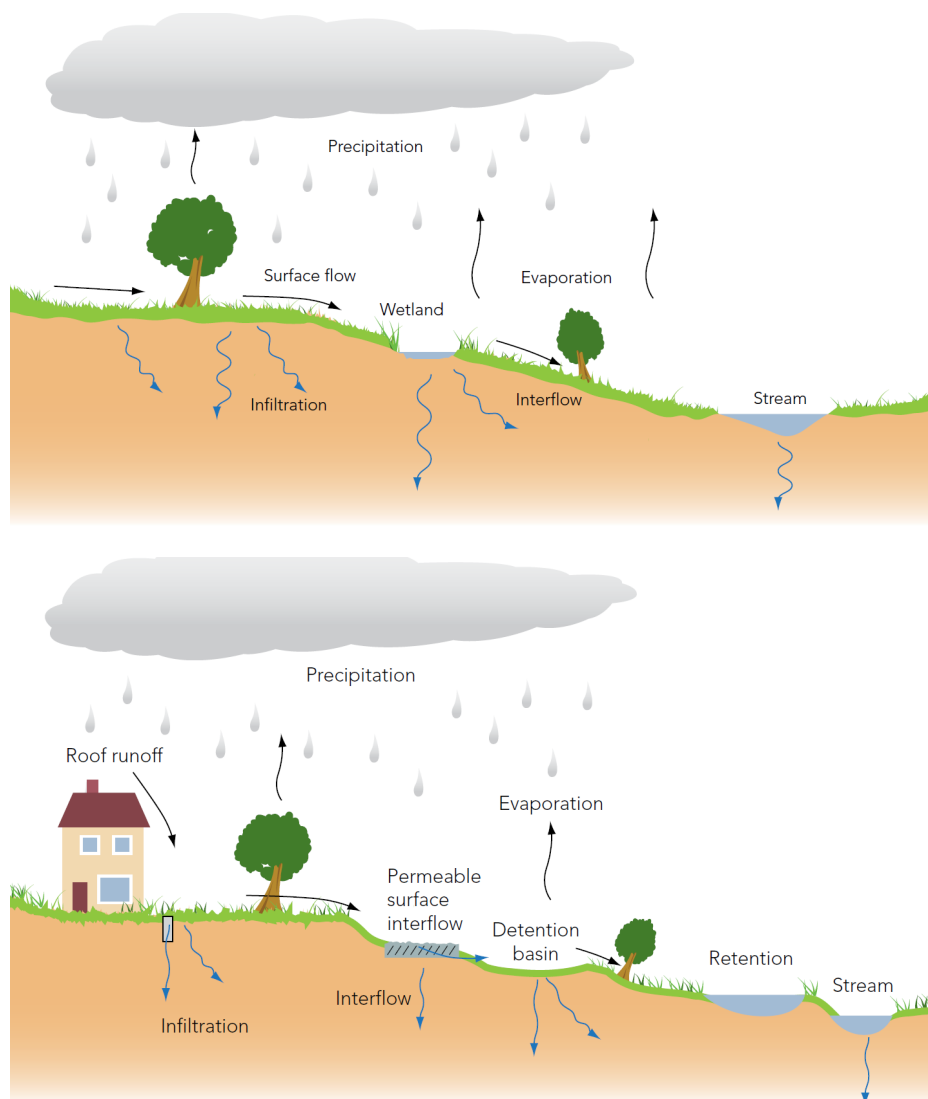


FIGURA 18: CÓMO REPRODUCIR EL SISTEMA DE DRENAJE NATURAL TRAS UN DESARROLLO. FUENTE: NHBC, 2010.

Debido a esa búsqueda, tratando de restaurar la capacidad drenante de las ciudades y pueblos, la prioridad será favorecer el almacenamiento temporal del agua de lluvia desde el momento que cada gota toca el suelo (o techo), y, siempre que sea posible y tras el tratamiento adecuado, la infiltración de la escorrentía. Esto permitirá reducir los caudales pico que provocan Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs), así como el volumen de agua a conducir y tratar en depuradoras, además de favorecer la recarga de acuíferos.

7.1.2. Medio receptor

El medio receptor es una pieza clave en la estrategia de drenaje e influirá de manera decisiva en la necesidad de reducir caudales, volúmenes o proporcionar un mayor o menor tratamiento de la escorrentía generada. De manera general, se perseguirá seleccionar el medio receptor siguiendo la prioridad de gestión de la escorrentía presentada en la figura 19, y explicada a continuación.

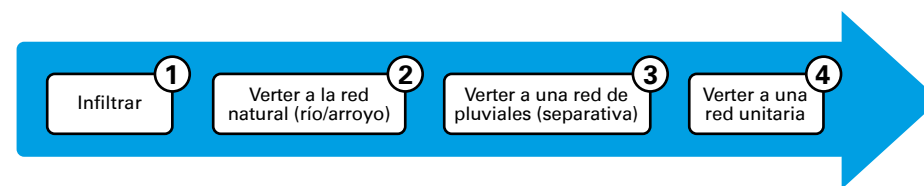


FIGURA 19: PRIORIDAD DE GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA.

En condiciones normales, la estrategia debe priorizar la infiltración, ya que contribuye a reducir los volúmenes que se descargan al medio. La infiltración servirá para recargar acuíferos, o subsuperficialmente, alimentar a los cauces fluviales de la zona. Algunos condicionantes que puedan limitar la infiltración son el tipo de suelo o la altura del nivel freático en la zona, y por ello, cualquier diseño de infiltración debe estar apoyado por ensayos de infiltración locales, siendo los ensayos de infiltración en zanja los que mejor reproducen las condiciones que se darán en los SUDS.

En segundo lugar, el sistema de drenaje propuesto puede descargar sobre elementos del medio natural, como cauces o arroyos. Tanto en estos casos, como en el vertido a redes separativas de pluviales (tercer orden de prioridad), cobra especial relevancia la necesidad de controlar los caudales que puedan llegar al medio, dado que tormentas intensas, pueden provocar picos de caudal importantes. De este modo, la estrategia debe priorizar la reducción de volúmenes por infiltración, y la atenuación de caudales mediante mecanismos de detención, que permitan desaguar al medio de forma controlada.

En ambos casos, es importante tener en cuenta la calidad de la escorrentía vertida, por lo que la presencia de elementos que favorezcan la eliminación de contaminantes (por ejemplo, mediante la biorretención) debe ser especialmente considerada. Elementos como cunetas vegetadas, permiten captar la escorrentía en origen y transportarla; proporcionando al mismo tiempo, tratamiento, reducción de caudales e infiltración de la escorrentía.

Como último orden de prioridad, el vertido puede ser sobre una red unitaria, en cuyo caso, el objetivo es la reducción de los volúmenes de escorrentía que llega a la estación depuradora, proporcionando mejoras económicas y energéticas. Al mismo tiempo, desde el punto de vista ecológico, el control de los caudales pico es prioritario, para evitar los DSUs por sobrecarga de las redes de transporte y las estaciones depuradoras.

Es por ello, que, de nuevo, son particularmente adecuados aquellos SUDS que prioricen la laminación del caudal pico y la infiltración de escorrentía no contaminada.

Para ampliar sobre estrategias para la implementación de SUDS

["Key Implementation Strategies" – Guía de diseño de infraestructuras verdes. San Mateo \(inglés\).](#)

7.2. CONDICIONANTES DE DISEÑO

Los SUDS son sistemas que se integran en edificios, jardines, plazas y calles de las ciudades y que permiten la mejora de la gestión de la escorrentía. Además, como se ha descrito previamente en estas recomendaciones, los SUDS generan beneficios complementarios: permiten el aumento de zonas verdes, la reducción de la contaminación y la mejora general del ambiente urbano. Por ello, cuando se buscan oportunidades para la incorporación de SUDS en zonas urbanas, se han de tener en cuenta, no solo criterios hidráulicos, sino su capacidad de transformación y mejora de las ciudades. La incorporación de SUDS supone una tarea multidisciplinar, y una oportunidad para repensar los entornos urbanos de forma que sean más amigables para las personas.

Para ampliar sobre la incorporación de SUDS a entornos urbanos

[Incorporación de SUDS a entornos urbanos –The SuDS Manual \(inglés\).](#)

7.2.1. Tipo de unidad urbana

En ubicaciones donde el espacio es limitado, en especial para proyectos de regeneración, se buscarán SUDS que sean más aptos o sencillos de incorporar en función del tipo de unidad urbana. El tipo de unidad urbana afecta, principalmente, al espacio disponible, al nivel de tratamiento necesario y a los objetivos de implementación de SUDS, lo cual condicionará el tipo de solución a implementar en cada espacio. Dentro de las unidades urbanas se diferencian tipologías edificatorias y unidades urbanas transversales.

Las tipologías edificatorias son los tipos de desarrollos que se incluyen en las unidades urbanas, estas son:

- Urbanización densa.
- Edificación abierta.
- Casas unifamiliares.
- Áreas industriales.
- Centros comerciales y sector terciario.

Las unidades urbanas transversales son aquellas zonas que existen en las ciudades y municipios de forma transversal en diferentes tipologías edificatorias, se incluye:

- Red viaria.
- Aparcamientos.
- Parques.

La diferenciación en unidades urbanas permitirá hacer recomendaciones de los SUDS más aptos según las zonas donde se pretendan implementar. Estas recomendaciones, que se presentan a continuación en forma de tabla (en azul se muestran las opciones primarias, y en gris claro, opciones secundarias), deben servir de guía, pero no son excluyentes con otras soluciones que se pueden implementar, y que dependerán de las características particulares de cada proyecto.

Para ampliar sobre la incorporación de SUDS en proyectos de regeneración

[Incorporación de SUDS en proyectos de regeneración – Green infrastructure Opportunities that Arise During Municipal Operations. EPA, EEUU \(inglés\).](#)

7.2. 1. 1. Urbanización densa

La urbanización densa incluye zonas urbanas céntricas, con alto nivel de impermeabilización y pocas zonas verdes; o zonas periféricas, con urbanización continua y una superficie edificada importante. Ejemplos de este tipo de urbanización son los centros históricos de las ciudades y pueblos, barrios con calles estrechas y alta densidad de edificios con escasas áreas verdes (figura 20 y figura 21).

Objetivos principales: Reducción de volúmenes de escorrentía y de caudales pico.

Limitaciones: Ausencia de espacio y servicios existentes.

Recomendaciones: Soluciones de poca ocupación en área o de poca profundidad.



FIGURA 20: EJEMPLOS DE URBANIZACIÓN Densa EN NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.

Los SUDS óptimos para este tipo de unidad urbana son los siguientes (tabla 10):

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
PAVIMENTO PERMEABLE	Media. Poca Profundidad	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En prácticamente cualquier lugar con un pavimento convencional.	Se pueden intercalar con pavimento impermeables.
ALCORQUES ESTRUCTURALES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía.	Si	En las calles con arbolado.	No pueden gestionar grandes cuencas.
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía.	Si	En pequeñas zonas verdes de la ciudad y en las orejas de intersección de calles.	Se pueden incorporar zonas de biorremediación más profundas si se quiere priorizar el tratamiento.
DEPÓSITOS RETICULARES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	Bajo plazas, calles, zonas verdes...	Debe ir precedido de un sistema de tratamiento adecuado, prioritariamente otro SUDS.

TABLA 10: SUDS RECOMENDADOS PARA URBANIZACIÓN DENSA.



FIGURA 21: EJEMPLO DE INCORPORACIÓN DE SUDS EN ZONAS DE URBANIZACIÓN DENSA.

7.2. 1. 2. Edificación abierta

Son áreas de las ciudades de creación relativamente reciente, normalmente formadas por amplias parcelas residenciales o dotacionales (con espacios abiertos comunes, bien de acceso privado o público), conectadas con avenidas o amplias calles y que cuentan con zonas verdes (figura 22 y figura 23).

Objetivos principales: Aprovechamiento y disminución de caudales pico.

Limitaciones: Usos de la superficie.

Recomendaciones: Recuperación de agua de lluvia y diseño de espacios multifuncionales.

Para ampliar sobre SUDS en edificación abierta

[Sistemas de SUDS con pavimento permeable en la Avda. Asociaciones de Vecinos. \(español\). ARTÍCULO](#)

[Sistemas de SUDS con pavimento permeable en la Avda. Asociaciones de Vecinos. \(español\). VIDEO](#)

[Interior de las urbanizaciones en la Av. Ausias March. \(español\).](#)



FIGURA 22: EJEMPLO DE EDIFICACIÓN ABIERTA EN NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.

Los SUDS más recomendados para edificación abierta se muestran en la tabla 11.

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En el interior de las parcelas, y en pequeñas zonas verdes y parterres de la zona.	Si hay aparcamientos subterráneos o estructuras que no hagan segura la infiltración, se pueden conectar a la red.
CUBIERTA VEGETADA	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En las cubiertas de los edificios o sobre aparcamientos enterrados.	Puede utilizarse como zona de esparcimiento.
ALCORQUES ESTRUCTURALES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía.	Si	En el interior de las parcelas y en aceras muy transitadas.	Gestionan pequeñas zonas impermeables.
PAVIMENTO PERMEABLE	Media	Reducción volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En zonas transitadas de interior de parcela, en aceras y en zonas de aparcamiento.	Pueden captar, filtrar y laminar el agua de lluvia antes de verterla a la red.

TABLA 11: SUDS RECOMENDADOS PARA EDIFICACIÓN ABIERTA.



FIGURA 23: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN EDIFICACIÓN ABIERTA.

7.2. 1.3. Casas unifamiliares

Esta clasificación incorpora un amplio espectro de áreas que se encuentran tanto en las afueras de las ciudades como en las zonas rurales. Incluyen desde casas adosadas organizadas en urbanizaciones con pequeños jardines, pasando por casas dispersas en pequeñas fincas, hasta casas totalmente aisladas. Este tipo de unidad urbana se caracteriza por un aumento de zonas permeables y de espacio disponible con respecto a otras tipologías (figura 24).

Objetivos principales: Reducción del volumen de escorrentía y disminución de caudales pico.

Limitaciones: Tamaño de la actuación.

Recomendaciones: Aprovechar espacios sin uso determinado.

Para ampliar sobre SUDS en casas unifamiliares

[SUDS para casas – “A simple guide to Sustainable Drainage Systems for housing” \(inglés\).](#)



FIGURA 24: EJEMPLOS DE ZONAS CON CASAS UNIFAMILIARES EN NAVARRA.

Los tipos de SUDS más recomendados para esta tipología se muestran en la siguiente tabla (tabla 12).

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
ALJIBES	Baja	Aprovechamiento del agua de lluvia.	Si	En los laterales de las casas subterránea pie de bajante.	Se puede reutilizar para agua de riego y otros usos que no requieran tratamiento del agua.
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En jardines, zonas exteriores de las casas y en pequeños parterres y zonas verdes.	Se pueden incorporar a pie de bajante o junto a los canalones y conectar el rebose a la red.
CUBIERTAS VEGETADAS (EXTENSIVAS)	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En las cubiertas de las casas.	Hay una limitación en cuanto a las pendientes de las cubiertas (ver apartado 5.2.2).
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	Baja	Reducción volumen de escorrentía y del caudal pico.	No	En los límites de los jardines y zonas pavimentadas.	Cuidar el diseño para evitar arrastre de sedimentos que puedan colmar la zanja.

TABLA 12: TIPOLOGÍA DE SUDS RECOMENDADOS PARA CASAS UNIFAMILIARES..

Ejemplos de incorporación de SUDS en casas unifamiliares (figura 25):



FIGURA 25: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN CASAS UNIFAMILIARES.

7.2. 1. 4. Zonas industriales

Las zonas industriales se caracterizan por poseer grandes espacios abiertos con naves que se intercalan con aparcamientos, zonas verdes y grandes avenidas. En estos entornos, la incorporación de SUDS permite reducir la escorrentía generada por las zonas impermeables y tratarla antes de que llegue a los cursos de agua.

El tratamiento de la escorrentía juega un papel prioritario debido a la presencia de hidrocarburos del tráfico rodado y otros contaminantes derivados de las industrias. Al mismo tiempo, la presencia de grandes cubiertas impermeables genera cantidades importantes de escorrentía (figura 26).

Objetivos principales: Tratamiento de la escorrentía y disminución de caudales pico.

Limitaciones: Cargas verticales importantes.

Recomendaciones: Separación entre escorrentía proveniente de superficies de tránsito y de superficies de cubierta.

Para ampliar sobre SUDS en zonas industriales

[Prologis Park en Sant Boi \(español\).](#)

[Ribarroja del Túrria, plataforma logística \(español\).](#)

[Almacén logístico en Azuqueca de Henares \(español\).](#)

[Diseño de SUDS para una zona industrial – Business and Industrial Park \(inglés\).](#)



FIGURA 26: EJEMPLOS DE ZONAS INDUSTRIALES EN NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.

A continuación, se destacan los SUDS prioritarios para las zonas industriales (tabla 13):

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
PARTERRES INUNDABLES (ZONA DE BIORRETENCIÓN)	Baja	Tratamiento y reducción del caudal pico.	Si	En los bordes interiores de parcela.	Permite el tratamiento de la escorrentía.
DEPÓSITOS RETICULARES	Baja	Reducción del caudal pico.	Si	Bajo áreas de aparcamiento.	Se debe llevar a cabo el tratamiento de la escorrentía previamente.
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	Baja	Aprovechamiento y reducción de volúmenes de escorrentía.	Si	Enterrados si se dispone de poco espacio.	Pueden tratarse las aguas para aumentar los usos de la escorrentía captada.
CUNETAS VEGETADAS	Baja	Tratamiento y transporte.	Si	En los perímetros de las naves.	Permite el transporte hacia otras soluciones.

TABLA 13: TIPOLOGÍA DE SUDS RECOMENDADOS PARA ZONAS INDUSTRIALES.

En España existen diversos ejemplos de incorporación de SUDS en zonas industriales (figura 27):



FIGURA 27: EJEMPLOS DE INCORPORACIÓN DE SUDS EN ZONAS INDUSTRIALES.

7.2. 1. 5. Sector terciario

El sector terciario, que incluye centros comerciales, espacios recreativos y grandes superficies, está caracterizado por tratarse de espacios situados en las afueras de las ciudades que poseen grandes extensiones de aparcamientos y cubiertas. Estas zonas suelen estar alejadas de las redes urbanas y su creación supone un aumento considerable de la superficie impermeable total. A diferencia de las zonas industriales, estas zonas requieren un tratamiento menos exigente de la escorrentía (pero también importante), y se pueden incorporar elementos con valor estético y de marketing (figura 28). En este sentido cabe destacar el valor de la incorporación de SUDS para la obtención de certificaciones de sostenibilidad como [BREEAM](#) y [LEED](#).

Objetivos principales: Aprovechamiento del agua y disminución de volúmenes y caudales pico.

Limitaciones: Espacios muy transitados.

Recomendaciones: Aprovechar soluciones que proporcionen valor recreativo y estético.



FIGURA 28: EJEMPLO DE SECTOR TERCIARIO EN NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.

Los tipos de SUDS más recomendados para esta tipología se muestran en la tabla 14.

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
ALJIBES	Baja	Aprovechamiento del agua de lluvia y reducción de volúmenes.	Si	De forma subterránea o visto, como icono de sostenibilidad.	Se puede aprovechar para riegos y otros usos que no requieran la calidad del agua potable.
CUBIERTAS VEGETADAS	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En las cubiertas o sobre estructuras (plazas elevadas, aparcamientos, etc.).	Pueden ser de tipo intensiva y utilizarse como zonas recreativas.
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Tratamiento y reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	En accesos y zonas estanciales.	Pueden incorporar diferentes tipos de vegetación con objetivos estéticos.
ALCORQUES ESTRUCTURALES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía.	Si	En zonas peatonales muy transitadas.	Permiten el desarrollo del arbolado sin comprometer espacio de paso.

TABLA 14: TIPOLOGÍA DE SUDS RECOMENDADOS PARA EL SECTOR TERCIARIO.

A continuación, se muestra un ejemplo de implementación de SUDS en el sector terciario (figura 29):



FIGURA 29: EJEMPLOS DE INCORPORACIÓN DE SUDS EN EL SECTOR TERCIARIO.

7.2.1.6. Calles

La tipología de calles que se pueden encontrar en los núcleos urbanos de Navarra es muy diversa, dependiendo del tamaño, así como de los distintos barrios dentro de una misma ciudad (Figura 30). Las calles ocupan aproximadamente un 30 % de las ciudades y suelen estar muy impermeabilizadas, por lo que generan grandes caudales que aumentan la presión sobre las redes de colectores. En las calles, dependiendo del tráfico, su anchura, el espacio de las aceras, etc., habrá diferentes oportunidades para implementar SUDS, y la prioridad será la reducción del sellado del suelo aprovechando actuaciones de regeneración urbana que se lleven a cabo, derivadas, entre otros, de planes de movilidad y de renaturalización urbana. El objetivo prioritario será reducir la cantidad de agua que llega a la red de saneamiento y drenaje municipal, tanto en volúmenes como en caudales.



FIGURA 30: EJEMPLO DE RED VIARIA EN NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.

Objetivos principales: Reducción de los volúmenes de escorrentía y de los caudales pico.

Limitaciones: Espacio limitado.

Recomendaciones: Aprovechar espacios no transitados para la incorporación de SUDS (orejas en cruces de calles, interiores de rotondas, medianas, etc.).

Para ampliar sobre SUDS en calles

[EXPERIENCIAS. Avenida del Greco, Sevilla \(español\).](#)

[EXPERIENCIAS. Avenida Gasteiz, Vitoria-Gasteiz \(español\).](#)

[EXPERIENCIAS. Can Cortada, Barcelona \(español\).](#)

[EXPERIENCIAS. Ejes verdes, Barcelona \(español\).](#)

[MANUALES. Greening DC Streets \(inglés\).](#)

[MANUALES. Green Streets Design Manual Philadelphia \(inglés\).](#)

[MANUALES. Sustainable Streets Master Plan, San Mateo \(inglés\).](#)

[MANUALES. The SUDS Manual \(inglés\).](#)

A continuación, se muestran infografías de ejemplos incorporación de SUDS en ciudades e imágenes de ejemplos reales (figura 31):



Jardines de lluvia en parterres y orejas,
y cunetas vegetadas en medianas.
Fuente: City of Portland, 2008.

FIGURA 31: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN CALLES.

Los SUDS que se pueden incorporar en calles y avenidas dependerán del espacio concreto de la vía, por ello, en la tabla 15, se muestran los SUDS seleccionados en función de la ubicación concreta.

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	PRIORIDAD	UBICACIÓN RECOMENDADA			
		ACERAS Y CALLES PEATONALES	MEDIANAS, ROTONDAS Y OREJAS	CARRILES BICI	
PARTERRES INUNDABLES (ZB – Zonas Biorretención) (JL – Jardines de lluvia)	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	X (JL)	X (ZB)		Se puede incorporar en diferentes zonas con objetivos estéticos además del de gestión de la escorrentía.
BALSAS DE DETENCIÓN / INFILTRACIÓN	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.		X		Se puede incorporar en zonas amplias como rotondas y gestionar la escorrentía de zonas impermeables adyacentes.
PAVIMENTOS PERMEABLES	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	X		X	Pueden ser de distintas tipologías en función de la superficie y la estética que se busque.
ALCORQUES ESTRUCTURALES	Reducción del volumen de escorrentía.	X			Se pueden sustituir por los alcorques convencionales.

TABLA 15: TIPOLOGÍA DE SUDS RECOMENDADOS PARA CALLES.



FIGURA 31: EJEMPLOS DE INCORPORACIÓN DE SUDS EN CALLES.

7.2. 1. 7. Aparcamientos

En este apartado se incluyen todos los aparcamientos al aire libre dentro de las ciudades y en las afueras, como en los centros comerciales (Figura 32). Los aparcamientos suponen grandes superficies impermeables que, en los eventos de lluvia, generan una gran cantidad de escorrentía vertida a los colectores (o al medio natural, en su caso), por lo que la incorporación de SUDS en estas zonas puede suponer un impacto positivo muy significativo sobre el funcionamiento del sistema de saneamiento y drenaje.

Objetivos principales: Tratamiento de la escorrentía y disminución de volúmenes y caudales pico.

Limitaciones: Equilibrio entre espacio de aparcamiento y espacio para soluciones de drenaje.

Recomendaciones: Soluciones que no requieran uso de superficie adicional y aprovechamiento de espacios muertos y zonas de división entre área de aparcamiento, de rodadura y de acceso peatonal.

Para ampliar sobre SUDS en aparcamientos

[Aparcamiento del Wanda Metropolitano, Madrid \(español\).](#)

[Pavimentos permeables – The SUDS Manual \(inglés\).](#)



FIGURA 32: APARCAMIENTOS EN DIFERENTES ZONAS DE NAVARRA. FUENTE: GOOGLE MAPS.



FIGURA 33: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN APARCAMIENTOS.

En la siguiente tabla se destacan los SUDS prioritarios para grandes extensiones de aparcamientos (tabla 16).

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
PAVIMENTO PERMEABLE	Media	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	Sustituyendo al pavimento convencional en las plazas de aparcamiento.	Respetar las proporciones de pavimento impermeable que drena a permeable, y evitar cuencas con arrastres de sedimentos.
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	No	Espacios entre aparcamientos y en los límites del aparcamiento.	Se podrían sustituir por drenes filtrantes cuando la infiltración no sea posible.
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Reducción del volumen de escorrentía y del caudal pico.	Si	Espacios entre aparcamientos y accesos.	Contribuye a la habitabilidad del espacio.
CUNETAS VEGETADAS	Baja	Tratamiento y transporte.	No	Espacios entre aparcamientos y en los límites del aparcamiento.	Contribuye a la renaturalización del espacio.

TABLA 16: SUDS RECOMENDADOS PARA APARCAMIENTOS.



FIGURA 33: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN APARCAMIENTOS.

7.2. 1. 8. Parques

Esta categoría incluye todos los parques y zonas verdes de los núcleos urbanos. Son áreas en general permeables que incluyen vegetación de distintos tipos y tiene un objetivo recreativo y de biodiversidad (Figura 34). Estas áreas pueden tener la capacidad de gestionar su propia escorrentía y la de las zonas impermeables adyacentes a través de la incorporación de SUDS, pudiendo incorporar trenes de tratamiento con más facilidad que otras zonas urbanas por tener menor limitación de espacio.

Objetivos principales: Disminución de volúmenes de escorrentía y de caudales pico, no sólo propios sino también de zonas adyacentes.

Limitaciones: La funcionalidad de los espacios.

Recomendaciones: Aprovechar soluciones que proporcionen valor recreativo y estético. Priorizar soluciones superficiales y limitar el uso de elementos enterrados.

Para ampliar sobre SUDS en parques y zonas verdes

[Por una Valencia más azul, más verde. Parc Central, València \(español\).](#)

[El valor social y ambiental de los SUDS en el diseño de las zonas verdes: el caso de Valdebebas, Madrid \(español\).](#)

[Corredor verde de la Calle San Cristóbal de Moura, Barcelona \(español\).](#)

[Cunetas vegetadas en el Jardí del Túria, València \(español\).](#)

[SUDS en parques – Green Infrastructure in Parks \(inglés\).](#)



FIGURA 34: EJEMPLOS DE PARQUES Y ZONAS VERDES EN NAVARRA.

Los SUDS más recomendados para parques y zonas verdes se muestran en la tabla 17.

TIPO DE SUDS RECOMENDADOS	TENER EN CUENTA				COMENTARIOS
	NECESIDAD DE ESPACIO	PRIORIDAD	SE PUEDE UTILIZAR SIN INFILTRACIÓN	UBICACIÓN RECOMENDADA	
BALSAS DE DETENCIÓN / INFILTRACIÓN	Medio	Detención y/o infiltración.	Si	Espacios deprimidos del parque.	Pueden ser de diferentes tamaños. Se pueden incorporar soluciones multifuncionales con diferentes usos en tiempo seco.
CUNETAS VEGETADAS	Baja	Tratamiento y transporte.	Si	Espacios a los lados de la red de caminos del parque.	Permite el transporte de la escorrentía hacia otros elementos
PARTERRES INUNDABLES	Baja	Tratamiento y reducción del volumen de escorrentía.	Si	En distintas zonas del parque.	Se pueden incorporar zonas de biorremediación que gestionen y traten las escorrentías de calles adyacentes y vías.
HUMEDALES	Alto	Tratamiento y detención.	Si	Grandes espacios, espacios singulares.	Tiene beneficios para la biodiversidad además de la gestión de la escorrentía y su tratamiento. Tiene valor de hito paisajístico.

TABLA 17: SUDS RECOMENDADOS PARA PARQUES Y ZONAS VERDES.

A continuación, se muestra un ejemplo de implementación de SUDS en parques y zonas verdes (figura 35):

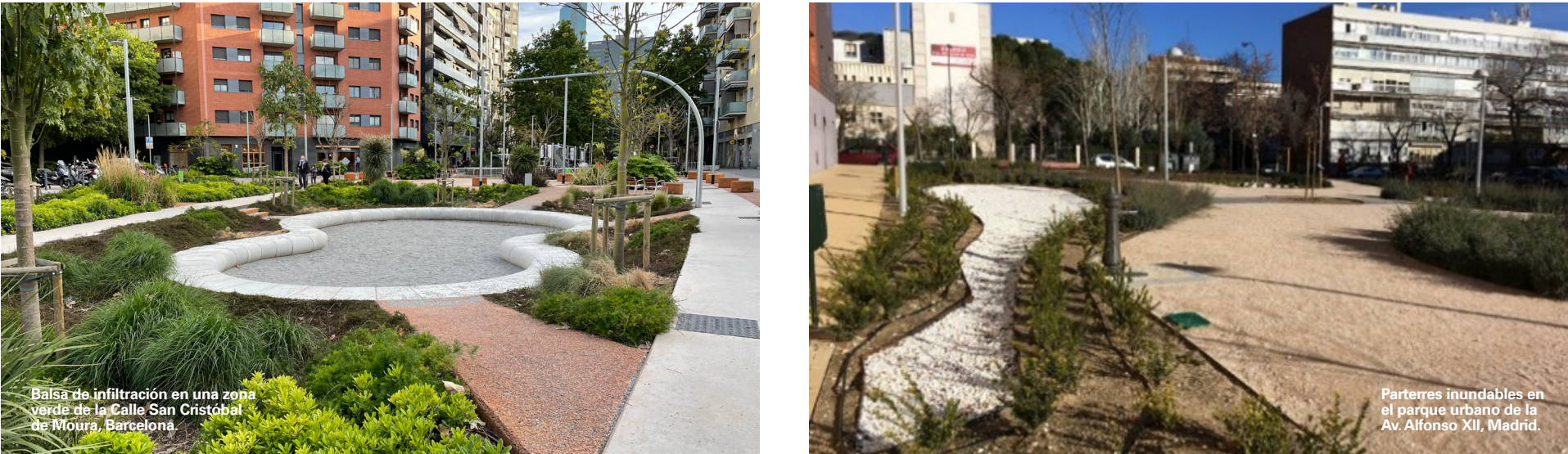


FIGURA 35: EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN PARQUES Y ZONAS VERDES.

7.2. 1. 9. Relación entre tipología de SUDS y tipo de unidad urbana

A modo de resumen, en la Tabla 18 se muestra una relación entre la tipología de unidad urbana y los tipos de SUDS más recomendados en cada una.

TIPOLOGÍA DE SUDS	TIPOS DE UNIDADES URBANAS							
	URBANIZACIÓN DENSA	EDIFICACIÓN ABIERTA	CASAS UNIFAMILIARES	ZONAS INDUSTRIALES	SECTOR TERCIARIO	CALLES	APARCAMIENTOS	PARQUES
ALJIBES	■	■	■	■	■			
CUBIERTAS VEGETADAS	■	■	■	■	■			
PAVIMENTOS PERMEABLES	■	■	■	■	■	■	■	■
ALCORQUES ESTRUCTURALES	■	■	■	■	■	■	■	■
PARTERRES INUNDABLES	■	■	■	■	■	■	■	■
ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN	■	■	■	■	■	■	■	■
DEPÓSITOS RETICULARES	■	■	■	■	■	■	■	■
DRENES FILTRANTES	■	■	■	■	■	■	■	■
FRANJAS FILTRANTES			■	■			■	■
CUNETAS VEGETADAS		■	■	■	■	■	■	■
BALSAS DE DETENCIÓN E/O INFILTRACIÓN		■		■	■	■	■	■
HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES		■		■	■		■	■

RECOMENDABLE ■ ADECUADO ■ POSIBLE ■

TABLA 18: RELACIÓN ENTRE TIPOLOGÍA DE SUDS Y TIPO DE UNIDAD URBANA.

7.2.2. Planteamientos en nuevos desarrollos

El planteamiento del uso de SUDS en zonas no urbanizadas, debe introducirse desde una fase incipiente del planeamiento, tratando de simular y mantener la hidrología natural de manera que el impacto sobre el medio receptor sea el menor posible, incluso positivo.

En el siguiente ejemplo, en Leicester (Reino Unido), se puede observar un buen ejemplo de aplicación de este planteamiento sobre nuevos desarrollos (figura 36).

En la figura 36 se puede observar un pequeño jardín de lluvia. Este jardín de lluvia recibe las escorrentías de las edificaciones y la red viaria a través de una serie de embocaduras de mampostería, actuando como primer elemento del tren de SUDS, y proporcionando funciones de filtración, detención y biorremediación. En la figura de la derecha, se observa una cuneta vegetada, actuando como elemento de transporte de la escorrentía, dentro del tren de SUDS. Dadas las características de rugosidad y la presencia de vegetación, la cuneta vegetada proporciona una función de reducción de la velocidad del flujo, favoreciendo procesos de filtración y tratamiento.



FIGURA 36: INTEGRACIÓN DE SUDS EN NUEVOS DESARROLLOS: JARDÍN DE LLUVIA (IZQUIERDA) Y CUNETA VEGETADA (ARRIBA). LEICESTER (REINO UNIDO).

En la figura 37 se muestra un elemento de retención de flujo situado en una de las cunetas vegetadas del sistema. El uso de represas en las cunetas vegetadas proporciona principalmente una función de detención, y favorece, debido al aumento del tiempo de retención, las funciones de biorremediación e infiltración, si las características del terreno la permite.

Es destacable el uso de materiales naturales como madera y escollera en la construcción de las represas, como ejemplo de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

En la figura 37, abajo, se puede observar una balsa de infiltración, situada en uno de los puntos bajos del sistema. De forma habitual esta balsa sirve un propósito recreativo, manteniéndose inundada en eventos de precipitación.



FIGURA 37: INTEGRACIÓN DE SUDS EN NUEVOS DESARROLLOS: REPRESA DE MADERA EN CUNETTA VEGETADA (ARRIBA) Y Balsa de infiltración (ABAJO). LEICESTER (REINO UNIDO).

El punto terminal de la red, es un humedal, que dispone de lámina de agua permanente, proporcionando tanto biorremediación como generando un espacio de biodiversidad en el área.

Otros ejemplos

PARQUE TECNOLÓGICO “PORTE DES ALPES”

[Información general \(francés\).](#)

[Póster descriptivo \(francés\).](#)

[Documento pedagógico descriptivo del parque \(francés\).](#)

7. 2. 3. Oportunidades didácticas en el planteamiento de SUDS

La implementación de SUDS en zonas urbanas supone una oportunidad para la formación y la divulgación de estas soluciones.

Por ejemplo, en la zona verde de la calle Alfonso XIII en Madrid se incorporaron medidas con SUDS entre ellos jardines de lluvia, zanjas y pozos de infiltración que gestionan la escorrentía generada en el propio parque. Para transmitir a la ciudadanía información sobre el funcionamiento y los diferentes elementos que incorpora, la zona verde cuenta con cartelería que explica la distribución de los SUDS en el área.

Adicionalmente, junto a la mayoría de los SUDS se ubicaron una serie de carteles que explican su funcionamiento, elementos que lo forman, etc. (figura 38 y figura 39). Esto permite al visitante ser consciente de la presencia de estos elementos, y crear consciencia de la importancia de tratar el agua de lluvia como un valioso recurso, y no como un residuo.



FIGURA 38: DISTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS EN LA ZONA VERDE. C/ ALFONSO XIII, MADRID.

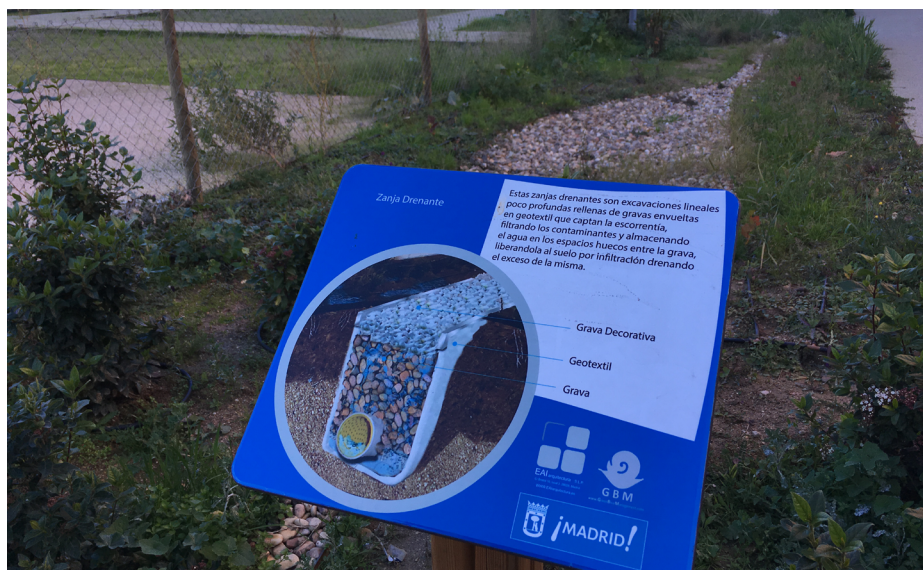


FIGURA 39: CARTELERÍA QUE EXPLICA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA ZANJA DRENANTE. C/ ALFONSO XIII, MADRID.

Otros ejemplos

[PUBLIC SERVICE PARK EN CINCINNATI \(EEUU\).](#)

[Página oficial del parque \(inglés\).](#)

[Visita virtual al parque \(inglés\).](#)

[Tríptico resumen \(inglés\).](#)

[Tipos de SUDS presentes en el parque y su funcionamiento \(inglés\).](#)

[RUTA DE LOS SUDS BENAGUASIL \(VALENCIA\).](#)

[El agua en Benaguasil. Un viaje en el tiempo \(español\).](#) El documento relata la historia de la gestión del agua en la ciudad desde los primeros asentamientos humanos hasta la actualidad. Presenta una guía de soluciones a través de SUDS y experiencias locales.

7.3. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE SUDS

7.3.1. Funciones de los SUDS

En la siguiente tabla (tabla 19) se presentan las funciones primarias (P) y secundarias (S) de cada tipología de SUDS. Esta clasificación es general, y en función del diseño concreto del sistema de drenaje, o de la existencia de un tren de tratamiento, el sistema puede cumplir funciones adicionales.

Como ejemplo, la incorporación de represas en una cuneta vegetada permite crear pequeñas acumulaciones de agua que reducen la velocidad del flujo, y confieren a la cuneta una función de detención adicional a las funciones indicadas en la tabla.

TIPO DE SUDS	FUNCIONES DE LOS SUDS				
	FILTRACIÓN	DETENCIÓN	TRATAMIENTO	RETENCIÓN	INFILTRACIÓN
ALJIBES		S		P	
CUBIERTAS VEGETADAS		S		P	
PARTERRES INUNDABLES			P		S
BALSAS DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN		P			S
CUNETAS VEGETADAS			P		S
ALCORQUES ESTRUCTURALES		S			P
PAVIMENTOS PERMEABLES	P				S
DRENES FILTRANTES	P	S			
POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN	S				P
DEPÓSITOS RETICULARES		S			P
HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES		S	P		

TABLA 19: FUNCIONES ASOCIADAS A CADA TIPOLOGÍA DE SUDS. FUENTE: GUÍA BÁSICA DE DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA EL TÉRMINO MUNICIPAL DE CASTELLÓ DE LA PLANA.

7.3.2. Otros criterios

Conocidas las funciones principales y secundarias que pueden desempeñar cada uno de los SUDS, se presentan otros criterios con influencia en la elección de los elementos del sistema de drenaje.

Estos criterios están indicados siguiendo un formato de lista de verificación, y no son excluyentes con otros criterios que puedan aparecer de acuerdo con las características del proyecto:

- **Zona inundable:** Es habitual que algunos elementos finales de un tren de SUDS puedan encontrarse en una llanura fluvial inundable, previo al vertido al cauce. Si bien, elementos como balsas de atenuación son plenamente compatibles con la inundación, de cara al cálculo de la capacidad de estos elementos, hay que considerar que, frente a un determinado periodo de retorno, el elemento de detención/atenuación puede encontrarse parcial o totalmente lleno.
- **Nivel freático:** De cara a la construcción de elementos de infiltración, así como la instalación de elementos en profundidad, el nivel freático debe ser conocido. De lo contrario, la capacidad de infiltración puede verse limitada, se pueden producir eventos de exfiltración en zonas preparadas para la infiltración, o se pueden producir problemas de flotación en elementos enterrados estancos.
- **Topografía:** La orografía influirá en la selección y el diseño de los SUDS. Gradientes elevados pueden dificultar su instalación, y reducir la capacidad de almacenamiento superficial. Cualquier elemento de drenaje sostenible que se instale en pendientes elevadas, deberá analizar las velocidades del flujo en los diferentes elementos, para garantizar que se producen de forma adecuada los procesos de filtración y biorremediación, así como paliar efectos no deseados como la erosión.
- **Tipo de suelo:** Conocer el coeficiente de permeabilidad del suelo es esencial de cara a proponer la evacuación de la escorrentía por infiltración en un área, o descartar esta opción. Para ello, deben realizarse una serie de ensayos in situ de caracterización del suelo, entre los que destaca el ensayo de permeabilidad en zanja (BRE Digest 365 Soakaway Design). Por otro lado, la presencia de materiales solubles (yesos) o material de derribo y demolición en capas importantes, puede conducir a descartar soluciones de infiltración de escorrentías.
- **Suelo contaminado:** Previo a la realización del proyecto, debe detectarse la presencia de suelos contaminados, por hidrocarburos u otras sustancias

nocivas (metales pesados, pesticidas). Esto puede provocar la necesidad de retirar los suelos contaminados, o acudir a soluciones que eviten la infiltración en el área para aislar y no movilizar dicha contaminación.

- **Especies protegidas:** La cercanía de la obra o elementos de drenaje a zonas habitadas por especies protegidas, debe considerarse en fases iniciales de proyecto, de forma que se apliquen las medidas correctoras necesarias para causar el mínimo impacto.

7.4. CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SUDS

Una vez introducidos, los condicionantes y criterios anteriores, en este capítulo se establecen una serie de criterios para el dimensionamiento y cálculo de los SUDS. Estas recomendaciones incluyen la gestión de la calidad del agua, el control de caudales y la gestión de los volúmenes de escorrentía.

Estos criterios no son independientes en ningún caso. Factores como el tiempo de permanencia, o la velocidad de flujo están plenamente relacionados con el tratamiento y con los criterios volumétricos, y por ello, volúmenes de gestión ambiciosos que generen detención, tratamiento e infiltración en origen, proporcionan al mismo tiempo, reducción de caudales y mejora de la calidad de forma complementaria.

7.4.1. Criterios de tratamiento de la escorrentía

La gestión de la calidad de la escorrentía es parte de los pilares de los SUDS y por tanto debe tenerse en cuenta en el diseño desde el comienzo del proyecto. En este sentido, se deben buscar soluciones con SUDS que permitan el cumplimiento de los objetivos planteados y de relevancia en cada proyecto.

El tratamiento de la escorrentía se lleva a cabo en los SUDS a través de procesos de sedimentación, filtración, biorremediación, etc. incorporados en distintos tipos de soluciones. En muchos casos son procesos complementarios y cuando trabajan de forma conjunta, permiten obtener resultados de calidad mayores.

Del mismo modo, la reducción de volúmenes de escorrentía por procesos de infiltración necesita en muchas ocasiones de un tratamiento previo que evite la contaminación de los suelos y acuíferos. Por ello, en el diseño se debe tener en cuenta el potencial de tratamiento de cada tipo de SUDS, y su combinación en cadena.

En este sentido el SUDS Manual (CIRIA, 2015) propone un sistema con índices de mitigación de la contaminación asociados a los distintos tipos de

SUDS. Estos índices permiten estimar el tratamiento que lleva a cabo cada tipología de SUDS de forma general. Cuando los índices de mitigación (tabla 21) se comparan con los índices de peligrosidad de contaminantes (tabla 20) se puede estimar qué tipos de SUDS serían necesarios para realizar un tratamiento adecuado en una ubicación concreta.

USO DEL SUELO	NIVEL DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	METALES	HIDROCARBUROS
Tejados o cubiertas en una atmósfera limpia.	Bajo	0,2	0,2	0,05
Tejados o cubiertas en una atmósfera contaminada (Industrial y terciario).	Medio	0,3	0,2-0,8	0,05
Caminos o viales con intensidades de tráfico muy débiles. Pistas deportivas. Zonas impermeables de uso lúdico. Zonas de aparcamiento residenciales. Espacios comunes de zonas residenciales de menos de 50 viviendas. Zonas de estacionamiento con poca renovación.	Bajo	0,5	0,4	0,4
Mercados al aire libre. Zonas comerciales peatonales. Zonas de estacionamiento con renovación media. Zonas residenciales con poco tráfico. Zonas industriales sin contaminantes peligrosos. Viales de capacidad media y baja. Aeródromos de baja intensidad de tráfico. Áreas agropecuarias sin uso de sustancias contaminantes.	Medio	0,7	0,6	0,7
Zonas peatonales o industriales de alta densidad de tráfico. Zonas de estacionamiento de alta renovación. Áreas con alto tráfico de vehículos. Aeródromos con alta intensidad de tráfico. Áreas industriales de acopio que manejen sustancias contaminantes. Áreas vinculadas a EDARs o de tratamiento de RSU. Áreas de actividad agropecuaria con uso de sustancias contaminantes.	Alto	0,8	0,8	0,9

TABLA 20: ÍNDICES DE PELIGROSIDAD SEGÚN ÁREAS DE ZONAS URBANIZADAS FUENTE: GUÍA BÁSICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA CIUDAD DE VALÈNCIA.

En aquellas zonas donde el índice de mitigación de un solo elemento no es suficiente, se requerirá la actuación de dos o más elementos en serie. Se utilizará un factor de 0,5 para considerar la reducción en rendimiento de los componentes secundarios y terciarios.

Tipología de SUDS	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	METALES	HIDROCARBUROS
Cubiertas vegetadas	0,4	0,4	0,4
Parterres inundables (Jardín de lluvia)	0,6	0,5	0,6
Parterres inundables (Zona de biorretención)	0,8	0,8	0,8
Balsas de detención	0,5	0,5	0,6
Balsas de infiltración (**)	0,6	0,5	0,6
Cunetas vegetadas	0,5	0,6	0,6
Alcorques estructurales	0,6	0,5	0,6
Pavimentos permeables	0,7	0,6	0,7
Drenes filtrantes	0,5***	0,4	0,4
Zanjas y pozos de infiltración	0,5***	0,4	0,4
Depósitos reticulares	*	*	*
Humedales artificiales y estanques	0,8	0,8	0,8

* Por sí mismos no ofrecen tratamiento, dependen del sistema complementario en la entrada.

** Considerando una capa de vegetación densa sobre un sustrato de 300mm de profundidad. En caso de no disponer de vegetación, el rendimiento se reduce a 0,4-0,3-0,3 respectivamente.

*** Considerando la capa superficial de geotextil.

TABLA 21: ÍNDICES DE MITIGACIÓN PARA LAS PRINCIPALES TÉCNICAS SUDS. FUENTE: GUÍA BÁSICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA CIUDAD DE VALÈNCIA.

Para ampliar

[The SUDS Manual \(inglés\), Capítulo 26, Apartado 7.1](#)

[Guía de Valencia \(español\), Capítulo 6, Apartado 6.3](#)

7.4.2. Criterios de reducción del volumen de escorrentía

Se propone un criterio de diseño para la reducción de volúmenes de escorrentía basado en los percentiles de la serie pluviométrica, que sugiere unos criterios más laxos en urbanizaciones densas y actuaciones de regeneración urbana; y unos criterios más restrictivos en zonas de nuevo desarrollo, o que cuenten con espacios abiertos disponibles. Se propone un V_{60} como un valor mínimo de diseño y un valor de V_{80} como valor estándar de diseño en actuaciones de regeneración urbana.

De acuerdo a la tipología urbana previamente descrita en el capítulo 7.2.1, se proponen los criterios de la tabla 22 para las actuaciones descritas, cuyo valor dependerá de la comarca de Navarra en la que se encuentre la actuación (según se ha presentado en el capítulo 6.1).

Tipología urbana	Criterio	
	ACTUACIONES DE REGENERACIÓN	PLANTEAMIENTO EN NUEVOS DESARROLLOS
Urbanización densa	V_{60}	V_{70}
Edificación abierta	V_{80}	V_{90}
Casas unifamiliares	V_{80}	V_{90}
Áreas industriales	V_{80}	V_{90}
Centros comerciales y sector terciario	V_{80}	V_{90}
Red viaria	V_{80}	V_{90}
Aparcamientos	V_{80}	V_{90}
Parques	V_{95}	V_{98}

TABLA 22: CRITERIO VOLUMÉTRICO DE ACUERDO A LA TIPOLOGÍA URBANA, PARA OPORTUNIDADES DE REGENERACIÓN Y ACTUACIONES PUNTUALES.

Como se ha comentado anteriormente, cuando la reducción de volúmenes de escorrentía se realice por procesos de infiltración, en el diseño se seleccionarán los SUDS adecuados para evitar la contaminación de suelos y acuíferos (ver apartado 7.4.1).

7.4.3. Criterios de control de caudales

El control de caudales es un criterio básico en muchos de los diseños de SUDS que vierten al medio natural o a redes existentes, que deberá marcarse en cada caso según la casuística. El incremento en el coeficiente de escorrentía, fruto del aumento de la impermeabilización que conlleva cualquier actuación de desarrollo urbanístico, tiene como consecuencia un aumento de caudales, que termina llegando al medio receptor.

En el caso del vertido a redes existentes, el control de caudales viene marcado por la capacidad de la red, de manera que se evite problemas de falta de capacidad aguas abajo tras la conexión de un nuevo desarrollo, o para reducir la carga actual.

En el caso de un río, arroyo u otro tipo de medio natural, cualquier actuación debe partir con el objetivo de mantener inalterado el régimen hidrológico, garantizando que los caudales vertidos se mantendrán, o incrementarán sólo ligeramente, con respecto al régimen natural. En este tipo de desarrollos, la utilización de elementos de laminación y elementos de control de flujo es necesaria para asegurar el mantenimiento del caudal natural, no sólo para eventos extremos (p. ej. periodos de retorno de 10 años y superiores), sino también para eventos frecuentes (p. ej. periodos de retorno de 2 años).

7.5. DIMENSIONAMIENTO

Analizados todos los puntos citados hasta el momento en este capítulo, se procede a la realización de un prediseño de los SUDS. El prediseño incluirá:

- Tipología de SUDS
- Definición geométrica
- Punto de vertido

A continuación, se realizarán los cálculos necesarios para verificar el correcto funcionamiento de los SUDS diseñados, incluyendo como mínimo:

- Volumen de escorrentía generado
- Volumen de almacenamiento en los SUDS
- Tiempo de vaciado de la infraestructura

El objetivo de este capítulo es la presentación de una metodología básica para el dimensionamiento de SUDS individuales que gestionan cuencas reducidas adyacentes. Esta metodología no debe sustituir al cálculo detallado con modelación hidráulica de sistemas de drenaje en proyectos de una

escala mayor que combinen varios elementos SUDS, y éstos con redes de drenaje convencional. Algunas instrucciones técnicas para redes de Saneamiento (p. ej. [Sevilla](#)), fijan un requerimiento de empleo de herramientas de modelación hidrológico-hidráulico, en sectores de superficie igual o superior a 5.000 m², si bien, la aplicación de métodos simplificados puede admitirse previa justificación y tras autorización por parte de la autoridad competente.

La figura 40 muestra los pasos a seguir en el dimensionamiento de SUDS. Durante los siguientes subapartados se describirán cada uno de los términos que aparecen en este esquema.

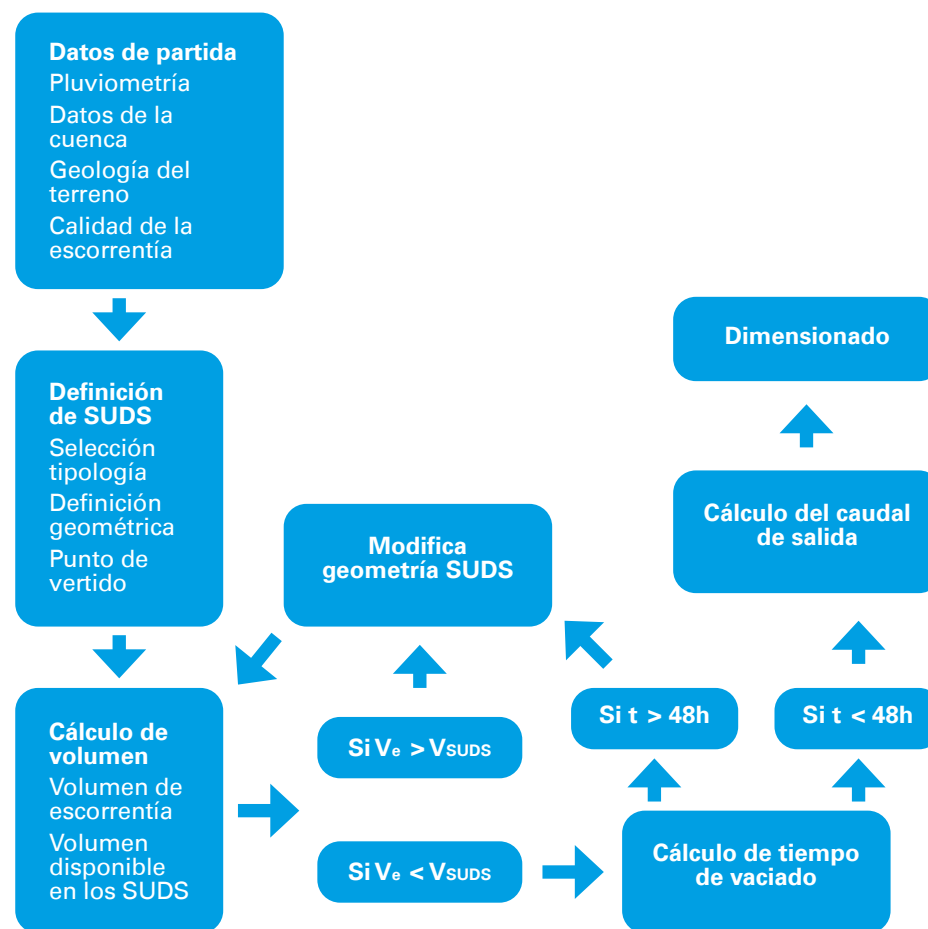


FIGURA 40: PASOS A SEGUIR PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SUDS. FUENTE: GUÍA DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE DRENAJE DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA (ADAPTACIÓN).

7.5.1. Pluviometría

Los SUDS funcionan de forma óptima para lluvia de baja a moderada intensidad.

Como se presenta en el Capítulo 6.3, el uso de percentiles volumétricos permite que eventos frecuentes sean tratados completamente por el sistema de SUDS, mientras que eventos mayores tengan un tratamiento parcial.

Los criterios de gestión de volumen presentados en el capítulo 7.4.2 facilitan la toma de decisión sobre que percentil debe utilizarse en función de la tipología urbana.

7.5.2. Características de la cuenca

Un correcto dimensionamiento de los SUDS necesita determinar los parámetros principales de la cuenca drenante, entre los que se incluyen superficie, longitud de la cuenca, pendiente transversal, topografía, etc.

De forma simplificada, se puede calcular el área total impermeable a gestionar por los SUDS; mediante la siguiente fórmula:

$$A_{imp} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot A_i$$

Siendo:

C_i = Coeficiente de escorrentía superficial.

A_i = Superficies a drenar.

Los coeficientes de escorrentía superficial representan el porcentaje de agua de lluvia que se transforma en escorrentía superficial. A falta de otras especificaciones, pueden utilizarse los presentados en la tabla 23.

Zona	C
Viales y aceras impermeables	0,95
Cubiertas impermeables	0,95
Cubiertas verdes. Intensiva	0,3
Cubiertas verdes. Extensiva	0,6
Pavimento permeable	0,7
Superficies de tierra	0,6
Zonas verdes	0,3

TABLA 23: VALOR DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA POR ZONAS. FUENTE: GUÍA DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE DRENAJE DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA (ADAPTACIÓN).

7.5.3. Geología del terreno

Un factor fundamental para favorecer o descartar la infiltración de escorrentía es el estudio de la estructura y permeabilidad del terreno.

Para el estudio de la permeabilidad del terreno, es muy recomendable la realización de ensayos de permeabilidad en zanja, siguiendo la metodología descrita en la [Guía básica de Sistemas de Gestión Sostenible de las Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres](#) de Madrid. Esta metodología propone la realización de zanjas, el llenado de estas y la medición del descenso del nivel del agua para diferentes intervalos de tiempo.

De manera preliminar, conociendo los materiales que componen el terreno, se puede hacer una estimación orientativa del coeficiente de permeabilidad (figura 41). Terrenos con coeficiente de permeabilidad por debajo de 10^{-6} m/s indican un terreno poco adecuado para la infiltración.

Permeabilidad k (m/s)

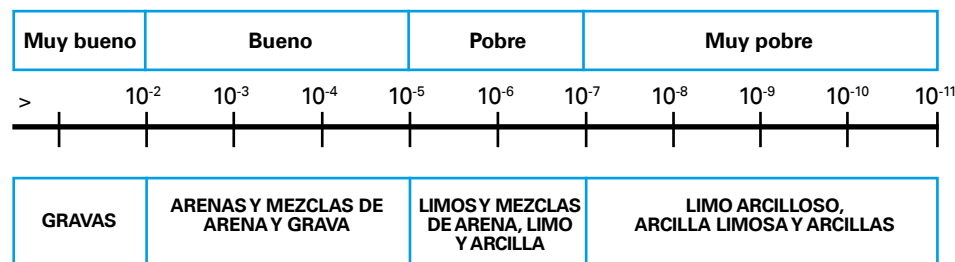


FIGURA 41: VALORES ORIENTATIVOS DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD. FUENTE: GUÍA BÁSICA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS PLUVIALES EN ZONAS VERDES Y OTROS ESPACIOS PÚBLICOS. FUENTE: AYUNTAMIENTO DE MADRID.

Otros factores a considerar son el riesgo de inestabilidad del terreno, hundimiento o erosión; el riesgo de pendientes inestables; el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por la movilización de contaminantes en el terreno existente; el riesgo de infiltrar contaminantes procedentes de la escorrentía al terreno y/o aguas subterráneas; y el riesgo que la infiltración puede suponer en cimientos, túneles y otras infraestructuras (en general, superficies de infiltración someras y amplias, en las que se permite la evaporación, no generan mayor riesgo que una zona cespitosa convencional).

7.5.4. Calidad de la escorrentía

La calidad del agua de lluvia viene determinada por su recorrido a través del ciclo hidrológico, y tendrá una calidad u otra en función de la atmósfera, la localización o la superficie sobre la que contacte en su precipitación.

Estudios detallados de la calidad incluyen la toma de muestras y el análisis fisicoquímico de la escorrentía previo a la entrada de los SUDS.

Como se presenta en el Capítulo 7.4.1, una simplificación del problema es la caracterización de la calidad de la escorrentía generada en función de la superficie sobre la que la lluvia precipita (tabla 20), y la selección de los tipos de SUDS vendrá dada por sus índices de mitigación (tabla 21).

7.5.5. Definición geométrica

La geometría de los SUDS a emplear vendrá determinada por el volumen de escorrentía generado por las cuencas vertientes mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$V_e = A_{imp} \cdot V_x$$

Siendo:

A_{imp} = Área impermeable equivalente.

V_x = Percentiles volumétricos (mm).

Los percentiles volumétricos se presentan en el capítulo 6.3 y pueden consultarse en el siguiente [enlace](#), buscando cada municipio en la página web de IDENA (Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra).

El uso de un determinado percentil viene propuesto en el Capítulo 7.4.2, en función del emplazamiento de la actuación.

El almacenamiento en los SUDS se define por las dimensiones de la actuación (superficie y altura), así como la porosidad de las capas

$$V_{SUDS} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot h_i \cdot n_i$$

Siendo:

A_i = Área de los SUDS.

h_i = Altura de la capa.

n_i = Porosidad.

Simplificadamente, y si no se disponen de valores específicos por parte de

los proveedores, se proponen los siguientes valores para la porosidad:

- Sin relleno (almacenamiento superficial) $n = 1$
- Gravas: $n = 0,3$
- Celdas y cajas reticulares: $n = 0,9$

Como recomendación para favorecer un correcto tratamiento de la escorrentía por biorremediación, la lámina de agua debe permanecer por debajo de 0,3 m.

Soluciones de drenaje sostenible con lámina de agua en superficie por encima de 1 m de profundidad (balsas de detención/infiltración o estanques), deben considerar el potencial riesgo de caída de personas, y contarán con taludes escalonados o lo suficientemente tendidos (recomendable 1V:4H), para facilitar la salida en caso de accidente. En cualquier caso, se considerarán los requisitos vigentes en cada municipio.

7.5.6. Tiempo de vaciado

Para que las infraestructuras de drenaje puedan gestionar eventos sucesivos, y con el fin de evitar la proliferación de insectos o malos olores cuando el agua se almacena en superficie, se propone que el diseño de SUDS permita la evacuación del agua almacenada en un máximo de 48 horas.

El tiempo de vaciado dependerá del tipo de solución empleada, pudiendo ser:

- Infiltración
- Descarga libre
- Descarga limitada
 - o Por condiciones de contorno (nivel de agua en el medio receptor)
 - o Por dispositivo de control de caudal

De forma simplificada, para considerar la infiltración, se deben evaluar, como mínimo, los siguientes factores:

- Coeficiente de permeabilidad
- Distancia al nivel freático (mayor de 1 m)
- Distancia a cimientos (mayor de 3 m, como norma general).

El tiempo de vaciado por infiltración, suponiendo infiltración tanto por la base como por los laterales del elemento, puede calcularse a través de la siguiente fórmula extraída de The SUDS Manual:

$$t_v = \frac{n \cdot A_b}{K \cdot P} \cdot \log_e \left(\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

Siendo:

n = Porosidad media del elemento.

A_b = Área de la base (m^2).

K = Coeficiente de permeabilidad (m/h).

P = Perímetro de la base (m).

h_{max} = Altura máxima de columna de agua desde la base de la infiltración (m).

En el caso de que la infiltración al terreno no sea posible, la evacuación del agua de los SUDS deberá realizarse a cauces y arroyos cercanos, o al sistema de alcantarillado municipal. Si no hay condiciones que limiten la descarga, el vaciado puede realizarse a través de un conducto que capte el agua almacenada y lo conecte al siguiente elemento de la red de drenaje. Como simplificación, se puede considerar que el control sobre el caudal lo ejerce un orificio, para lo cual se pueden emplear las ecuaciones para el cálculo del tiempo de vaciado de un prisma recto:

$$t_v = \sqrt{\frac{2h}{g} \left(\frac{A_s^2}{(A_o \cdot C_d)^2} - 1 \right)}$$

Siendo:

T_V = Tiempo de vaciado (s).

A_O = Área de la sección transversal interna del orificio (m^2).

A_S = Área en planta de la toma de almacenamiento de SUDS (m^2).

C_d = Coeficiente de descarga (m). Un valor habitual es 0,6.

g = Aceleración originada por la gravedad (m/s^2).

h = Distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio (m).

7.5.6. Dimensionamiento de vertederos

Para eventos de lluvia que superen el criterio volumétrico adoptado en el dimensionamiento, los SUDS deben contar con elementos de alivio o vertederos que permita canalizar el exceso de lluvia hacia un medio receptor adecuado y evitar inundaciones locales.

El medio receptor puede ser una red de pluviales de mayor capacidad, un medio natural (arroyo, río) o en casos muy desfavorables, la red de unitaria o red de residuales. Como orden de prioridad, se considerará la argumentación expuesta en el Capítulo 7.1.2.

En el caso de que haya algún tipo de restricción, o para cuando el sistema de drenaje concatene más de un elemento SUDS, deberá realizarse una modelización hidráulica del sistema de drenaje, para comprobar que el sistema es capaz de proporcionar la protección requerida frente a unas lluvias de diseño dadas.

A falta de otra indicación, se emplearán hietogramas rectangulares para diferentes duraciones e intensidades medias máximas (uniformes a lo largo de la duración del evento), construidas a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), presentadas en el apartado 6.2.

Todos los valores de diseño para eventos extremos, pueden consultarse en el siguiente enlace, buscando cada municipio en la página web de IDENA (Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra).

En pequeñas actuaciones, cuando no se haya calculado la laminación que se produce en los SUDS, se propone el cálculo del elemento de rebose prove-

niente de la estructura de almacenamiento con el hietograma de período de retorno 10 años y 10 minutos de duración.

De forma sencilla, se puede realizar el dimensionamiento de un aliviadero utilizando la fórmula del aliviadero rectangular:

$$Q = C_V \cdot L \cdot H^{3/2}$$

Siendo:

C_V = Coeficiente de vertido (m), dependiente de la tipología de vertedero:

- Verederos de pared delgada ($e < 0,67H$): $C_V=1,7-1,9$

- Verederos de pared gruesa ($e > 0,67H$): $C_V=1,5-1,7$

o Siendo e = Espesor de la pared

L = Anchura del vertedero (m).

H = Sobreelevación sobre el umbral de vertido (m).

Para ampliar sobre el proceso de dimensionamiento de SUDS

[Guía SUDS Barcelona \(catalán\), Capítulo 11.](#)

[Guía básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, Madrid \(español\).](#)

7.6. EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación, se propone un ejemplo de cálculo para la definición geométrica de SUDS. A falta de conocer los condicionantes geológicos de la zona, o la existencia de redes existentes o cauces cercanos, no se ha calculado el tiempo de vaciado o el dimensionamiento de elementos de rebose.

Se propone una actuación para la gestión de la escorrentía de un aparcamiento, perteneciente al centro termal Cascante, que abarca un área de $6.961 m^2$ (ver figura 42).

La zona donde se enmarca la actuación puede considerarse como de peligrosidad media (zona de estacionamiento con renovación media), por lo que el tratamiento de la escorrentía será una de las claves del diseño. Con esta casuística, y de acuerdo a los índices de peligrosidad (introducidos en la Sec-

ción 7.4.2), se propone la introducción de un par de parterres inundables que ofrezcan biorremediación, filtración e infiltración.

La tabla 24 sintetiza los datos de partida del ejemplo.

Datos de partida	Zona norte	Zona sur
Tipología Urbana	Aparcamiento. Sector terciario.	Aparcamiento. Sector terciario.
Superficie total de la actuación	3.049 m ²	3.912 m ²
Criterio de diseño	V ₈₀ (Aparcamiento, centro comercial, actuación de regeneración).	
Tipología de SUDS	Parterre inundable (zona de biorretención)	V80 (Aparcamiento, centro comercial, actuación de regeneración)
Índice de peligrosidad	Medio Sólidos suspendidos 0,7 Metales pesados 0,7 Hidrocarburos 0,7	Medio Sólidos suspendidos 0,7 Metales pesados 0,7 Hidrocarburos 0,7
Índice de mitigación	Zona de biorretención Sólidos suspendidos 0,8 Metales pesados 0,8 Hidrocarburos 0,8	Zona de biorretención Sólidos suspendidos 0,8 Metales pesados 0,8 Hidrocarburos 0,8

TABLA 24: DATOS DE PARTIDA DEL APARCAMIENTO DEL CENTROTERMOLÚDICO CASCANTE.

Con esta información se procede a realizar los cálculos necesarios para dimensionar el parterre inundable del tipo zona de biorretención (tabla 25).

El cálculo del parterre inundable se llevará a cabo con la aplicación del criterio de diseño (Vx) y la superficie impermeable de la actuación. Fijando una profundidad adecuada de la zona de biorretención (0,2 m), obtenemos la superficie necesaria de SUDS.

Cálculos	Zona norte	Zona sur
Superficie total de la actuación (A)	3.049 m ²	3.912 m ²
Superficie impermeable (A _{imp} = A*0,95)	2.897 m ²	3.716 m ²
Criterio de diseño (Vx) Región 1, V ₈₀	11 mm	11 mm
Volumen almacenamiento necesario (Vx*A _{imp})	31,9 m ³	40,9 m ³
Profundidad de SUDS	0,2 m	0,2 m
Área de SUDS (V _{nec} /Prof)	160 m ²	205 m ²
Superficie	32x5 m	41x5 m

TABLA 25: CÁLCULOS PARA LA INSTALACIÓN DE UN PARTERRE INUNDABLE EN EL APARCAMIENTO DEL CENTROTERMOLÚDICO CASCANTE.



FIGURA 42: PROPUESTA DE DRENAJE SOBRE UNA ZONA DE APARCAMIENTO EN SECTOR TERCIARIO, CASCANTE (NAVARRA). FUENTE: GOOGLE MAPS.

Para ampliar sobre el proceso de diseño y dimensionamiento de SUDS

[Guía SUDS Barcelona \(catalán\), Capítulo 11.](#)

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València \(español\).](#)

[Instrucciones técnicas para redes de saneamiento de EMASESA, Sevilla \(Español\).](#)

7. 7. SELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN

Junto con la presente Guía se adjunta un Anejo de Jardinería (ver Anejo I) para la elección de especies de árboles, arbustos, vivaces y herbáceas que pueden utilizarse en el diseño de jardinería de los SUDS. Las especies se clasifican según las Comarcas de Navarra que se describen en la Guía y la tipología de SUDS para facilitar su elección. Además, se presentan recomendaciones básicas para su mantenimiento y sus costes unitarios.

8

LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO Y LA MONITORIZACIÓN

8. 1. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un factor clave para el correcto y continuo funcionamiento de los SUDS a lo largo de su ciclo de vida. Por un lado, el mantenimiento periódico corrige aspectos que requieren atenciones recurrentes como el mantenimiento de la vegetación además de solucionar problemas puntuales que puedan surgir. Por otro lado, previene averías de mayor envergadura como la colmatación por sedimentos, lo que permite reducir los costes de reparación. Es por ello que, el mantenimiento correcto y continuo de los SUDS, no solo asegura el funcionamiento de los SUDS evitando la pérdida económica derivado de una infraestructura no funcional, sino que, además, evita costes por la solución de averías evitables.

A pesar de los beneficios, el mantenimiento puede suponer un reto de gestión para las ciudades, debido a que los SUDS combinan una componente ambiental y de drenaje. En muchos casos depende de departamentos distintos y se precisa una coordinación entre diferentes responsables administrativos para un buen funcionamiento a largo plazo.

Por ello, es indispensable que, desde la fase de diseño de los SUDS (figura 43 y figura 44), se tenga en consideración y se desarrolle un plan de mantenimiento completo. Estos planes de mantenimiento deben permitir definir con claridad las tareas a realizar, el procedimiento para la realizarlas, su periodicidad y las personas responsables de su mantenimiento.





FIGURA 43: EJEMPLO DE FALTA DE CONSIDERACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN FASE DE DISEÑO DE LOS SUDS, DUNDEE (ESCOCIA).

LA COLOCACIÓN DE UN PAVIMENTO PERMEABLE POR JUNTA, PEGADA A UNA ZONA CON APOORTE IMPORTANTE DE SEDIMENTOS, PROVOCA LA COLMATACIÓN DE LAS JUNTAS ENTRE LOS ADOQUINES. REQUIERE DE UN MANTENIMIENTO MUY IMPORTANTE, O UN ELEMENTO PREVIO (ZANJA FILTRANTE) QUE SIRVA PARA CAPTAR ESTE APOORTE DE SEDIMENTOS Y AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DEL ELEMENTO EN CUESTIÓN.



FIGURA 44: EJEMPLO DE ADOQUÍN PERMEABLE BIEN MANTENIDO, DUNDEE (ESCOCIA).

LA COLOCACIÓN DE UN PAVIMENTO PERMEABLE POR JUNTA EN UNA ZONA DONDE NO EXISTEN APORTES DE SEDIMENTOS, GENERA QUE LA JUNTA ESTÁ PERFECTAMENTE LIMPIA, GARANTIZANDO UN BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

8. 2. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento es un documento que permite definir los diferentes aspectos del mantenimiento de los SUDS. Este se redacta durante la fase de proyecto y debe ser específico de cada localización y proyecto realizado. Un plan de mantenimiento completo incluye los siguientes aspectos:

- Inventario de los SUDS: descripción completa, ubicación en el proyecto, función, descripción de los accesos para el mantenimiento, etc.
- Necesidades de mantenimiento de cada SUDS: descripción de tareas y su frecuencia para cada SUDS.
- Gestión de los residuos: características de los residuos esperados y proceso de gestión.
- Aspectos de seguridad y salud
- Responsables del mantenimiento: departamentos o empresas responsables, formación necesaria, etc.
- Plan de acción frente a emergencias
- Materiales de registro: fichas o aplicaciones informáticas, especificando la información a incluir en los registros.
- Estimación de costes
- Seguimiento anual del plan de mantenimiento: nivel de cumplimiento del plan, estado del SUDS y resumen y recomendaciones para la realización de las tareas.

Es importante que el documento sea claro y conciso permitiendo su utilización por parte de diferentes profesionales. En este plan los aspectos más importantes a definir son las tareas que realizar (qué), cómo se llevan a cabo (cómo), la frecuencia de la realización de estas tareas (cuándo) y las personas responsables de ellas (quién). Estos aspectos se relatan en los siguientes apartados.

8. 2. 1. Qué – Tareas a realizar

Las tareas a realizar que deben ser incluidas en el plan de mantenimiento serán específicas para cada tipología de SUDS y emplazamiento concreto (figura 45). Algunos de los factores que harán variar las necesidades de mantenimiento de los SUDS son las siguientes:

En función de las características del SUDS:

- Objetivo o funciones de los SUDS.
- Componentes de los SUDS (por ejemplo, tipos de plantas incluidas).

En función de las características del emplazamiento:

- Valor estético.
- Tamaño de la cuenca que gestiona.
- Usos del suelo de la cuenca.
- Presencia de obras.



BALSA DE INFILTRACIÓN EN LA CALLE CRISTÓBAL DE MOURA, BARCELONA. EN ESTE EMPLAZAMIENTO EL MANTENIMIENTO DE LOS SUDS DEBE SER CONTINUADO Y ESPECIALIZADO DEBIDO A LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN VARIADA Y SU VALOR ESTÉTICO Y RECREATIVO.



ZONA DE BIORRETENCIÓN EN EL POLÍGONO DE RIBA-ROJA DE TÚRIA. EN ESTE EMPLAZAMIENTO EL MANTENIMIENTO SE CENTRA EN EL FUNCIONAMIENTO CORRECTO DEL SUDS Y EL CONTROL DEL CRECIMIENTO EXCESIVO DE LA VEGETACIÓN. EL VALOR ESTÉTICO ES SECUNDARIO.

FIGURA 45: EJEMPLOS DE UBICACIONES CON DISTINTAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO DEBIDO A SU VALOR ESTÉTICO.

Las tareas a realizar variarán en gran medida en función del tipo de SUDS, y serán muy diferentes según tengan o no vegetación y el porte de esta. A continuación, se muestra un ejemplo de las tareas de mantenimiento para parterres inundables:

Tareas	Frecuencia
Retirar la basura, sedimentos y las hierbas no deseadas.	Mensualmente
Inspeccionar los elementos de entrada y salida, si los hubiera; en búsqueda de colmataciones u obstrucciones.	Mensualmente
Mantenimiento ordinario de la vegetación de la zona. En caso de época de sequía, considerar riego adicional.	Semestralmente
Inspeccionar los elementos de protección perimetrales (p.ej. bordillos intermitentes) y, en su caso, reparación.	Anualmente
Limpiar/reemplazar el suelo (sedimentos > 5 cm) o si no drena en 48 horas después de fuerte lluvia.	Cada 2 años

TABLA 26: EJEMPLO DE TAREAS ASOCIADAS AL MANTENIMIENTO DE UN PARTERRE INUNDABLE. FUENTE: GUÍA SUDS CASTELLÓN.

8. 2. 2. Cómo – Realización de las tareas

En el plan de mantenimiento se debe incluir una descripción las tareas que se especifican para cada tipología de SUDS. Esta descripción debe incluir aspectos como los diferentes pasos a seguir para realizar la tarea, el material necesario para su realización, así como comentarios y recomendaciones para ello. Una correcta descripción de las tareas permitirá a los profesionales responsables llevar a cabo la tarea de forma correcta, adaptándola a las características y necesidades concretas del tipo de SUDS. Esto puede ser especialmente relevante en aspectos como la poda de diferentes especies vegetales, limpieza de pavimentos permeables, etc.

Además, cuando se lleven a cabo inspecciones, se especificará qué partes del SUDS pueden ser más susceptibles, por ejemplo, para la acumulación de sedimentos, y se debe llevar un registro y tomar fotos para verificar el estado del SUDS.

La correcta definición y realización de las tareas de mantenimiento marcarán la diferencia entre un buen y mal mantenimiento afectando al funcionamiento y al ciclo de vida del SUDS (figura 46).



FIGURA 46: EJEMPLOS DE MAL MANTENIMIENTO. FUENTE: SAN MATEO COUNTYWIDE WATER PREVENTION PROGRAM 2020.

8. 2. 3. Cuándo – Periodicidad del mantenimiento

En el plan de mantenimiento se debe especificar, junto a la tarea y su descripción, la periodicidad con la que se prevé deberá llevarse a cabo. Esto es de especial relevancia y dependerá de la tipología de SUDS y del tipo de tarea. Las tareas se podrán agrupar según su periodicidad en:

- **Preventiva o periódica:** son las tareas que se deben llevar a cabo en un intervalo fijo y/o esperable de tiempo. Con esta frecuencia se llevarán a cabo tareas de mantenimiento como podas, riegos, barridos y siegas, e inspecciones, con frecuencias mensuales, trimestrales, anuales, etc., o bien después de ciertos hechos, como fuertes eventos de lluvia. Dentro de este grupo se incluyen las inspecciones, que son revisiones del correcto funcionamiento del sistema que permiten detectar anomalías que requieran acciones correctivas, y a través de las cuales también se puede poner de relevancia la necesidad de realizar cambios en el propio Plan de Mantenimiento.

- **Ocasional o adaptativa:** incluye el conjunto de tareas que se prevé sean necesarias a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura, pero de las que no se conoce a priori cuándo tendrán que realizarse. Incluyen tareas como reposición de gravas, perfilado de cunetas, limpieza profunda de pavimentos permeables, etc.

- **Correctiva:** son aquellas tareas que pueden ser necesarias, derivadas de anomalías en el sistema y que ocurran de forma esporádica. Pueden ser arreglos que deriven de actos vandálicos, eventos de lluvia excepcionales o deterioro de la infraestructura, entre otros. En su mayoría, estas tareas serán detectadas a través de inspecciones que se lleven a cabo, o por reportes de incidencias.

La definición de la periodicidad de la tarea afectará a su eficacia y se adaptará en función de los resultados del mantenimiento en cada emplazamiento concreto.

8. 2. 4. Quién – Personal responsable

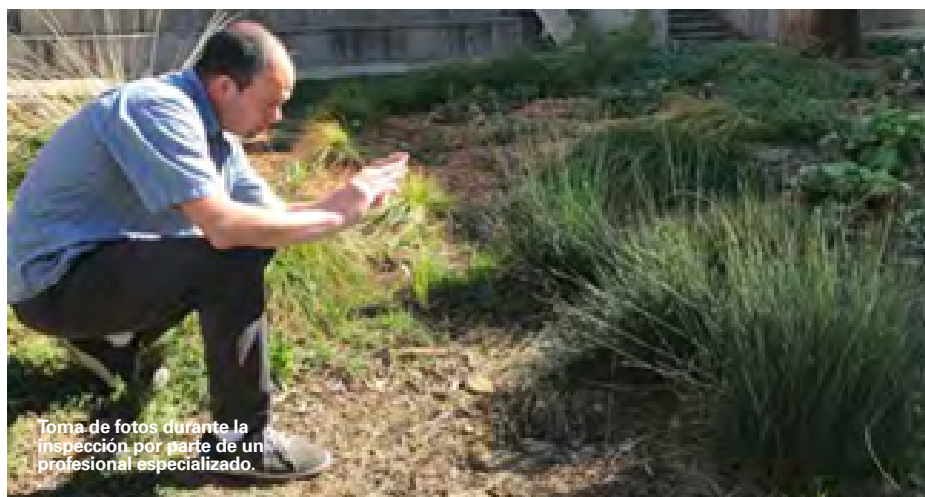
En el plan de mantenimiento se ha de establecer de forma precisa los personas, servicios o empresas encargados del mantenimiento, estableciendo responsables para las distintas tareas y/o emplazamientos. En este sentido se debe establecer la jerarquía de los diferentes responsables asegurando, por ejemplo, que una acción de mantenimiento correctivo se lleva a cabo tras ser detectada en una inspección.

Adicionalmente se ha de especificar la cualificación necesaria de los diferentes profesionales que participen del mantenimiento, tanto para su ejecución como para su dirección y control. Por un lado, es imprescindible que los responsables

conozcan y entiendan el funcionamiento de los SUDS para poder tomar decisiones correctas ante distintas circunstancias. Por otro lado, las personas que realizan el mantenimiento y las inspecciones (figura 47), deben de conocer los distintos aspectos de los SUDS para poder llevar a cabo de forma correcta el mantenimiento y rellenar de forma adecuada las fichas de inspección.



Limpieza de vegetación no deseada y de residuos por parte del personal de limpieza.



Toma de fotos durante la inspección por parte de un profesional especializado.

FIGURA 47: EJEMPLOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO LLEVADAS A CABO POR PROFESIONALES DE DISTINTOS ÁMBITOS Y FORMACIONES. FUENTE: ARRIBA: PROPIA. ABAJO: SAN MATEO COUNTYWIDE WATER POLLUTION PREVENTION PROGRAM 2020.

Como se ha mencionado anteriormente, las tareas a realizar para el mantenimiento de los SUDS incluyen tareas de gestión de la vegetación y control de las funciones de drenaje, entre otros. En algunos casos, como los pavimentos permeables, si se precisa la limpieza en profundidad, ésta requerirá de maquinaria distinta a la empleada para un pavimento convencional, aspecto que también deberá considerarse a la hora de prever las herramientas y maquinaria necesaria para llevar a cabo el mantenimiento. Por ello, la identificación de las personas responsables y su formación, así como de las herramientas y maquinarias necesarias, es un aspecto clave para la realización del correcto mantenimiento, y jugará un papel fundamental en el funcionamiento adecuado de los SUDS y la duración de su vida útil.

Para ampliar sobre el mantenimiento de SUDS

En las siguientes guías y manuales se incluye información general sobre mantenimiento de SUDS:

[The SUDS Manual, capítulo 32 \(inglés\).](#)

[Guía de Barcelona, capítulo 13 y anejo 4 \(catalán\).](#)

[Guía SUDS San Mateo \(California\), capítulo 6 \(inglés\).](#)

[Guía SUDS MITECO, Capítulo 5.3 \(castellano\).](#)

[Guía de mantenimiento de New Jersey, online \(inglés\)](#)

En estas páginas se pueden encontrar también ejemplos de un plan de mantenimiento para New Jersey y planes específicos para algunos tipos de SUDS.

[Guía de la EPA para el mantenimiento \(inglés\).](#)

En las fichas de SUDS que incluyen los siguientes manuales se pueden encontrar las tareas que habitualmente se asigna a casa SUDS junto con su frecuencia:

[Green Streets Design Manual Philadelphia \(Inglés\).](#)

[Sustainable Streets Master Plan, San Mateo \(Inglés\).](#)

[Incorporación de SUDS a carreteras –The SUDS Manual \(inglés\).](#)

9

PROTOTIPO DE SUDS EN EL APARCAMIENTO DE LA UPNA (TUDELA)

[CLICA. ARTÍCULO EXTENDIDO](#)

En el marco del proyecto [LIFE-IP Nadapta-CC](#), proyecto desarrolla una estrategia integrada para la adaptación al Cambio Climático en Navarra y se ha construido el actual prototipo de SUDS en el aparcamiento de la Universidad Pública de Navarra (UPNA). Dicho prototipo se enmarca dentro de la Acción C2.3 del área estratégica de acción: Agua. En esta acción se pretende estudiar fórmulas legales y facilitar el diseño elaborando el presente documento, además de optimizar el diseño y dimensionamiento de futuros SUDS con los datos obtenidos a través de la monitorización del prototipo.

El prototipo consta de tres SUDS ubicados en el aparcamiento de la UPNA en la ciudad de Tudela. Esta ubicación resulta idónea puesto que dispone de un área completamente impermeabilizada con gran capacidad para generar escorrentía, y permite un fácil acceso para poder llevar a cabo la monitorización. Las obras fueron realizadas en 2019 con un presupuesto de 70.000 euros.

Dentro del diseño se incluyen tres elementos de drenaje sostenible, todos ellos diseñados como zonas de biorretención (jardines de lluvia con mayor capacidad de biorremediación) (Capítulo 5 Apartado 5) (figura 48). Mientras que dos de los elementos (A1 y A2) están dispuestos en serie, formando un tren de tratamiento; el SUDS B trabaja de forma independiente (figura 48). Se adjunta un documento como anexo donde se presenta el prototipo y los resultados del presente apartado más detalladamente (ver Anejo II- Prototipo de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) instalado en el aparcamiento de la UPNA (Tudela).



FIGURA 48: ÁREAS DRENADAS DE LOS SUDS DE TUDELA (NAVARRA).

Los SUDS incorporados al prototipo de gestión de escorrentía buscan alcanzar los siguientes objetivos:

- Laminación de escorrentía.
- Reducción de caudales que llega a la red unitaria.
- Reducción en la frecuencia de uso del tanque de tormentas.
- Reducción de la carga de contaminantes arrastrada (mediante tren de tratamiento).

El dimensionamiento de los SUDS sigue las directrices de diseño del presente documento, Capítulo 7.4. En el Capítulo 6.3 de valores de diseño basadas en percentiles volumétricos se muestran los percentiles de diseño calculados para

las diferentes regiones. En este caso al tratarse de la región 1, Tudela el V_{80} es de 11 mm. Con el criterio definido, cada uno de los SUDS debe ser capaz de retener como mínimo el volumen de escorrentía generado por los 11 mm del área que recoge. Cada uno de los elementos tiene un vertedero de salida en forma de V de 90° móvil, que permite calcular el caudal efluente de los sistemas con diferentes volúmenes de retención.



FIGURA 49: IMÁGENES DE LOS SUDS REALIZADOS EN EL APARCAMIENTO DE UPNA, TUDELA (NAVARRA).



FIGURA 49: IMÁGENES DE LOS SUDS REALIZADOS EN EL APARCAMIENTO DE UPNA, TUDELA (NAVARRA).

Las especies de jardinería seleccionadas para el prototipo son similares para los tres jardines. En los taludes se plantaron plantas aromáticas más resistentes a condiciones áridas y en la base arbustos de mayor tamaño habituados a zonas húmedas (figura 49). La base de los SUDS puede quedar bajo el agua durante algunas horas por lo que las plantas tienen que ser adecuadas para tal fin.

Para realizar el seguimiento del prototipo mide la pluviometría, el volumen de agua que, retenido en cada SUDS, la calidad del suelo y la calidad del agua de entrada y salida de los SUDS. Desde la finalización del prototipo, febrero del 2020 hasta enero del 2022 se estima que ha retenido alrededor de 4.500 m³, que son equivalentes a 1.100 kWh ahorrados en la EDAR de Tudela. Los SUDS han recogido casi el 100 % de la escorrentía generada, salvo en un evento de 68 mm que se registró un caudal efluente. Esto indica, además, que la contaminación arrastrada por esta escorrentía también ha sido retenida.

La monitorización de caudal se realiza a través de medidores de ultrasonidos que miden el nivel de agua en cada uno de los vertederos (Figura 50), un pluviómetro, caudalímetro portátil y tubos piezométricos para medir el nivel de agua bajo el nivel del suelo. A su vez, se han recogido muestras de escorrentía de entrada y salida de los sistemas donde se han realizado análisis de metales pesados, hidrocarburos y parámetros fisicoquímicos como la demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos en suspensión (SS) entre otros. La muestra de salida del sistema contenía alrededor de un 90 % menos de los contaminantes registrados a la entrada. La mayor parte de los sólidos suspendidos han sido retenidos y junto con ellos, los metales pesados adheridos a los mismos, obteniéndose porcentajes de reducción muy elevados. Previo a la construcción del prototipo, se realizaron varias campañas de muestreo en el colector de pluviales de la UPNA y se realizaron polutogramas e hidrogramas que permitían determinar el first flush. Se ha realizado la caracterización de los metales pesados e hidrocarburos retenidos en el suelo en el transcurso de un año en uno de los SUDS. En total se recogieron 24 muestras en diferentes puntos y profundidades y al cabo de un año se ha visto un aumento de metales pesados e hidrocarburos en mayor medida.



FIGURA 50: PLUVIÓMETRO Y MEDIDOR DE NIVEL.

10

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

10. 1. NORMATIVA Y REGULACIÓN

Unión Europea. Directiva (UE) 91/271 del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de la Unión Europea L 327, 30 de mayo de 1991. [Enlace](#)

Unión Europea. Directiva (UE) 2000/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea L 327, 22 de diciembre de 2000. [Enlace](#)

Unión Europea. Directiva (UE) 2006/7 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006 relativa a la gestión de la calidad de aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE. Diario Oficial de la Unión Europea L 64 del 4 de marzo de 2006. [Enlace](#)

Unión Europea. Directiva (UE) 2006/118 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Diario Oficial de la Unión Europea L 372 del 27 de diciembre de 2006. [Enlace](#)

Unión Europea. Directiva (UE) 2007/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Diario Oficial de la Unión Europea L 288 del 6 de noviembre de 2007. [Enlace](#)

España. Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Boletín Oficial del Estado 15 de diciembre de 2010, núm. 171. [Enlace](#)

España. Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales. Boletín Oficial del Estado 29 de diciembre de 2016, núm. 314. [Enlace](#)

España. Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo de Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado 20 de septiembre de 2012, núm. 227. [Enlace](#)

España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Boletín Oficial del Estado 24 de julio de 2001, núm. 176. [Enlace](#)

Gobierno de Navarra (2017). Hoja de Ruta de Cambio Climático de Navarra 2017-2030-2050- [Enlace](#)

Gobierno de Navarra (2019). Plan Director del Ciclo Integral del Agua de Uso Urbano de Navarra 2019-2030. Boletín Oficial de Navarra 23 de mayo de 2019, núm. 99. [Enlace](#)

Mancomunidad Comarca de Pamplona (2020) Ordenanza de Redes de Saneamiento. [Enlace](#)

10. 2. MANUALES DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE SUDS

Español

Ayuntamiento de Madrid (2018). Guía Básica de Diseño de sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y Otros Espacios Libres. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. [Enlace](#)

Ayuntamiento de Castelló de la Plana (2019). Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana. [Enlace](#)

Ajuntament de Barcelona (2020). Guia tècnica per al disseny de SUDS a Barcelona. [Enlace](#)

Ajuntament de València (2021). Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València. [Enlace](#)

MITECO (2019). Guías de adaptación al riesgo de inundación. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. [Enlace](#)

Inglés

Bregulla, J. (2010). A simple guide to Sustainable Drainage Systems for housing. NHBC Foundation. [Enlace](#)

City of Philadelphia (2014). Green Streets Design Manual. [Enlace](#)

City of San Francisco (2016) Stormwater management requirements and design guidelines. [Enlace](#)

Clean Water Services (2021). Low Impact Development Approaches Handbook. [Enlace](#)

District of Columbia Department of Transportation (2014). Greening DC Streets. A Guide to Green Infrastructure in the District of Columbia. [Enlace](#)

EPA (2008). Managing Stormwater in your Community. [Enlace](#)

EPA (2015). Green Infrastructure Opportunities that Arise During Municipal Operations. [Enlace](#)

EPA (2017). Green Infrastructure in Parks: A Guide to Collaboration, Funding and Community Engagement. [Enlace](#)

Pitner, C.; Allerton, G. (2009). SUDS for Roads. Guidance manual produced for SCOTS and SUDSWP. [Enlace](#)

San Mateo Countywide (2020). Green Infrastructure Design Guide. Water Pollution Prevention Program 2020. [Enlace](#)

San Mateo Countywide (2021). Sustainable Streets Master Plan. [Enlace](#)

State of New Jersey (2016). Maintenance Guidance. [Enlace](#)

West Sussex County Council (2013). Water. People. Places. A guide for master planning sustainable drainage into developments. [Enlace](#)

Woods-Ballard, P., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). The SUDS Manual. London (UK): CIRIA. [Enlace](#)

10. 3. PUBLICACIONES EN PRENSA

Ajuntament de Barcelona. Primer tram pacificat de Cristóbal de Moura: 17.000 metres quadrats de verd i espais d'estada. [Enlace](#)

Ajuntament de Benaguasil. El agua en Benaguasil. Un viaje en el tiempo. [Enlace](#)

Emasesa, en coordinación con el Distrito Norte, ha instalado un Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en parterres de la Avda. de las Asociaciones de Vecinos. [Enlace](#)

Emasesa. La avenida de El Greco abre al tráfico tras las últimas actuaciones. [Enlace](#)

GrandLyon. Parc Technologique Porte des Alpes. [Enlace](#) [Poster descriptivo](#) [Documento](#)

ROP (2019). Consolidando el drenaje sostenible en España, núm. 3607. [Enlace](#)

Cincinnati Public Service Park. [Web](#) [Visita virtual](#) [Tríptico resumen](#) [Tipos de SUDS presentes](#)

10. 4. OTRAS REFERENCIAS

Andrés-Doménech, I.; Anta, J.; Perales-Momparler, S.; Rodríguez-Hernandez, J. Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis. Sustainability 2021, 13, 2791. [Enlace](#)

BREEAM Certification. [Enlace](#)

Building Research Establishment (2003). BRE Digest 365 Soakaway Design. [Enlace](#)

Canogar, S. (2019). El valor social y ambiental de los SUDS en el diseño de las zonas verdes: el caso de Valdebebas. Revista de Obras Públicas, marzo 2019, núm. 3607. [Enlace](#)

Centro de Estudios Ambientales Vitoria-Gasteiz (2012). El Anillo Verde Interior: Hacia una Infraestructura Verde Urbana en Vitoria-Gasteiz. [Enlace](#)

Conama (2018) Soluciones Basadas en la Naturaleza GT-10 Rumbo 20.30. [Enlace](#)

De la Fuente García, L. (2019). Por una Valencia más azul, más verde, Revista de Obras Públicas, marzo 2019, núm. 3607. [Enlace](#)

EEA (2021) Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. Agencia Europea del Medio Ambiente, EEA report N°01/2021. [Enlace](#)

Fundación Nueva Cultura del Agua (2020). Soluciones basadas en la Naturaleza para la gestión del agua de lluvia en un almacén logístico de Azuqueca de Henares (Guadalajara). XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. [Enlace](#)

Gago Lara, M.A.; Gómez Valentín, M. (2019). Prologis Park Sant Boi. Revista de Obras Públicas, marzo 2019, núm. 3607. [Enlace](#)

García Martínez, M., 2011. OTN. Observaciones Territoriales de Navarra. Sociedad Pública Navarra de Suelo Residencial, S.A. (NASURSA). [Enlace](#)

Ibáñez, R.; Millán, P.; Urios, G.; Valls, G. (2019). Caso de la plataforma logística en parcela M-1 del Parque Logístico Valencia, Ribarroja del Turia (Valencia). Revista de Obras Públicas, marzo 2019, núm. 3607. [Enlace](#)

LEED Certification. [Enlace](#)

Perales, S.; Peris, P. y Morales, A. (2015). PROYECTO E2STORMED Mejora de la eficiencia energética en el ciclo del agua en ciudades mediterráneas mediante el uso de tecnologías innovadoras para la gestión del agua de lluvia. [Enlace](#)

Puertas Agudo, J., Suárez López, J., & Anta Álvarez, J. (2009). Gestión de las Aguas Pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. M-98. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). [Enlace](#)

RedSUDS. [Enlace](#)

Unión Europea. The EU Strategy on Green Infrastructure. [Enlace](#)

Unión Europea (2013). Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa. [Enlace](#)

Union Europea (2012). The Multifunctionality of Green Infrastructure. [Enlace](#)

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) / ONU-Agua. 2018. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO. [Enlace](#)



A1

ANEJO I. JARDINERÍA

Junto con la presente Guía se adjunta un Anejo de Jardinería para la elección de especies de árboles, arbustos, vivaces y herbáceas que pueden utilizarse en el diseño de jardinería de los SUDS.

Las especies se clasifican según las comarcas de Navarra que se describen en la Guía y la tipología de SUDS para facilitar su elección. Además, se presentan recomendaciones básicas para su mantenimiento y sus costes unitarios.

1. RESUMEN EJECUTIVO	86
1.1. Tipologías de diseño vegetal	86
1.2. Listado de plantas por zonas climáticas para SUDS con vegetación	86
1.3. Glosario.	86
2. TIPOLOGÍAS DE DISEÑO VEGETAL	86
2.1. Cubiertas vegetadas.	87
2.1.1. Cubiertas con sustrato somero.	87
2.1.2. Cubiertas con sustrato profundo	87
2.1.3. Mantenimiento y coste asociado	88
2.2. Alcorques estructurales	88
2.2.1. Sin riego	88
2.2.2. Con riego.	89
2.2.3. Mantenimiento y coste asociado	90
2.3. Parterres inundables	91
2.3.1. Sin riego	91
2.3.2. Con riego.	91
2.3.3. Mantenimiento y coste asociado	92
2.4. Drenes filtrantes	92
2.4.1. Mantenimiento y coste asociado	93
2.5. Cunetas vegetadas	93
2.5.1. Mantenimiento y coste asociado	93
2.6. Balsas de detención e/o infiltración	94
2.6.1. Mantenimiento y coste asociado	94
2.7. Humedales artificiales y estanques	94
2.7.1. Con agua permanente	94
2.7.2. Con agua estacional	95
2.7.3. Mantenimiento y coste asociado	95
3. PLANTAS POR ZONAS CLIMÁTICAS PARA SUDS CON VEGETACIÓN	96
4. GLOSARIO	104

Índice de tablas

Tabla 1. Relación tipología de diseño vegetal frente a coste anual de mantenimiento	.86
Tabla 2. Coste de mantenimiento de cubierta con sustrato somero	.88
Tabla 3. Coste de mantenimiento de cubierta con sustrato profundo	.88
Tabla 4. Coste de mantenimiento de alcorque estructural sin riego.	.90
Tabla 5. Coste de mantenimiento de alcorque estructural con riego.	.90
Tabla 6. Coste de mantenimiento de parterre inundable sin riego.	.92
Tabla 7. Coste de mantenimiento de parterre inundable con riego.	.92
Tabla 8. Coste de mantenimiento de drenes filtrantes.	.93
Tabla 9. Coste de mantenimiento de cunetas vegetadas.	.93
Tabla 10. Coste de mantenimiento de balsas de detención e/o infiltración.	.94
Tabla 11. Coste de mantenimiento de humedales artificiales con agua estacional.. . . .	.95
Tabla 12. Coste de mantenimiento de humedales artificiales y estanques con riego perimetral.	.95

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de cubierta con sustrato somero.	.87
Figura 2. Ejemplo de cubierta con sustrato profundo.	.87
Figura 3. Ejemplo de usos posibles en cubiertas.	.87
Figura 4. Ejemplo de plantación de planta en cepellón o maceta en alcorque estructural.	.88
Figura 5. Ejemplo de siembra en alcorque estructural.	.89
Figura 6. Ejemplo de instalación de tepe de plantas vivaces.	.89
Figura 7. Ejemplo de instalación de sistema de riego en alcorque estructural.	.90
Figura 8. Ejemplos de parterres inundables sin riego.	.91
Figura 9. Ejemplos de parterres inundables con riego.	.92
Figura 10. Ejemplos de drenes filtrantes.	.92
Figura 11. Ejemplo de cuneta vegetada	.93
Figura 12. Ejemplo de balsa de detención e/o infiltración.	.94
Figura 13. Ejemplo de islas vegetales para biorremediación y refugio de biodiversidad.	.94
Figura 14. Ejemplo de estanque de agua permanente.	.95
Figura 15. Ejemplo de estanque de agua estacional	.95

1. RESUMEN EJECUTIVO

Los SUDS que integran vegetación entre sus elementos se pueden desarrollar mediante diversas tipologías en función de las necesidades y posibilidades, tanto de inversión como de mantenimiento.

Aportan capacidad de infiltración, evapotranspiración, biorretención, bioremediación, belleza, biodiversidad, educación ambiental, participación y sostenibilidad ambiental, económica y social a su entorno. Constituyen una herramienta para el nuevo urbanismo en armonía con el medio ambiente y sobre todo con la gestión del agua y los espacios verdes.

1.1. Tipologías de diseño vegetal

En este apartado se describe, de forma básica y no exhaustiva cada tipología, teniendo en cuenta los aspectos funcionales y de sostenibilidad (económicos, ambientales y sociales), comentados a modo de criterios de definición que nos permitan seleccionar el tipo de jardinería más adecuada para el SUDS que se desee desarrollar:

La siguiente relación de SUDS vegetados incluidos en este anexo se detalla según su diseño vegetal, ejecución, mantenimiento y costes asociados:

TIPOLOGÍA DE SUDS VEGETADO	COSTE ANUAL MANTENIMIENTO 2 PRIMEROS AÑOS	COSTE ANUAL MANTENIMIENTO A PARTIR TERCER AÑO
Cubiertas vegetadas	De 5 A 7 €/m ²	De 1 a 2 €/m ²
Alcorques estructurales	De 6 a 8 €/m ²	De 2 a 3 €/m ²
Parterres inundables	De 6 a 8 €/m ²	De 2 a 3 €/m ²
Drenes filtrantes	3 €/m ²	3 €/m ²
Cunetas vegetadas	5 €/m ²	1 €/m ²
Balsas de detención e infiltración	6 €/m ²	1 €/m ²
Humedales artificiales y estanques	De 5 A 7 €/m ²	De 1 a 2 €/m ²

TABLA 1: RELACIÓN TIPOLOGÍA DE DISEÑO VEGETAL FRENTE A COSTE ANUAL DE MANTENIMIENTO.

Notas: Los precios son estimativos y pueden variar en función de las especies vegetales empleadas. Aquellos cuadros que presentan una horquilla de precios con dos opciones corresponden a plantaciones sin riego o con riego asociado. Fuente: datos económicos del servicio municipal de jardinería de Noain-Valle de Elorz.

1.2. Listado de plantas por zonas climáticas para SUDS con vegetación

El presente listado incluye la mayoría de árboles, arbustos, vivaces y herbáceas que pueden usarse en el diseño de jardinería de los SUDS vegetados en nuestras latitudes. Se incluyen 36 variedades de árboles, 60 de arbustos, 30 de plantas vivaces y 3 mezclas de herbáceas para todo tipo de clima. Esta diversidad de especies ofrece posibilidades y combinaciones para realizar un diseño adecuado a cada tipo de SUDS y necesidad concreta.

Se estructura en función de la idoneidad de cada planta a su ubicación en el fondo o en el perímetro del SUDS, su zona geográfica recomendada y el tipo de SUDS para el que se recomienda.

1.3. Glosario

Este apartado recoge algunas denominaciones técnicas específicas de los SUDS vegetados.

2. TIPOLOGÍAS DE DISEÑO VEGETAL

Los SUDS que integran vegetación entre sus elementos se pueden desarrollar mediante diversas tipologías en función de las necesidades y posibilidades, tanto de inversión como de mantenimiento.

En este apartado se describe, de forma básica y no exhaustiva cada tipología, teniendo en cuenta los aspectos funcionales y de sostenibilidad (económicos, ambientales y sociales), comentados a modo de criterios de definición que nos permitan seleccionar el tipo de jardinería más adecuada para el SUDS que se desee desarrollar:

La siguiente relación de SUDS vegetados incluidos en este anexo se detalla según su diseño vegetal, ejecución, mantenimiento y costes asociados:

- 2.1. CUBIERTAS VEGETADAS
- 2.2. ALCORQUES ESTRUCTURALES
- 2.3. PARTERRES INUNDABLES
- 2.4. DRENES FILTRANTES
- 2.5. CUNETAS VEGETADAS
- 2.6. BALSAS DE DETENCIÓN E/O INFILTRACIÓN
- 2.7. HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES

2.1. Cubiertas vegetadas

Las cubiertas vegetadas cumplen numerosas misiones funcionales como SUDS, pero también aportan funciones en aspectos de mejora de la Biodiversidad y mejora de la eficiencia y el confort en los edificios.

No obstante, presentan particularidades que deben ser tenidas en cuenta para lograr un resultado adecuado y viable.

Como punto de partida se tendrá en cuenta el volumen de sustrato disponible para las plantas. En función de este se seleccionarán las plantas más adecuadas, de cara a un correcto desarrollo. También el uso y la disponibilidad de riego y de personal de mantenimiento marcarán su diseño y mantenimiento posterior.

2.1.1. Cubiertas con sustrato somero

En caso de existir un espesor de hasta 15 cm. de sustrato, se optará por plantas rastreras tipo crasa o Sedum, pudiéndose instalar mediante plantación de ejemplares o la colocación de tepe.

En este aspecto, recalcar que es preferible realizar la instalación de las plantas en otoño, de cara a aprovechar las lluvias y no colocar riego por goteo, ya que fomentaría la aparición de plantas adventicias más vigorosas que las crasas y acabarían colonizando toda la superficie.



FIGURA 1: EJEMPLO DE CUBIERTA CON SUSTRATO SOMERO.

2.1.2. Cubiertas con sustrato profundo

En el caso de disponer de una cubierta con mayor profundidad de sustrato, podremos optar por crear masas de plantas vivaces, tapizantes, arbustos e incluso pequeños árboles. Esto permitirá crear ambientes y funciones diferenciadas como zonas de flor, refugio y atracción de insectos, zonas de anidación para aves, zonas de estancia para personas. En caso de contar con una cubierta con almacenamiento de agua, esta se puede usar para el riego de la plantación y para crear puntos de suministro de agua para aves. El resultado final puede ser muy vistoso y las funciones de retención, evapotranspiración, absorción de carbono y mejora de la eficiencia y el confort del edificio más notables.



FIGURA 2: EJEMPLO DE CUBIERTA CON SUSTRATO PROFUNDO.

No hay que descartar el posible uso para cultivo de verduras mediante la creación de bancales. Es una función muy llamativa, productiva y educativa.



FIGURA 3: EJEMPLO DE USOS POSIBLES EN CUBIERTAS.

2.1.3. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE CUBIERTA CON SUSTRATO SOMERO	PERIODICIDAD
Escarda manual	Cada mes de abril a octubre
Limpieza de sumideros de agua	En junio, octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
5 €/m ²	1 €/m ²

TABLA 2: COSTE DE MANTENIMIENTO DE CUBIERTA CON SUSTRATO SOMERO.

MANTENIMIENTO DE CUBIERTA CON SUSTRATO PROFUNDO	PERIODICIDAD
Escarda manual	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca y limpieza sumideros de agua	En junio, octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
7 €/m ²	2 €/m ²

TABLA 3: COSTE DE MANTENIMIENTO DE CUBIERTA CON SUSTRATO PROFUNDO.

2.2. Alcorques estructurales

2.1.1. Sin riego

Se trata del espacio creado en el pavimento para alojar árboles, arbustos o vivaces. Puede ser aislado o conectando los alcorques entre sí, que es cuando puede desarrollar mejor la función de SUDS y facilitar a su vez el correcto desarrollo de las plantas.

Es imprescindible asegurar un suelo estructural drenante y fácilmente explo-
rable por las raíces.

Al carecer de apoyo con riego por goteo, se puede dotar de irrigadores verticales o tubos de drenaje colocados en vertical para asegurar el tránsito del agua hacia abajo y también la aireación del terreno.

La vegetación a instalar en estos alcorques deberá ser resistente a la escasez de agua disponible, aunque se aconseja dar riegos de implantación de forma inmediata a la plantación y de mantenimiento durante los tres primeros periodos estivales.

En el peor de los casos, se deberá diseñar con plantas específicas para zonas secas (aromáticas de secano, crasas, o de entornos áridos) y plantarlas con las primeras lluvias otoñales para aprovechar las precipitaciones hasta la primavera.

Como formas de instalación de las plantas, se puede optar por:

- Plantación de planta en cepellón o maceta: se asegura una implantación rápida, pues la planta ya tiene un tamaño y sistema radicular desarrollados.



FIGURA 4: EJEMPLO DE PLANTACIÓN DE PLANTA EN CEPELLÓN O MACETA EN ALCORQUE ESTRUCTURAL.

- Siembra, en el caso de vivaces y herbáceas, ya sean ornamentales o autóctonas para Biodiversidad. Se realizará en otoño en caso de no poder realizar riegos de germinación.



FIGURA 5: EJEMPLO DE SIEMBRA EN ALCORQUE ESTRUCTURAL.

- Instalación de tepe de plantas vivaces: Aunque a priori su coste es mayor que el de la siembra, tiene como ventaja la escasa necesidad de escarda posterior. Eso si, se debe elegir una mezcla que resista la sequía estival.

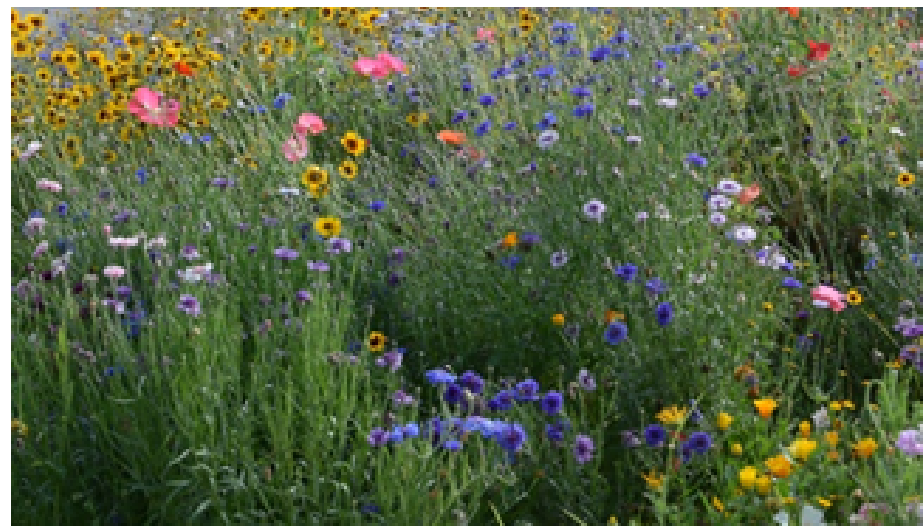


FIGURA 6: EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE TEPE DE PLANTAS VIVACES.

En cualquiera de los casos se aconseja utilizar gel de sílice mezclado en el sustrato de plantación, como retenedor de la humedad durante los primeros años, así como materia orgánica como mejorador de la estructura y la fertilidad en el espacio a explorar por las raíces.

Como complemento a lo anterior y de cara a conservar la humedad el mayor tiempo posible y reducir la competencia de hierbas adventicias de la plantación, se debe aportar acolchado orgánico de tela de yute, PLA o madera triturada, para plantas vigorosas o tela sintética si las plantas elegidas no son vigorosas.

2.2.2. Con riego

En el caso de poder instalar riego por goteo o poder realizar riegos a demanda, se puede optar por todas las tipologías indicadas en el apartado anterior, pero pudiendo elegir plantas en general más vigorosas y vistosas, con lo que conlleva de mayor facilidad para conseguir su aceptación por la población.

Se puede optar por árboles y arbustos de mayor porte, así como vivaces de flor o follaje ornamental, tanto por medio de siembra como instalando tepe de vivaces.

Como pros añadidos, con el riego por goteo, se puede aumentar la función de oasis de Biodiversidad, el mayor éxito en la instalación, y la absorción de carbono. Por contra, aumentará la necesidad de mantenimiento, al aumentar el agua disponible también para las plantas adventicias.

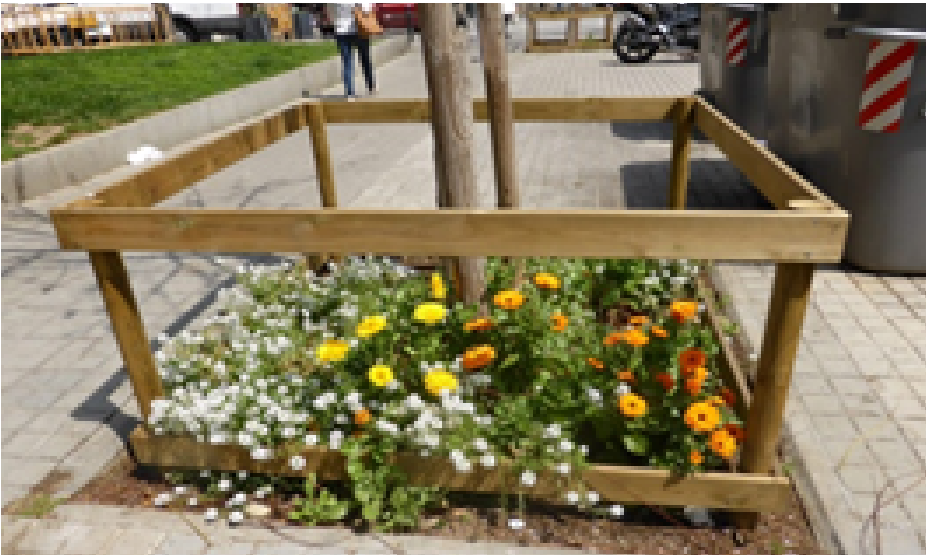


FIGURA 7: EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO EN ALCORQUE ESTRUCTURAL.

2.2.3. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE ALCORQUES ESTRUCTURALES SIN RIEGO	PERIODICIDAD
Escarda manual	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
6 €/m²	2 €/m²

TABLA 4: COSTE DE MANTENIMIENTO DE ALCORQUE ESTRUCTURAL SIN RIEGO.

MANTENIMIENTO DE ALCORQUES ESTRUCTURALES CON RIEGO	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
8 €/m²	3 €/m²

TABLA 5: COSTE DE MANTENIMIENTO DE ALCORQUE ESTRUCTURAL CON RIEGO.

2.3. Parterres inundables

2.3.1. Sin riego

Los parterres inundables sin riego se pueden desarrollar en jardincillos existentes o de nueva creación junto a pavimento. Ofrecen muchas posibilidades dado su mayor tamaño y permiten crear zonas diferenciadas combinando árboles, arbustos, vivaces y herbáceas.

Las condiciones del sustrato y de la plantación son similares a las del apartado de alcorques. Se deberá estudiar la ubicación de las plantas en función de la necesidad de conducir o acumular el agua de lluvia, de forma que cada planta se encuentre en el lugar propicio para su correcto desarrollo y durabilidad.

En el apartado de soporte extra ante la carencia de riego, se aplicará lo expresado en el apartado anterior, concretamente en la idoneidad de aportar gel de sílice y materia orgánica en torno a la zona de exploración de las raíces, así como en el aporte de acolchado orgánico o sintético, según convenga. En las zonas en las que se pueden producir escorrentías, se puede recurrir al aporte de piedras para evitar el arrastre del sustrato al fondo del parterre.



FIGURA 8: EJEMPLOS DE PARTERRES INUNDABLES SIN RIEGO.

2.3.2. Con riego

En los casos de contar con riego por goteo, el abanico de posibilidades se amplía de cara a conseguir una implantación y efectos funcionales, sociales y ambientales más rápidos y notables.

Se puede elegir entre un mayor abanico de plantas y asociaciones entre ellas, creando conjuntos de gran interés estético y para la fauna urbana.





FIGURA 9: EJEMPLOS DE PARTERRES INUNDABLES CON RIEGO.

2.3.3. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE PARTERRES INUNDABLES SIN RIEGO	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
6 €/m ²	2 €/m ²

TABLA 6: COSTE DE MANTENIMIENTO DE PARTERRE INUNDABLE SIN RIEGO.

MANTENIMIENTO DE PARTERRES INUNDABLES CON RIEGO	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
8 €/m ²	3 €/m ²

TABLA 7: COSTE DE MANTENIMIENTO DE PARTERRE INUNDABLE CON RIEGO.

2.4. Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes conllevan peculiaridades para la instalación de la vegetación. Se deberán seleccionar vivaces o herbáceas con sistema radicular resistente y profundo para permitir sujetar el sustrato y resistir en algunos casos la escorrentía.

En las zonas de fondo con mayor disponibilidad de agua en picos de precipitación: Se trata de zonas periódicamente inundables y por ello, las especies a instalar en ellas deben ser específicas para resistir y crecer en esas condiciones.



FIGURA 10: EJEMPLOS DE DRENES FILTRANTES.

2.4.1. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE DRENES FILTRANTES	PERIODICIDAD
Siega y limpieza	Cada 7-15 días de abril a octubre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
3 €/m ²	3 €/m ²

TABLA 8: COSTE DE MANTENIMIENTO DE DRENES FILTRANTES.

2.5. Cunetas vegetadas

Las cunetas vegetadas tienen una gama de selección de especies vegetales más reducida que los apartados anteriores por su función principal de soporte drenante para vías de circulación. Por ello se debe recurrir a plantas herbáceas y tapizantes.

Deben adaptarse a una altura mínima para posibilitar el mantenimiento y limpieza que una infraestructura viaria necesita.

Como en los anteriores capítulos, la disponibilidad de riego, determinará también la selección de las plantas a instalar y el resultado estético, pero también el coste de mantenimiento y el resto de funciones sociales y ambientales.

Es ahí donde hay que poner la balanza a la hora de diseñar con visión holística para lograr el resultado más conveniente en cada caso.



FIGURA 11: EJEMPLO DE CUNETAS VEGETADAS.

2.5.1. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE CUNETAS VEGETADAS	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riegos (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
5 €/m ²	1 €/m ²

TABLA 9: COSTE DE MANTENIMIENTO DE CUNETAS VEGETADAS.

2.6. Balsas de detención e/o infiltración

Estos espacios permiten crear puntos de acopio puntual o continuo de agua y por tanto reúnen las condiciones para que la vegetación de su perímetro prospere. Además, favorece la introducción o aparición espontánea de plantas asociadas al medio acuático y su fauna asociada, convirtiéndose en verdaderos puntos de Biodiversidad, tanto para la comunidad que surja en su interior como para toda la fauna que acuda desde los alrededores a proveerse de agua, alimento o cobijo.

En la zona de detención e infiltración no conviene a priori plantar nada. La propia naturaleza obrará el milagro. Además, conviene dar un desbroce anual a las plantas que se vayan instalando para mantener la capacidad de acumulación de la balsa, aunque se puede dejar alguna zona para conservar el refugio de la fauna en invierno.

En la orla circundante se pueden plantar masas de arbustos, vivaces o árboles, creando un interesante mosaico en función de las necesidades u optar por dejar plantas herbáceas de siega periódica, pudiendo acotar zonas de corte intensivo y otras de corte anual para fomentar la flora y fauna útil.

Para su instalación se pueden usar todos los formatos anteriormente indicados: plantación en cepellón o maceta, siembra o colocación de tepes.

La disponibilidad de riego en el perímetro de la balsa determinará la selección definitiva de las plantas para conseguir el mejor resultado a corto y largo plazo, así como para estimar la carga de mantenimiento necesaria.



FIGURA 12: EJEMPLO DE BALSA DE DETENCIÓN E/O INFILTRACIÓN.

2.6.1. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE BALSAS DE DETENCIÓN E/O INFILTRACIÓN	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En febrero, junio y octubre
Desbroce y limpieza de fondo	En agosto
Riego de plantaciones perimetrales	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
6 €/m²	1 €/m²

TABLA 10: COSTE DE MANTENIMIENTO DE BALSAS DE DETENCIÓN E/O INFILTRACIÓN.

2.7. Humedales artificiales y estanques

Los humedales artificiales y estanques ofrecen, además de su función de drenaje sostenible, una oportunidad para crear comunidades vegetales asociadas a las zonas húmedas, con sus servicios asociados de biorremediación, biodiversidad, paisajístico, ocio y educación ambiental. Se pueden dar dos tipologías básicas:

2.7.1. Con agua permanente

El nivel de agua de este tipo de humedales y estanques fluctúa en función de las precipitaciones, aunque se cuenta siempre con una lámina de agua mínima. Ofrecen la posibilidad de crear comunidades vegetales estables y con especies de porte pequeño, mediano y grande (árboles, arbustos y vivaces), al contar con humedad permanente.



FIGURA 13: EJEMPLO DE ISLAS VEGETALES PARA BIORREMEDIACIÓN Y REFUGIO DE BIODIVERSIDAD.



FIGURA 14: EJEMPLO DE ESTANQUE DE AGUA PERMANENTE.

2.7.2. Con agua estacional

La presencia de una lámina de agua gira en torno a los episodios de precipitación. Esto supone un reto a la hora de seleccionar plantas que puedan adaptarse a periodos húmedos y periodos secos, lo que reduce el número de especies vegetales susceptibles de uso.



FIGURA 15: EJEMPLO DE ESTANQUE DE AGUA ESTACIONAL.

2.7.3. Mantenimiento y coste asociado

El siguiente cuadro expresa la estimación de necesidades de mantenimiento y su coste desde la implantación:

MANTENIMIENTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES CON AGUA ESTACIONAL	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En enero
Desbroce y limpieza de fondo	En agosto
Riego (aquellos que lo requieran)	En verano cada 15 días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
5 €/m ²	1 €/m ²

TABLA 11: COSTE DE MANTENIMIENTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES CON AGUA ESTACIONAL.

MANTENIMIENTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES CON RIEGO PERIMETRAL	PERIODICIDAD
Escarda manual y limpieza	Cada mes de abril a octubre
Poda (aquellos que lo requieran)	En enero
Recogida hojarasca	En octubre y diciembre
Riego (aquellos que lo requieran)	En verano cada dos días
Coste de mantenimiento anual durante los dos primeros años tras la plantación	Coste de mantenimiento anual a partir del tercer año tras la plantación
7 €/m ²	2 €/m ²

TABLA 12: COSTE DE MANTENIMIENTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES CON RIEGO PERIMETRAL.

3. LISTADO DE PLANTAS POR ZONAS CLIMÁTICAS PARA SUDS CON VEGETACIÓN

El presente listado incluye la mayoría de árboles, arbustos, vivaces y herbáceas que pueden usarse en el diseño de jardinería de los SUDS vegetados en nuestras latitudes. La configuración del listado, de izquierda a derecha, es:

- Primera columna: Recoge los nombres científico y común, así como las principales características sobre su aspecto y rusticidad. Se diferencian del siguiente modo:
- Segunda columna: ZONA DE FONDO. Se señalan con una “X” aquellas plantas tolerantes al encharcamiento al plantar en zonas de fondo de los SUDS.
- Tercera columna: PERIMETRO. Se señalan con una “X” aquellas plantas tolerantes a la sequía al plantar en zonas perimetrales de los SUDS.
- Cuarta columna: Se utilizan números en referencia a la zona geográfica en la que se recomienda su uso. La zonificación seleccionada ha sido la de las Comarcas geográficas de Navarra:

	COMARCA GEOGRÁFICA
1	Navarra Húmeda del Noroeste
2	Valles Pirenaicos
3	Valles Prepirenaicos
4	Navarra Media Oriental
5	Navarra Media Occidental
6	Ribera Estellesa
7	Ribera Tudelana

- Quinta columna: Se indica el tipo de SUDS indicado para cada planta. Se usan las tres primeras letras de cada tipo de SUDS para ello:

- o CUBIERTAS VEGETADAS: **CUB**
- o ALCORQUES ESTRUCTURALES: **ALC**
- o ARTERRES INUNDABLES: **PAR**
- o JARDINES DE LLUVIA O INFILTRACIÓN Y FRANJAS FILTRANTES: **JAR**
- o CUNETAS VEGETADAS: **CUN**
- o BALSAS DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN Y HUMEDALES: **BAL**

Los marcos de plantación pueden variar según cada caso. Por ello, se diseñarán en función de variables como la zona climática, la fertilidad del suelo, la orientación, la función requerida de la plantación (por ejemplo: necesidad de sombreado rápido, programando aclareos posteriores) o la disponibilidad económica. Se adjuntan los siguientes marcos de plantación a modo orientativo:

- **Arbolado:** Entre 4 y 6 metros entre plantas según el clima, vigor, dimensiones finales de la especie y función requerida de la plantación.
- **Arbustos:** Entre 1 y 3 plantas por metro cuadrado, según clima, el vigor, dimensiones finales de la especie y función requerida de la plantación.
- **Vivaces:** Entre 6 y 9 plantas por metro cuadrado, según el clima, vigor, dimensiones finales de la especie y función requerida de la plantación.
- **Herbáceas:** Entre 30 y 40 gramos por metro cuadrado según la disponibilidad de riego o zona climática.

[Ampliar información sobre plantas adaptadas a diversas zonas climáticas](#)

[Plantas y zonas de rusticidad](#)

[Guía del jardín sostenible](#)

[Buscador de árboles y la guía de árboles y arbustos](#)

[Buscador de semillas pratenses](#)

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
ÁRBOLES				
<i>Acer campestre</i>. Arce común: Pequeño arbolillo que da sombra muy densa. Precioso color de otoño. Resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Acer monspessulanum</i>. Arce de Montpellier: Árbol mediano que da sombra muy densa. Resistente.		X	3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Acer pseudoplatanus</i>. Sicómoro: Cultivado como árbol de sombra. Resistente.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Acer platanoides</i>. Arce Real: Árbol alto que gusta de sombra y suelos fértiles y húmedos.	X		1,2,3	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Arbutus unedo</i>. Madroño: Hojas verde oscuras. Llamativos frutos rojos o naranjas, comestibles. Resistencia media.		X	3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Celtis australis</i>. Almez: Resiste sequedad.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Ceratonia siliqua</i>. Algarrobo: No soporta las heladas fuertes y prefiere climas cálidos. Muy resistente.		X	6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Cercis siliquastrum</i>. Árbol del amor: Floración vistosa. Muy resistente.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Cupressus sempervirens</i>. Ciprés: Copa estrecha y alta. Longevo y resistente. Muy resistente		X	4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Cydonia oblonga</i>. Membrillero: Arbusto o arbolillo con ramas irregulares y tortuosas. fruto muy oloroso. Resistente		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Eleagnus angustifolia</i>. Olivo ruso: Árbol de pequeño porte de color gris azulado. Muy resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Euonimus europaeus</i>. Bonetero: Pequeño arbolillo caducifolio, cuyas flores tienen un olor poco. agradable Resistente.	X		1,2,3	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Ficus caryca</i>. Higuera: Copa amplia, hojas grandes y ásperas. Hay razas locales de interés.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Fraxinus angustifolia</i>. Fresno de hoja estrecha: Árbol caducifolio de porte mediano. Resistente.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Fraxinus excelsior</i>. Fresno de hoja ancha: Árbol caducifolio de porte grande. Resistente aunque requiere más humedad.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR
<i>Fraxinus ornus</i>. Fresno pequeño: Floración blanca en primavera Recomendable para zonas con poco espacio disponible. Resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Gyngko biloba</i>. Pie de pato: Muy rústico. Resistente a la contaminación. Bello color amarillo en otoño.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR
<i>Juglans regia</i>. Nogal: Árbol de hoja caduca y copa amplia y redondeada. Resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Juniperus sp</i>. Enebros. Plantas polimorfas, de hojas aciculares. Muy resistentes.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Laurus nobilis</i>. Laurel: Interesante planta ornamental, soporta bien la poda y requiere lugares resguardados.	X		1,2,3	ALC, PAR, CUB, JAR, BAL
<i>Malus "Everest"</i>. Manzano: Floración blanca y frutos rojos en otoño. Recomendable para zonas sin pavimento. Resistente.	X		1,2,3	ALC, PAR

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
Morus alba. Morera blanca: Rústica, aguanta bien sequía y frío. Se recomienda utilizar variedades sin frutos en zonas pavimentadas. Resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Olea europea. Olivo: Resiste los fríos intensos, pero las heladas reducen la producción. Resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
Pinus halepensis. Pino carrasco: Troncos de corteza cenicienta. Hojas aciculares finas y flexibles. Resistente..		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR
Pinus pinea. Pino piñonero: Piñón comestible, copa aparasolada. Resistente.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
Punica granatum. Granado: Prefiere zonas cálidas. Plantar resguardada y con orientación sur. Resistente.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
Prunus Yedoensis. Cerezo blanco: Variedad de flor blanca y abundante. Muy recomendable para zonas céntricas. Longevidad corta-media.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
Pyrus calleriana. Peral: Árbol de porte medio y copa columnar abierta. No tiene fruto. Recomendable para zonas pavimentadas.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Quercus ilex. Encina: Crecimiento lento. Muy resistente.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Quercus robur. Roble del país: Crecimiento lento y porte alto. Requiere humedad.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Quercus humilis. Roble de zona seca: Porte medio y tolerancia a la sequía.		X	3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Sorbus aria. Mostajo: Muy decorativo por sus hojas y por sus frutos. Tolera la contaminación urbana.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Tamarix gallica. Taray europeo: Arbolillo con floración rosa en primavera y atractivo color otoñal. Resiste la sequía y el encharcamiento.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Taxus baccata. Tejo: Prefiere la sombra. Crecimiento lento. Requiere riego estival.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
Tilia tomentosa. Tilo: Copa amplia con follaje apretado. Flores olorosas.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
ARBUSTOS				
Atriplex halimus. Orzaga: Resiste la salinidad en aire y suelo. Muy resistente a la sequía.		X	4,5,6,7	ALC, PAR
Berberis Auricoma: De porte alto, follaje rojo y muy resistente a la sequía y los suelos pobres.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
Berberis Thunbergii atropurpurea. Berberis rojo: Arbusto de follaje rojo muy resistente a la sequía y los suelos pobres.		X	6,7	ALC, PAR
Berberis vulgaris. Agracejo: Muy adecuado para el clima continental extremo.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR
Buxus sempervirens. Boj: Resiste tanto lugares sombreados como soleados.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Calluna vulgaris. Brecina: Admite suelos pobres y secos, pero no calcáreos. Tolera la sombra.		X	4,5,6,7	ALC, PAR

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
<i>Ceanothus prostratus</i>. Ceanothus: Arbusto rastrero de porte mediano y llamativa floración azul. Requiere suelo fértil y riego moderado.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Chaenomeles japonica</i>. Membrillero del Japón: Arbusto de floración temprana a final del invierno. Se adapta a suelos pobres y resiste con poco riego en verano.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Cistus albidus</i>. Estepa blanca: Flores rosadas. Exigencias nulas.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Cotinus coggygia</i>. Árbol de las pelucas: De porte grande y follaje rojizo. Para zonas con humedad.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR
<i>Colutea arborescens</i>. Espantalobos: Requiere poca humedad. Frutos inflados.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Cornus sanguinea</i>. Cornejo: De crecimiento vigoroso y tallos rojizos. Requiere riegos estivales.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR
<i>Coronilla glauca</i>. Coronilla: Floración amarilla muy llamativa. Muy resistente a la sequía.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Corylus avellana</i>. Avellano: Principalmente en suelos umbrosos y frescos.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Cotoneaster sp.</i> Cotoneaster: Arbustos de portes rastreros y erguidos. Resisten suelos pobres y poco riego.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Crataegus monogyna</i>. Majuelo: Flor y fruto atractivo. Apto para sol y sombra.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Cytisus scoparius</i>. Retama: Floración amarilla. Requiere suelo fértil pero es resistente a veranos secos.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Eleagnus pungens "Maculata aurea"</i>. Eleagno: Arbusto vigoroso y llamativo follaje. Se adapta a todo tipo de suelos. Requiere humedad media.		X	1,2,3	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Ephedra fragilis</i>. Hierba de las coyunturas: Puede crecer sobre suelos ricos en cal, secos y muy soleados.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Erica sp.</i> Brezos: Muy adaptables, aunque mejor en suelos ácidos.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Euphorbia latiris</i>. Euphorbia: Tapizante y muy resistente a la sequía.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR
<i>Forsythia intermedia</i>. Forsitia: Floración amarilla espectacular. Resiste a suelos pobres. Requiere algo de riego estival.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Genista sp.</i> Genistas: Resistentes según especies.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
<i>Geranium sp.</i> Geranios: De floración vistosa, tapizante y poco requerimiento de suelo. Riego moderado.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Halimium atriplicifolium</i>. Jara blanca: Arbusto plateado con flores amarillo doradas. Crece sobre suelos básicos, soleados y secos.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Hedera hélix</i>. Hiedra: Muy atractiva para la fauna silvestre, especialmente para aves e insectos.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Ilex aquifolium</i>. Acebo: Arbusto de desarrollo lento, pero que alcanza altura considerable. Se adapta a la sombra y requiere suelos fértiles y húmedos.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
Kerria japonica: Arbusto de flores amarillos. Requiere suelo fértil y húmedo.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Lavandula stoechas. Cantueso: Mata densa. Prefiere terrenos ácidos, preferentemente silíceos.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Lavandula dentata. Espliego de jardín: Tolera suelos calcáreos y pobres.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Ligustrum vulgare. Aligustre: Excelente para crear masas. Tolera la contaminación, el sol y la sombra.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Lonicera nítida. Lonicera arbustiva: Arbusto perenne tapizante y muy rústico para zonas de suelo pobre. Requiere algo de riego estival.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Lonicera spp. Madreselvas: Tapizantes de flores blancas perfumadas.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Mahonia aquifolium. Mahonia o uva de Oregón: Sus hojas brillantes y verde oscuras toman tonos rojizos en invierno. Orientación sombría y suelos fértiles.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Myrtus communis.		X	1,2,3,4	ALC, PAR, JAR, BAL
Nerium oleander. Adelfa: De floración llamativa y muy resistente a suelos secos y pobres.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Philadelphus coronarius. Celinda: Flores grandes y fragantes. Pasado el primer año resiste muy bien la escasez de riego.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Phillyrea latifolia. Labiérnago: Muy usado para revegetar taludes. Gran poder de adaptación.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Photinia "Red Robin": Arbusto de llamativos brotes rojos. Se adapta a suelos pobres y riego limitado.			1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Pistacia lentiscus. Lentisco: Muy rústica, pero poco resistente a las heladas fuertes.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Pistacia terebinthus. Cornicabra: Requiere sol y suelos medios.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Pittosporum tobira. Pitosporo: Rápido crecimiento. Hojas lustrosas y flores perfumadas. Resiste mal heladas fuertes. Apta para masas.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Rhamnus alaternus. Aladierno: Aguanta todo tipo de terrenos. Muy rústica.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Rhus typhina. Zumaque de Virginia: Arbusto grande de llamativas flores y color otoñal. Se adapta a suelos pobres y poco riego.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Rosa sp. Rosales: Diversidad de variedades erguidas y tapizantes que se adaptan a suelos pobres y poco riego.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Rosmarinus officinalis. Romero: Muy aromático. Produce flores durante buena parte el año.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Prunus spinosa. Endrino: Arbusto muy espinoso. Rústico, requiere algo de humedad.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Quercus coccifera. Carrasca, coscoja: Prefiere suelos calizos y climas cálidos. Soporta bien la sequía.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
Rosa canina. Rosal silvestre: Crece en todo tipo de terrenos.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Rosmarinus officinalis postratus. Romero rastrero: Tapizante de flores azules y resistente a la sequía.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Salix sp. Sauces: Diversas variedades de sauces de tamaño pequeño y mediano. Adaptados a medios encharcados o con nivel freático alto.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Sambucus nigra. Saúco: Arbusto grande de hermosa floración primavera. Requiere terreno húmedo constante.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Santolina chamaecyparissus. Abrótano hembra: De flores amarillas. Resiste la escasez de agua.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Sedum sp. Uva de párajo: Diversas variedades tapizantes de colores verdes y rojizos. Muy resistentes a la sequía.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN
Syringa vulgaris. Lilo: Llamativas flores blancas o lilas de olor muy agradable.		X	1,2,3	ALC, PAR, JAR, BAL
Teucrium fruticans. Salvia amarga: Follaje agradable. Muy resistente, pocos cuidados.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, JAR, BAL
Thymus officinalis. Tomillo: De floración interesante para polinizadores. Soporta riego escaso.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Thymus serpyllum. Serpol: Crece bien sobre suelos áridos, pobres y bien drenados, soportando bien la sequía.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Thymus zygis. Tomillo salsero: Apto para taludes al sol. Requiere poco riego.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Thymus mastichina. Tomillo blanco: Apto para taludes al sol. Requiere poco riego.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Vaccinium myrtillus. Arándano: Frutos comestibles muy apreciados.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Viburnum tinus. Durillo: Porte muy redondeado y compacto. Hojas lustrosas verde oscuras. Apto para zonas semi-secas o húmedas.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, JAR, BAL
Vitex agnus-castus. Sauzgatillo: De crecimiento vigoroso. Requiere zonas con humedad constante.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
VIVACES				
Acanthus mollis. Acanto: Grandes y lustrosas hojas. Llamativas flores en espiga púrpura y blanco. Resistente la sombra.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Achillea millefolium. Milenrama: Cabezas florales aplanadas con multitud de florecillas blancas.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Ajuga reptans. Consuelda media: Prefiere zonas de sombra y terrenos frescos.	X		1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Arabis sp. Arabis: Buena para pequeñas superficies. Resiste bien la sequía.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Armeria maritima. Armeria: Rústica, resistente a la sequía y a la salinidad. Buena tapizante para pequeñas extensiones.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
Artemisia absinthium. Ajenjo: Tapizante de follaje gris plateado, aromático.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Aster sp. Aster: Rústicos y resistentes. Requieren riego regular en verano.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Centranthus ruber. Milamores: Hojas anchas y carnosas. Flores rosa rojizo bastante persistentes. Soporta cualquier tipo de suelo y la sequía.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Cerastium tomentosum. Nieve de verano: Hojas grises y algo pelosas. Requiere exposición soleada y riegos en verano.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Dianthus spp. Clavelinas: Especies y variedades de interés, con amplia gama de colores. Soportan sequedad pero agradecen riegos espaciados en verano.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Dorycnium pentaphyllum. Bocha blanca: Crece silvestre en pinares.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Festuca glauca. Cañuela azul: Gramínea ornamental de hojas finas azuladas. Tolera los suelos pobres y áridos.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Halimium umbellatum. Ardivieja, jaguarcillo: Subarbusto siempre verde con bonitas flores blancas.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Helichrysum spp. Siempreviva amarilla: Aromática. Sensible a las heladas fuertes.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Hypericum calycinum. Hierba de San Juan: Excelente tapiz verde con flores amarillas, grandes y llamativas. Resiste la sequedad, prefiere terrenos arenosos y frescos.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Hyssopus officinalis. Hisopo: Aromática, con pequeñas flores azul violeta. No soporta las heladas fuertes.		X	4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Iberis sempervirens. Carraspique: Resiste la sequedad y todo tipo de suelos.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Iris germanica. Lirio común: Tolera heladas. Evitar en suelos húmedos.	X		1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Linum narbonense. Lino: Flores de un bonito color azul intenso. Especie perenne, con cepa más o menos leñosa.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Lithodora diffusa. Carrasquilla azul: Hojas como el romero y pequeñas flores azul genciana.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Salvia officinalis. Salvia: Bonitas flores púrpura. Resiste sequía y salinidad.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Origanum vulgare. Orégano: Resiste heladas y le gusta el sol.		X	1,2,3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Saponaria ocymoides. Jabonera rocosa: En primavera y verano forma un compacto conjunto de flores rosas. Para zonas pedregosas.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Sedum spp. Especies interesantes por su resistencia a la sequía y capacidad de colonizar zonas de suelo delgado. Hojas carnosas y bonitas cabezas florales de colores variados.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Sempervivum tectorum. Siempreviva: Característicos rosetones de hojas carnosas. Muy resistente en zonas secas o cubiertas verdes.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL

ESPECIE	ZONA DE FONDO	PERÍMETRO	ZONA GEOGRÁFICA	SUDS RECOMENDADO
<i>Teucrium chamaedrys</i>. Carrasquilla: Mata de porte extendido y pequeñas flores de color púrpura rosado. Resiste suelos áridos.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Verbena spp.</i> Verbena: Muy adecuada para crear masas. Buena tapizante. Resisten la sequedad.		X	3,4,5,6,7	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
<i>Viola odorata</i>. Violeta de olor: Flores aromáticas, blancas o violetas. Buena cobertura del suelo en lugares sombreados.		X	1,2,3,4,5	ALC, PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
HERBÁCEAS Se recomiendan las siguientes mezclas:				
Mezcla para pluviometría abundante: <i>Achillea millefolium</i> 2%, <i>Agropyrum cristatum</i> 20%, <i>Bromus inermis</i> 14%, <i>Lolium multiflorum</i> 30%, <i>Medicago lupulina</i> 8% <i>Melilotus officinalis</i> 10%, <i>Plantago lanceolata</i> 2% <i>Sanguisorba major</i> 2% <i>Silene vulgaris</i> 2% <i>Taraxacum officinalis</i> 2% <i>Trifolium repens</i> 8%	X		1,2,3,4	PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Mezcla para pluviometría media: <i>Agropyrum cristatum</i> 14%, <i>Festuca rubra</i> 5%, <i>Dactylis glomerata</i> 10%, <i>Lotus corniculatus</i> 5%, <i>Medicago lupulina</i> 5%, <i>Medicago sativa</i> 15%, <i>Melilotus officinalis</i> 10%, <i>Onobrychis viciifolia</i> 16%, <i>Oryzopsis miliacea</i> 4%, <i>Plantago lanceolata</i> 4%, <i>Sedum sediforme</i> 3%, <i>Trifolium subterraneum</i> 10%.		X	3,4,5	PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
Mezcla para pluviometría escasa: <i>Agropyrum cristatum</i> 10%, <i>Brachypodium Phoenicoides</i> 2%, <i>Cynodon dactylon</i> 10%, <i>Dactylis glomerata</i> 25% <i>Daucus carota</i> 1%, <i>Eryngium campestre</i> 2%, <i>Foeniculum vulgare</i> 1%, <i>Lolium rigidum</i> 15%, <i>Medicago sativa</i> 20%, <i>Moricandia moricandioides</i> 2%, <i>Onobrychis viciifolia</i> 6%, <i>Oryzopsis miliacea</i> 2%, <i>Plantago lanceolata</i> 2%.		X	4,5,6,7	PAR, CUB, JAR, CUN, BAL
HORTÍCOLAS				
La variedad susceptible de cultivarse en bancales situados en cubiertas vegetadas en toda la comunidad Foral abarca todas las plantas habituales de la huerta en Navarra con las consiguientes peculiaridades sobre fechas de siembra, plantación y recolección correspondientes a cada zona climática.		X	1,2,3,4,5,6,7	CUB

4. GLOSARIO

En el presente glosario se describen términos técnicos asociados a las plantaciones, la vegetación y los materiales empleados en algunos SUDS:

- **Acolchado:** Material continuo o disgregado que se emplea para cubrir el terreno de una plantación. Puede ser madera triturada, paja o mantas sintéticas, orgánicas o vegetales. Reducen la necesidad de escarda y riego, al evitar parte de la evaporación del agua del terreno.
- **Alcorque:** Espacio creado en el terreno o el pavimento en torno a un árbol o arbusto para la recogida del agua. Un ejemplo de alcorque es todos aquellos que albergan árboles en las aceras.
- **Bancal:** Espacio dedicado específicamente al cultivo de plantas ornamentales o comestibles. Puede ejecutarse a nivel del suelo o elevarse hasta la altura deseada. Habitualmente se delimita con traviesas, perfiles de madera, plástico o metal o cualquier material que evite la pérdida de tierra o la mezcla del sustrato con los materiales circundantes.
- **Gel de sílice:** Material granular compuesto de sílice que se aplica y mezcla con el sustrato de plantación y cuya capacidad de absorción de agua permite crear

cierta reserva de humedad para las plantas de su entorno, sobre todo en aquellas situaciones en que el agua puede escasear a lo largo del año.

- **Herbácea:** Planta pequeña que presenta un tallo tierno y suele vivir no más de dos años después de generar la semilla. Esto quiere decir que alude a plantas que no producen órganos duros o leñosos. Un ejemplo de planta herbácea es el trigo.
- **Planta tapizante:** Se usa para denominar aquellas plantas que tienen la capacidad de cubrir el suelo con su vegetación. Se usan para evitar la aparición de plantas no deseadas, para evitar la erosión y la escorrentía, así como con fines ornamentales y de fomento de la biodiversidad. Un ejemplo de planta tapizante podría ser una hiedra que cubra el terreno.
- **Planta vivaz:** Se denominan así aquellas plantas no leñosas que viven más de dos años. Pueden ser utilizadas por su floración, follaje o su capacidad de atraer insectos. Ejemplos de planta vivaz son la margarita o la caléndula.
- **Sustrato:** Es todo material sólido distinto del suelo original, natural, mineral u orgánico, que, colocado en el terreno, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular y la nutrición, desempeñando, por tanto, un papel de soporte físico y vital para la planta. Un ejemplo de sustrato puede ser la turba, la tierra para macetas o las mezclas de arena, arcilla y compost para plantación.

Anejo extractado del artículo: "**Recomendaciones de jardinería en sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS)**"
Autor: Mikel Baztán. Ahora Clima S.L. 2022



Sud en Txantrea,
Comarca de
Pamplona.

A2

ANEJO II. PROTOTIPO DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) INSTALADO EN EL APARCAMIENTO DE LA UPNA (TUDELA).

[CLICA AQUÍ PARA VER LA
INFORMACIÓN COMPLETA
Y ACTUALIZADA](#)

Debido a los problemas derivados de las redes unitarias mayoritarias en Navarra, NILSA como empresa pública que gestiona y opera gran parte de las Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDARs) de Navarra busca impulsar y estudiar el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como alternativa de drenaje.

En este contexto, se ha construido el actual prototipo de SUDS que se enmarca dentro de la Acción C2.3 del proyecto LIFE-IP NAdapta-CC. El proyecto es una estrategia integrada para la adaptación al Cambio Climático en Navarra, y forma parte de la aportación de Navarra al compromiso internacional frente al Cambio Climático.

1. INTRODUCCIÓN.	107
2. DISEÑO DE LOS SUDS	108
3. JARDINERÍA Y MANTENIMIENTO	110
3.1. Especies seleccionadas.	112
3.2. Mantenimiento	114
4. MONITORIZACIÓN	116
5. RESULTADOS	116
5.1. Episodios	117
5.2. Muestras de suelo	118
6. BIBLIOGRAFÍA	119



1. INTRODUCCIÓN

El Desarrollo del Plan de Saneamiento y Depuración en Navarra, que arrancó en el año 1989 con la creación de la empresa pública Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (NILSA), ha hecho que Navarra tenga resuelto la depuración de las aguas residuales municipales hasta poblaciones de 250 habitantes. Continuando con esta labor, nuestro objetivo es llegar en los próximos años a poblaciones de 100 habitantes con depuración biológica. Alcanzado este nivel de depuración, y en un proceso de continua revisión, toca analizar cuáles deberían ser las siguientes líneas estratégicas de actuación y para ello habrá que diagnosticar donde están los principales impactos en el río. Esto es lo que ha hecho la Comisión Europea en la revisión de la Directiva Europea de Depuración. Las conclusiones de este diagnóstico son claras, además de avanzar en la depuración de poblaciones de menos de 2.000 habitantes, se debe minimizar la contaminación producida por alivios y desbordamientos y por las aguas de escorrentía en zonas urbanas. Todo ello teniendo en cuenta, además, soluciones basadas en la naturaleza.

Debido a los problemas derivados de las redes unitarias mayoritarias en Navarra, NILSA como empresa pública que gestiona y opera gran parte de las Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDARs) de Navarra busca impulsar y estudiar el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como alternativa de drenaje. En este contexto, se ha construido el actual prototipo de SUDS que se enmarca dentro de la Acción C2.3 del proyecto LIFE-IP NAdapta-CC. En esta acción se pretende estudiar fórmulas legales y facilitar el diseño con una guía, además de optimizar el diseño y dimensionamiento de futuros SUDS con los datos obtenidos en el prototipo. El presente prototipo está dentro del área estratégica de actuación Agua, donde también se enmarcan los trabajos de implementación de sistemas de alerta temprana en depuradoras y de una red de sensores en puntos de alivio de los sistemas de saneamiento para evitar impactos en los ríos. El proyecto, en definitiva, es una estrategia integrada para la adaptación al Cambio Climático en Navarra, y forma parte de la aportación de Navarra al compromiso internacional frente al Cambio Climático.

Existe una aceptación cada vez mayor sobre un enfoque más sostenible para la gestión de la escorrentía. Los SUDS imitan los procesos de drenaje natural para reducir el efecto sobre la calidad y cantidad de la escorrentía, aumentar la biodiversidad, todo ello proporcionando espacios más amigables y atractivos. Estos son los cuatro pilares sobre los que se fundamenta la gestión sostenible de las aguas pluviales. Además de los beneficios obtenidos en la gestión del ciclo del agua, con la implantación de SUDS en el espacio público formados por superficies vegetadas y zonas verdes se obtienen otros beneficios como son la reducción del efecto “isla de calor” por medio de evapotranspiración, lo

que implica ahorro energético, reducción de las emisiones de CO₂, mejora de la calidad del aire, en definitiva, una mejora de la calidad de vida en las ciudades.

El prototipo está ubicado en el aparcamiento de la Universidad Pública de Navarra (UPNA) de Tudela. Al tratarse de una zona impermeabilizada muy amplia, genera una gran cantidad de escorrentía y es un lugar idóneo para la implementación de SUDS. Las obras fueron realizadas en 2019 con un presupuesto de 70.000 euros.

Cabe además destacar el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Tudela, el cual por definición determina la morfología y composición urbana. En este PGOU se establece que uno de los objetivos para conseguir mejorar la sostenibilidad ambiental es la gestión sostenible del agua de lluvia mediante SUDS. Hace referencia a la utilización de pavimentos filtrantes y vegetados, a la instalación de depósitos de reutilización, al filtrado del agua mediante SUDS, y a los beneficios medioambientales frente a los drenajes tradicionales (disminución del caudal de la escorrentía y su carga contaminante, laminación de las puntas de caudal vertido a cauce, utilización del agua de lluvia etc.).



2. DISEÑO DE LOS SUDS

El diseño inicial de los SUDS se planteó principalmente para laminar la escorrentía generada, minimizar impactos en la red unitaria aguas abajo y minimizar el uso del tanque de tormentas. Además, se planteó reducir la carga contaminante arrastrada mediante la aplicación de un sencillo tren de tratamiento. Un tren de tratamiento son uno o varios SUDS conectados con los que se consigue un tratamiento en cadena mejorando la calidad final del agua de lluvia.

Teniendo en cuenta el espacio con el que se contaba se diseñaron tres SUDS (Figura 1). Dos de ellos forman el tren de tratamiento y el tercero consiste en un sistema de biorretención. La función de este último principalmente es la laminación de caudales y gestionar parte de la contaminación arrastrada. Esto es importante en el contexto de Tudela, donde la prioridad es minimizar el impacto de los caudales unitarios en la red.

El dimensionamiento de cada uno de ellos se ha realizado siguiendo las directrices del borrador de las “Normas Técnicas para el diseño de las obras e instalaciones para la gestión de aguas de escorrentía” elaborado por el Ministerio. Los criterios para la gestión sostenible de la escorrentía pluvial tienen como objetivo fundamental reducir el impacto de los desbordamientos de sistemas de saneamiento, tanto si son unitarios como separativos. En el documento “se establece un criterio de dimensionamiento de los sistemas de control y tratamiento de escorrentías pluviales con el fin de limitar la contaminación movilizada hacia las masas acuáticas a través de los desbordamientos de sistemas pluviales”. Estas normas proponen “como estándar para el dimensionamiento de las obras e instalaciones para la gestión de las aguas de escorrentía pluvial contaminada la eliminación del 80% de la masa promedio anual de precipitación de sólidos en suspensión (SS). El volumen asociado a este estándar se define en las referencias internacionales como “volumen de calidad de agua” Y “Este volumen de calidad se puede definir a través del volumen de escorrentía que genera una lluvia de diseño que permite que el porcentaje de eliminación (retención) de la carga de sólidos en suspensión totales anuales sea igual o superior al 80%.”

Para lograr este objetivo consideran “que el volumen de diseño de las técnicas SUDS debe ser, como mínimo, el necesario para tratar la lluvia total registrada en 24 horas del percentil del 80% de la zona de estudio.” Para obtener este dato se deben emplear series de precipitaciones diarias de 10 años consecutivos y recientes. Esto quiere decir que un SUDS como mínimo tiene que ser capaz de almacenar el volumen de lluvia equivalente al 80% de los eventos.

El percentil del 80% considerado para Tudela es de 11 mm (Navarra de Infraestructuras Locales S.A., 2022). Cada uno de los SUDS tiene que ser capaz de

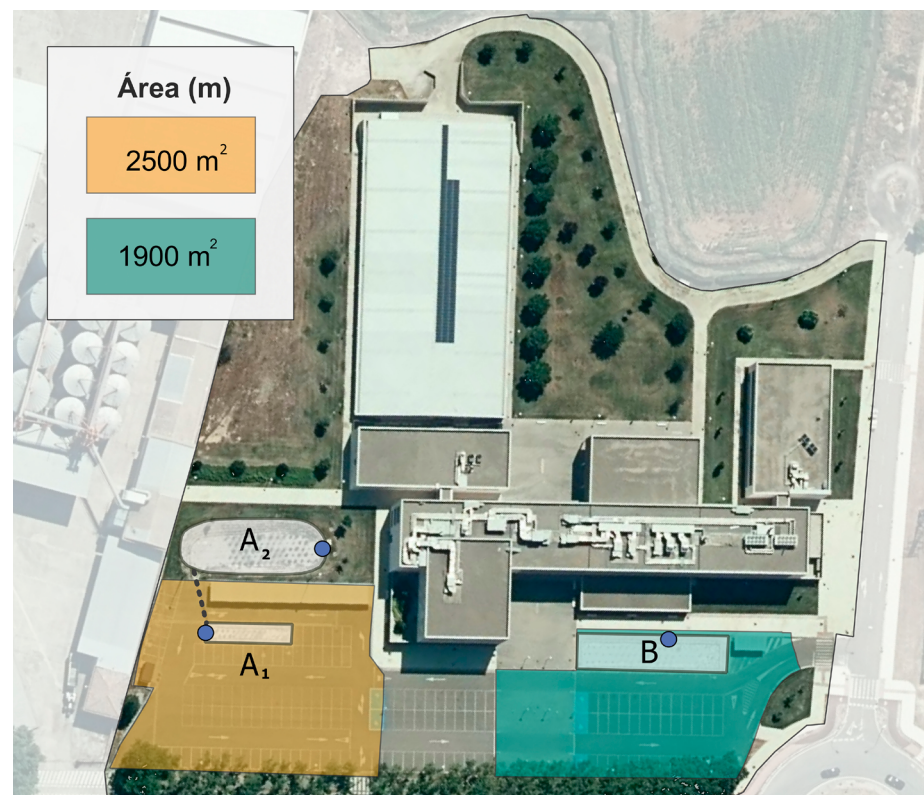


FIGURA 1: DISEÑO DE LOS SUDS Y ÁREAS DRENADAS.

retener como mínimo la escorrentía generada para 11 mm multiplicados por el área que recoge.

El primer SUDS, A_1 es la primera etapa del tren de tratamiento. Este SUDS captará la escorrentía generada en 2.500 m² de superficie impermeable del aparcamiento (Figura 1). Estos 2.500 m² con una precipitación de 11 mm generaran alrededor de 27,5 m³ de escorrentía.

La segunda etapa del tren de tratamiento, el SUDS A_2 captará el agua de lluvia que pase del A_1 (Figura 1). Esto quiere decir que entre los dos como mínimo tienen que ser capaces de retener los 27,5 m³, que se han de almacenar entre A_1 y A_2 .

El SUDS B, se diseñó como una zona de biorretención, principalmente para laminar la escorrentía y el control de la calidad del agua antes de un posible alivio

a la red. Este es independiente y recogerá la escorrentía de 1.900 m². Con los 11 mm mencionados anteriormente se generarán unos 20,9 m³ de escorrentía que se captarán en el SUDS.

Conociendo el volumen mínimo que tienen que ser capaces de captar cada uno de los SUDS (Tabla 1) se realizó el dimensionamiento de cada uno de ellos, siempre con una capacidad superior por seguridad.

	A ₁ + A ₂	B
V _{min} (m ³)	27,5	20,9

TABLA 1: VOLUMEN MÍNIMO ALMACENABLE EN CADA SUDS.

La primera etapa de tren de tratamiento, A₁, al encontrarse dentro del propio aparcamiento, se quiso minimizar la repercusión y se diseñó con menor capacidad. El volumen que no es capaz de almacenar pasa a la segunda etapa la cual se dimensionó con mayor capacidad requerida, permitiendo la posibilidad de conectar en un futuro el agua recogida por unos tejados de una superficie adicional. La zona A₁ será un “cuello de botella” que retenga volumen y lamine caudal hasta la siguiente etapa. Contando con las características del terreno la profundidad del SUDS se determinó en 0,5 metros con una superficie de unos 100 m² (Figura 2).

La segunda etapa, el SUDS A₂, se ha dimensionado para diferentes configuraciones pudiendo llegar a recoger la escorrentía generada en 3.000 m² si se incluyen los tejados traseros. Para ello se ha dimensionado con mayor capacidad. Este también cuenta con una salida a la red de pluviales de la universidad para que en caso de sobrecarga no haya problemas de inundaciones. A día de hoy, y para completar el estudio y modelizado, está configurado para recibir únicamente el agua de salida de la primera etapa, concluyendo con el tren de tratamiento.

El SUDS B, se diseñó como una zona de biorretención, principalmente para laminar la escorrentía y el control de la calidad del agua antes de un posible alivio a la red. Las capas inferiores cuentan con gravas lo que permite una alta permeabilidad. Esto permite que la escorrentía se infiltre, se evapore y se sedimenten las partículas. El SUDS se dimensiono con un coeficiente de seguridad, tiene 200 m² con una profundidad de 0,5 m.

Todos los jardines tienen una primera capa de cantos rodados. La segunda capa son unos 15 cm de tierra vegetal seguido de otra capa de tierra y una capa de gravas de unos 40 cm.

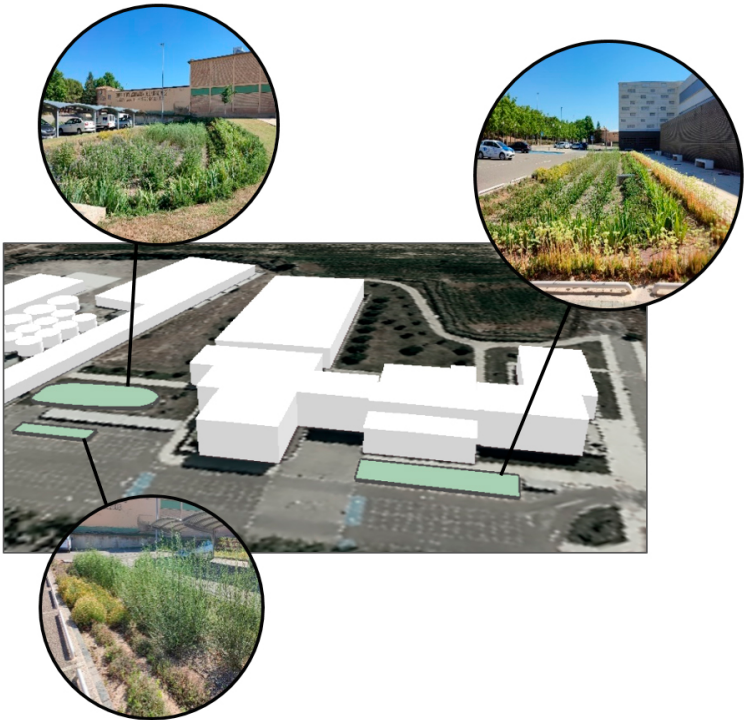
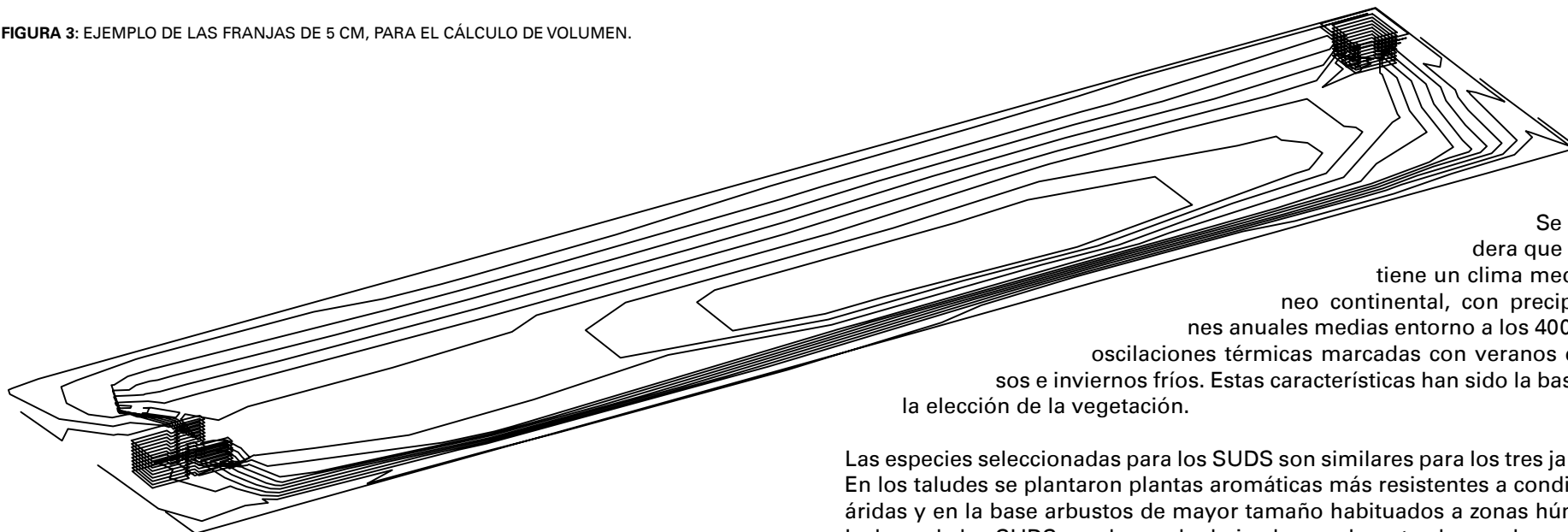


FIGURA 2: ESQUEMA DE LOS SUDS.

Cada SUDS tiene una salida con un vertedero en V de 90°. Los vertederos se utilizan para poder calcular el caudal con equipos específicos que se verán en el apartado de Monitorización y además por seguridad para poder evacuar un exceso de agua. La ubicación de los tres vertederos se puede ver en la Figura 1, marcados con un círculo azul. La altura de los vertederos se establece según el volumen mínimo que tienen que captar. Para calcular la altura adecuada de los vertederos, se calcularon los volúmenes en franjas de 5 cm para cada uno de los SUDS (Figura 3). Con el percentil 80 de lluvia, de 11 mm y sabiendo la superficie impermeable recogida a cada uno de los SUDS se obtiene el volumen mínimo que debe almacenar cada uno de ellos (Tabla 1). En el caso del tren de tratamiento el vertedero del A₁ es el elemento de conexión entre un jardín y otro. Los 27,5 m³ a almacenar se reparten entre el A₁ y A₂, la altura del vertedero del A₁ se calculó para almacenar hasta 6 m³ y los 21,5 m³ restantes pasaran al A₂. El vertedero de esta segunda conecta con los colectores de pluviales. En el caso del B, el vertedero también conecta con los colectores de pluviales y la altura del vertedero está calculada para retener 20,9 m³.

FIGURA 3: EJEMPLO DE LAS FRANJAS DE 5 CM, PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN.



Se considera que Tudela tiene un clima mediterráneo continental, con precipitaciones anuales medias entorno a los 400 mm y oscilaciones térmicas marcadas con veranos calurosos e inviernos fríos. Estas características han sido la base para la elección de la vegetación.

Con los volúmenes de las franjas se determina la altura que hace falta para almacenar estos m^3 y se diseña la altura de los vertederos para esas alturas (Figura 4).

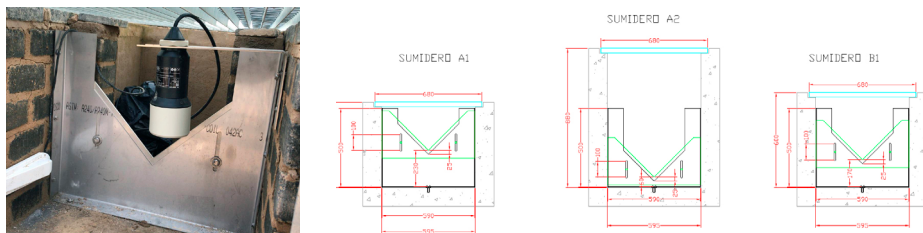


FIGURA 4: DISEÑO DE LOS VERTEDEROS.

3. JARDINERÍA Y MANTENIMIENTO

Entre los criterios más importantes para la elección de la vegetación se encuentran la utilización de especies autóctonas adaptadas a las características climáticas del lugar y con bajas necesidades hídricas. Estas características son comunes a las de los jardines sostenibles, que intentan adaptarse a las condiciones naturales de la zona, ahorrar agua seleccionando especies adecuadas, empleando métodos de riego eficientes y aprovechando el agua de lluvia.

Las especies seleccionadas para los SUDS son similares para los tres jardines. En los taludes se plantaron plantas aromáticas más resistentes a condiciones áridas y en la base arbustos de mayor tamaño habituados a zonas húmedas. La base de los SUDS puede quedar bajo el agua durante algunas horas por lo que las plantas tienen que ser adecuadas.

A continuación, se presentan las especies seleccionadas en la jardinería del prototipo, y tras ver los resultados se plantea la modificación de la misma en 2022 para estudiar diferentes opciones y analizar las ventajas y desventajas de diferentes configuraciones.





FIGURA 5: IMÁGENES DE LOS SUDS.

3. 1. Especies seleccionadas

Tomillo salsero - *Thymus zygis*

Es uno de los tomillos más comunes en la península ibérica, capaz de crecer en una amplia gama de ambientes ecológicos. Se encuentra en pendientes secas y matorrales en los encinares del interior peninsular. Por lo tanto, es idóneo para ubicarlo en un talud árido.



Mejorana o tomillo blanco - *Thymus mastichina*

Es una especie aromática endémica de la península. Se encuentra en climas mediterráneos y zonas templadas.



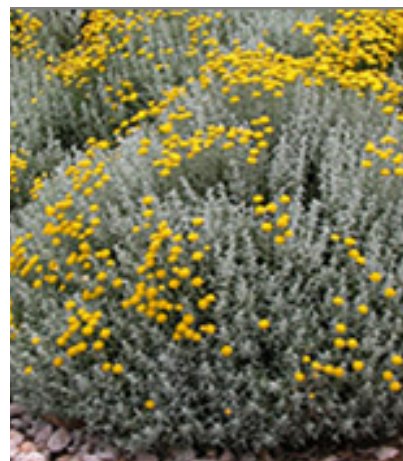
Marisierva - *Salvia lavandulifolia*

Se distribuye por el Sur de Francia y la península en colinas secas y matorrales, en lugares de clima mediterráneo poco lluvioso. Es una especie buena para la fijación de taludes y terraplenes.



Abrótano hembra - *Santolina chamaecyparissus*

Esta aromática del sur de Europa se encuentra en lugares áridos y pedregosos.



Romero rastrero- *Rosmarinus officinalis prostratus*

Es un híbrido procedente del mediterráneo, es resistente a sequías y se suele utilizar para cubrir taludes, ya que es muy tapizante.

**Lirio azul - *Iris germánica***

Esta planta de origen europeo es común encontrarla en jardines debido a su atractiva floración. Además, se emplea en taludes preferiblemente expuestos a pleno sol y crece prácticamente en cualquier tipo de suelo.

**Uva de pájaro - *Sedum sediforme***

Es una planta suculenta silvestre muy común en la región mediterránea. Las plantas suculentas o crasas tienen algún órgano especializado en el almacenamiento de agua. En este caso está muy bien adaptada a la sequía gracias a su capacidad para almacenar agua en sus hojas carnosas.

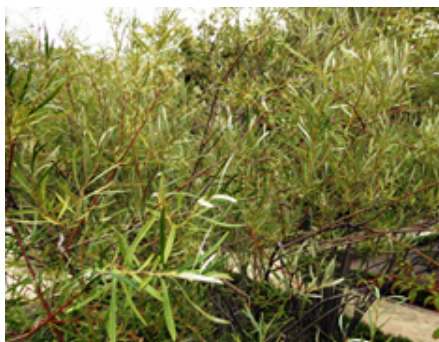
**Sauzgatillo - *Vitex agnus-castus***

Este arbusto originario del Mediterráneo se suele encontrar en lechos de ríos o depresiones húmedas. Esta especie se ha ubicado en la base de los SUDS debido a que puede resistir condiciones muy húmedas como las que se dan cuando llueve.



Sarga - *Salix eleagnos*

La sarga se encuentra en orillas pedregosas de los ríos, valles húmedos y barrancos.



Mimbrera - *Salix purpurea*

Este sauce crece en márgenes de ríos, arroyos, pantanos, lagunas y suelos húmedos permeables, como las arenas y gravas.



Cornejo - *Cornus sanguinea*

El cornejo puede estar a pleno sol o a media sombra, preferentemente en ambientes húmedos y frescos, aunque soporta cierta sequedad ambiental. Resiste heladas moderadas. En Jardinería se usa por su frondosidad.



En su conjunto toda la vegetación seleccionada se considera apropiada para el lugar, cumplen las condiciones climáticas, hídricas, bajo mantenimiento y son agradables para el entorno.

3. 2. Mantenimiento

El mantenimiento que se está realizando en los SUDS incluye escarda manual, limpieza manual de basura, poda de arbustos trianual (enero, junio, octubre aproximadamente), recogida de hojarasca (de octubre a diciembre), limpieza de arquetas/sumideros de agua, retirada de tierra en zonas de grava, desplazamiento del personal de jardinería y las herramientas necesarias de jardinería. El mantenimiento se realiza una vez cada dos semanas y los meses de verano se riega con una periodicidad de dos días.

En la Tabla 2 se muestra los precios por concepto para un jardín de 100 m². Y en la Tabla 3 el número de veces por mes que se realiza cada tipo de mantenimiento. El coste de mantenimiento por m² para un jardín de 100 m² es de 13,5 euros/m². Estas tablas son orientativas para poder estimar el coste de mantenimiento, el precio por m² se abarata conforme aumenta el total de m² totales. La escarda manual supone un porcentaje elevado del coste de mantenimiento y puede reducirse utilizando geotextil y una buena elección de la vegetación.

Concepto	*1Medición	*2Precio/Ud.	Importe (€)
Limpieza manual basura.	100 m ²	0,02	2
Recogida y retirada hojarasca.	100 m ²	0,37	37
Escarda manual en terraplén, canto rodado o similar.	100 m ²	0,49	49
Poda y mantenimiento de parterres de arbustivas (h<1m).	100 m ²	0,53	53
Poda de arbustos unitarios.	50 ud.	1,23	61,5
Partida retirada de tierra en zonas de grava.	1 ud.	50	50
Limpieza de arquetas/sumideros circulación agua.	1 ud.	25	25
Desplazamiento.	1 ud.	12,8	12,8

TABLA 2: COSTE POR CONCEPTO DE MANTENIMIENTO.

*1 Superficie de ejemplo . *2 Precios aproximados.

	Nº de veces por mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Limpieza manual basura.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Recogida y retirada hojarasca.										2	2	2
Escarda manual en terraplén, canto rodado o similar.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Poda y mantenimiento de parterres de arbustivas (h<1m.)	1					1				1		
Poda de arbustos unitarios	1					1				1		
Partida retirada de tierra en zonas de grava*		1							1			
Limpieza de arquetas/sumideros circulación agua.				1		1		1		1	1	1

TABLA 3: MANTENIMIENTO A REALIZAR POR MES.

*Según necesidad

4. MONITORIZACIÓN

El prototipo cuenta con diferentes sistemas de medición para llevar a cabo una monitorización exhaustiva. Los datos obtenidos se utilizarán para optimizar el diseño y dimensionamiento de futuros SUDS, así como para estudiar y caracterizar sus beneficios en cuanto a volúmenes y contaminantes retenidos. Dentro del seguimiento se están midiendo las lluvias, el agua que retiene cada SUDS, la calidad del suelo y la calidad del agua de entrada y salida de los sistemas.

Para ello se cuenta con diferentes sistemas de medición:

- Pluviómetro instalado en el tejado de la universidad para la medición de las lluvias.
- Sensores para la medición del nivel del agua en los vertederos. Hay tres tipos de medidores instalados: radares, ultrasonidos y de presión.
- Caudalímetro portátil para medir el caudal total de salida de la instalación, que recoge los vertidos de los SUDS y la escorrentía de las áreas no conectadas a los mismos.
- Tubos piezométricos para medir la saturación del suelo y un medidor de nivel automático.
- Tomamuestras portátiles para recoger muestras de escorrentía de entrada y salida de los sistemas.



FIGURA 6: PLUVIÓMETRO Y MEDIDORES DE NIVEL.

Para el análisis de calidad de suelos y agua se hacen muestreos periódicos. En los análisis de escorrentía se miden metales pesados e hidrocarburos, además de otros parámetros como sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal entre otros. Los metales pesados y los hidrocarburos proceden de los aceites, los combustibles, del desgaste de los neumáticos y frenos y de la corrosión de los elementos metálicos de los vehículos, así como de la erosión de los pavimentos.

5. RESULTADOS

Previo a la construcción de los SUDS, durante el año 2019 se realizaron varias campañas de muestreo del colector general de pluviales de la UPNA. Entre los resultados obtenidos cabe destacar la relación lineal existente entre los sólidos suspendidos y los metales pesados (Figura 7). Esto es debido a que los metales pesados quedan adheridos a los sólidos. Por otro lado, la Figura 8 muestra el polutograma de sólidos en suspensión, el pluviograma y el hidrograma del episodio donde se puede ver el *first flush* o primer lavado. Esto hace referencia a un pequeño volumen inicial de escorrentía superficial que arrastra los contaminantes acumulados en tiempo seco y por lo tanto contiene una concentración superior.

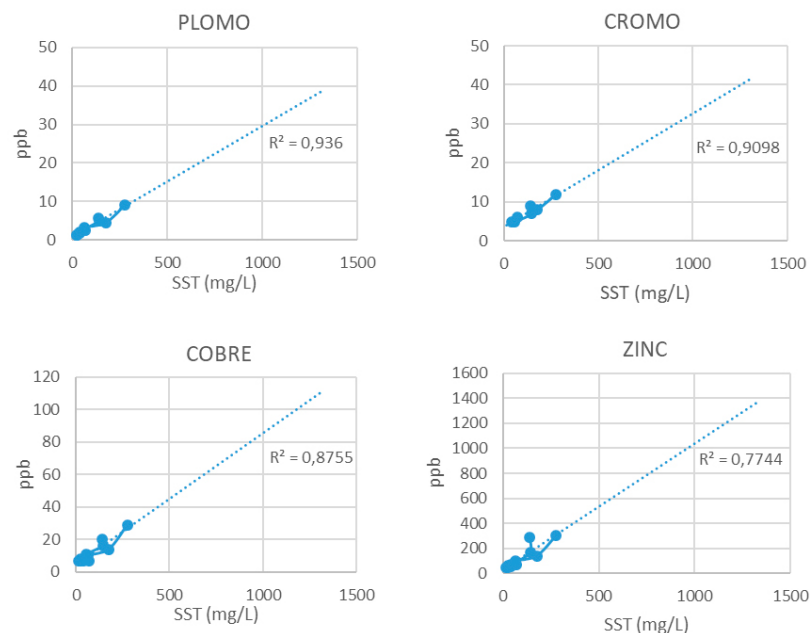


FIGURA 7: RELACIÓN METALES PESADOS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES; PPB: PARTES POR BILLÓN).

Desde la finalización del prototipo de SUDS, febrero del 2020 hasta febrero del 2022 se estima que ha retenido alrededor de 5.000 m³, que son equivalentes a 1.300 kWh ahorrados en la EDAR de Tudela. Los SUDS han recogido casi el 100% de la escorrentía generada, el 1 de septiembre del 2021 fue el único alivio a red con una pluviometría acumulada 68 mm. Esto indica, además, que la contaminación arrastrada por la escorrentía, también ha sido retenida. A continuación, se muestran algunos resultados de los medidores y de las muestras recogidas.

5. 1. Episodios

1 de junio de 2021

El 1 de junio de 2021 con un volumen acumulado de 38 mm, hubo una salida de la balsa A₁ a A₂. Es decir, la primera etapa rebosó por el vertedero y el agua pasó a la segunda etapa del tren de tratamiento. En la Figura 9 se muestra un resumen de todo el evento con las alturas marcadas por los medidores de nivel y la pluviometría. Al inicio del evento se puede ver cómo subió el nivel del agua de manera muy rápida, con una lluvia totalizada de aproximadamente 9 mm. El recuadro azul indica el tiempo de salida de agua. Al finalizar el primer evento de lluvia el nivel del agua fue bajando conforme se iba infiltrando. La mañana siguiente, comenzó otro evento donde hubo otro alivio. Esta vez la infiltración en el suelo fue más lenta ya que el suelo estaba saturado. Este evento demuestra que el tren de tratamiento funciona de manera correcta y las alturas de los vertederos a pesar de estar diseñadas para 11 mm pudo retener 38 mm en 14 horas, lo que equivale a un volumen aproximado de 90 m³ que no se introdujeron en la red de saneamiento. En el caso del jardín B, retuvo alrededor de 70 m³.

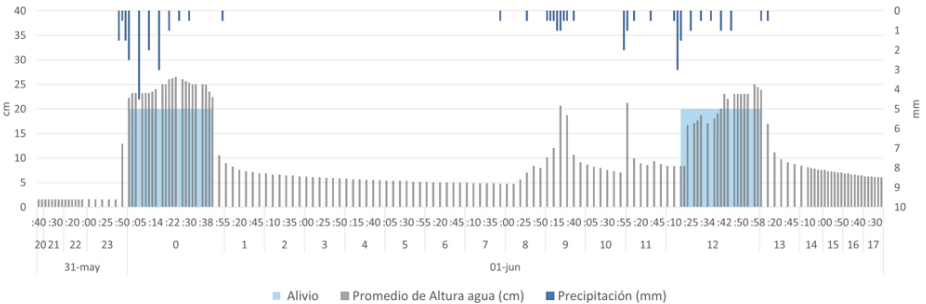


FIGURA 8: REPRESENTACIÓN DE LA ALTURA DE AGUA EN A1 DURANTE EL EPISODIO DEL DÍA 1 DE JUNIO DE 2021.

Este día se recogieron 3 muestras. Una muestra compuesta de toda la noche que representa el *first flush*, una muestra del alivio y otra muestra puntual de entrada al sistema en el segundo evento. En la Tabla 4 se muestran algunos resultados para los análisis realizados. La muestra de alivio contiene alrededor de un 90% menos de los contaminantes registrados a la entrada. Prácticamente todos los sólidos suspendidos han sido retenidos y a su vez los metales pesados adheridos a ellos también se han reducido en porcentajes muy elevados.

	Muestra entrada	Muestra salida	% de eliminación
SS (mg/l)	1490	51	97
Zinc (total) mg/l	0,9	0,042	95
Cromo (total) mg/l	0,029	<0,0050	83
Cobre (total) mg/l	0,057	0,003	95
Plomo (total) mg/l	0,028	0,0015	95
Cadmio (total) mg/l	0,00026	<0,00002	92
Niquel (total) mg/l	0,026	0,0016	94
DQO mg/l	40	10	75

TABLA 4: RESULTADOS ANÁLISIS EVENTO CON SALIDA DE A1.

1 de septiembre de 2021

El día 1 de septiembre comenzó una tormenta DANA o una gota fría, muy impredecible y con lluvias intensas. Este mismo día hubo inundaciones en algunas partes de Tudela. Con una pluviometría de 68 mm, fue la primera vez que alivió uno de ellos, el B. En las Figura 11 se muestran las señales de los medidores con los momentos de alivio en el B.

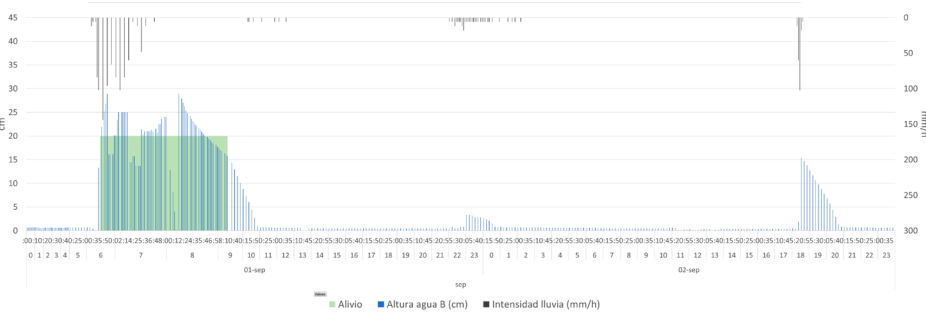


FIGURA 9: REPRESENTACIÓN DE LA ALTURA DE AGUA EN B DURANTE EL EPISODIO DEL DÍA 1 DE SEPTIEMBRE DE 2021.

5. 2. Muestras de suelo

Debido a que la escorrentía se redirige a los SUDS, los contaminantes arrastrados por la misma también llegan a ellos. Así pues, se decidió recoger muestras de suelo para cuantificar los metales pesados e hidrocarburos presentes. Se realizó un muestreo inicial en octubre de 2020 y al cabo de un año en octubre del 2021 para cuantificar la posible retención de contaminantes. El muestreo fue realizado por el grupo “Evaluación y gestión sostenible del suelo” de la UPNA, socios del proyecto LIFE-IP NAdapta-CC.

Se recogieron un total de 24 muestras de suelo procedentes del SUDS B. Las muestras fueron codificadas tal y como aparece en la Figura 12. La primera y segunda cifra del código indica la posición de la muestra, y última cifra designa la profundidad a la que se tomó la muestra. Se realizaron tres transectos lineales, donde se muestrearon cuatro puntos a dos profundidades distintas 0-10 cm y 10-30 cm. En general se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, y suelen quedarse acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

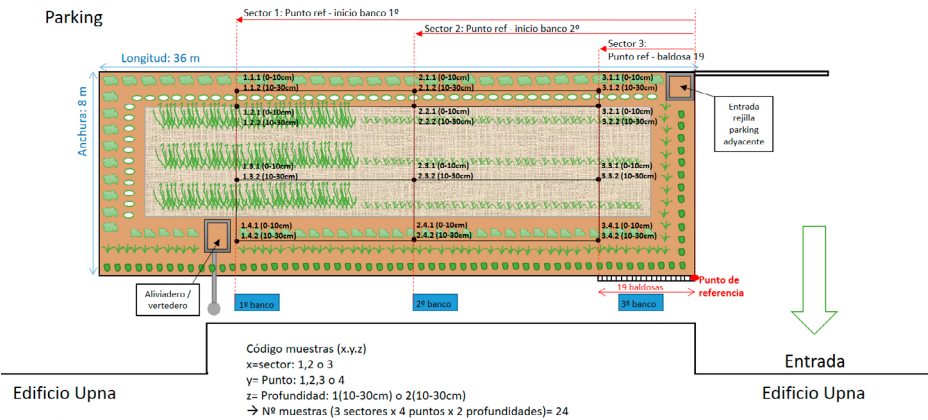


FIGURA 10: ESQUEMA DE LA UBICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL SUDS B.

Desde la UPNA se realizaron los análisis texturales, conductividad, pH, carbonatos, C orgánico e intercambio catiónico del suelo. El suelo se considera franco arcilloso o franco arcillo arenoso dependiendo del método. El pH en todos los casos era básico con una media de 8,3. La conductividad es más bien baja salvo en un par de casos que ha llegado a una conductividad media de 1.245 (µS/cm).

Las analíticas de metales pesados e hidrocarburos se realizaron en un laboratorio externo. Los metales pesados se cuantificaron por ICP/MS y los hidrocarburos (C10-C40) por CG/FID. En la Tabla 5 se muestran los resultados de las analíticas de suelo de 2020. El cadmio no se muestra en la tabla debido a que estaba por debajo del límite de cuantificación (<0,5 mg/kg). Los hidrocarburos salvo en dos de las muestras se encontraban por debajo del límite de cuantificación. La concentración del zinc ha sido la más elevada entre los metales pesados, igual que en las muestras de escorrentía. Comparando los resultados con los rangos normales de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn (mg/kg) según la Directiva Europea 86/278/EEC, y concentración máxima aceptable de hidrocarburos en mg/kg (Tabla 6), todas las muestras están por debajo del máximo aceptable.

Punto de muestreo	Cobre (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Hidrocarburos C10-C40 (mg/kg)
1.1.1.	12,8	13,1	13,5	15,4	32,6	< 25
1.1.2.	12,2	12,7	12,8	14,6	31,5	< 25
1.2.1.	11,8	11,7	12,5	13,3	34,5	< 25
1.2.2.	10,1	12,9	13,1	13,8	31,7	< 25
1.3.1.	8,47	13,5	12,9	10,7	30,7	< 25
1.3.2.	8,92	14,2	13,7	12,3	32	< 25
1.4.1.	12,1	13,7	13,9	14,6	33,5	< 25
1.4.2.	11,5	12,6	12,7	13,8	30,4	< 25
2.1.1.	10,8	11,8	12	12,8	31,2	< 25
2.1.2.	11,9	13,6	13,8	15,6	34,6	< 25
2.2.1.	9,07	11,5	11,7	11,4	30,3	< 25
2.2.2.	8,38	13,8	13,1	11	30,8	< 25
2.3.1.	7,97	13,4	12,8	11,5	29,6	< 25
2.3.2.	7,25	12,4	11,7	10,3	27,2	30,1
2.4.1.	11	11,8	12,6	13,9	34,4	< 25
2.4.2.	10,6	1,3	11,6	12,9	28,8	< 25
3.1.1.	11,8	11,3	12,5	13,9	33,8	< 25
3.1.2.	12	12	15,6	13,9	32,7	< 25
3.2.1.	10,9	10,6	11,7	12,9	34	< 25
3.2.2.	10,5	11,1	12,1	13,3	35,9	< 25
3.3.1.	12,2	17,3	17,7	19,5	42,5	< 25
3.3.2.	11,2	17,5	16,5	17,3	39,1	< 25
3.4.1.	11,9	16,2	15,8	15,7	37,4	< 25
3.4.2.	11,8	14,1	14,6	15,8	35,4	50

TABLA 5: RESULTADOS DE METALES PESADOS E HIDROCARBUROS EN LAS MUESTRAS DE SUELO INICIAL (2020).

Cadmio	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc	Hidrocarburos
1-3	50-140	-	30-75	50-300	150-300	50

TABLA 6: RANGOS NORMALES DE Cd, Cu, Ni, Pb, Zn (mg/kg) EN SUELOS pH=6-7, SEGÚN LA DIRECTIVA EUROPEA 86/278/EEC, Y CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE DE HIDROCARBUROS EN mg/kg.

En el segundo muestreo realizado en 2021 se recogieron 24 muestras del SUDS B en los mismos puntos y se enviaron a analizar los mismos análisis que en 2020.

En el segundo muestreo realizado en 2021 se recogieron 24 muestras del SUDS B en los mismos puntos y se enviaron a analizar los mismos análisis que en 2020. En la Tabla 7 se muestran los resultados de los metales pesados e hidrocarburos. Al igual que en 2020, el cadmio no se muestra en la tabla debido a que estaba por debajo del límite de cuantificación (<0,5 mg/kg). Esto no resulta extraño si tenemos en cuenta el límite de rango normal del cadmio que se muestra en la Tabla 6 es de 1-3 mg/kg. En el muestreo anterior únicamente 2 de las 24 muestras tuvieron hidrocarburos cuantificables, sin embargo, esta vez 10 muestras están por encima del límite de cuantificación (>25 mg/kg). En su mayoría, las concentraciones más altas se encontraron a 10-30 cm, como indica el estudio de Tedoldi *et al.* (2016). En cuanto a los metales pesados, el zinc ha vuelto a tener una concentración más elevada frente al resto. Todas las concentraciones vuelven a estar dentro de los rangos normales según la Directiva Europea 86/278/EEC. Se ha visto un aumento de concentración de metales pesados en gran parte de las muestras, sin embargo, no es un aumento muy elevado. No se aprecia una gran diferencia entre la concentración de las muestras de 0-10 cm y de las de 10-30 cm, pero siguiendo la bibliografía puede ser que este efecto se pueda ver al cabo de unos años.

Punto de muestreo	Cobre (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Hidrocarburos C10-C40 (mg/kg)
1.1.1.		19,9	16,6	12,1	38	32,1
1.1.2.	12,3	21,1	18	13,6	36,3	26
1.2.1.	11,3	19	16,5	11,3	34,3	< 25
1.2.2.	11,9	24,6	20	12,9	37,9	< 25
1.3.1.	9,9	24	19,3	10,7	33,3	< 25
1.3.2.	9,47	22,3	17,7	10,3	33,6	27,5
1.4.1.	12,7	18,2	17	13,8	38,8	< 25
1.4.2.	12,7	21,9	18,1	13,2	34,9	< 25
2.1.1.	13	16,4	15,8	13,4	39,2	< 25
2.1.2.	11,5	22,2	17,6	13	33,3	< 25
2.2.1.	12,2	20,3	17,1	13,1	37,7	< 25
2.2.2.	9,38	19,8	16,4	11,6	31,2	< 25
2.3.1.	12,5	22,4	19,4	14,7	34,9	< 25
2.3.2.	10,7	22,4	19	13,3	35	< 25
2.4.1.	12,4	20,5	17,9	37,2	36,1	< 25
2.4.2.	12	29,8	23,1	15,2	35,3	26
3.1.1.	12,1	16,1	16,2	14,6	35,4	< 25
3.1.2.	13,1	18,8	17,4	16,1	35,9	35,7
3.2.1.	13,3	20,8	17,9	25,3	39,2	87,4
3.2.2.	12,8	23,9	19,7	15,3	35,3	43,4
3.3.1.	11,7	21,5	19,6	17,7	34,8	30,6
3.3.2.	11,9	22,7	20,3	17,3	35,1	33,3
3.4.1.	14	17,6	17,4	22	36,3	< 25
3.4.2.	12,6	22,4	21,3	16,3	32,2	28

TABLA 7: RESULTADOS DE METALES PESADOS E HIDROCARBUROS EN LAS MUESTRAS DE SUELO (2021).

6. BIBLIOGRAFÍA

Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (2022). Recomendaciones básicas de Diseño de sistemas urbanos de Drenaje sostenible (SUDS) en Navarra.

Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., Gromaire, M.-C., (2016) Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: a literature review Sci.Total Environ., 569-570, pp. 904-926

A3

ANEJO III. RELACIÓN ENTRE MUNICIPIOS DE NAVARRA Y LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA.

En este anejo se incluye la relación entre municipios de Navarra y la zona climática (comarca) a la que pertenecen.

MUNICIPIO	ZONA
Abáigar	5
Abárzuza / Abartzuza	5
Abaurregaina / Abaurrea Alta	2
Abaurrepea / Abaurrea Baja	2
Aberin	5
Ablitas	7
Adiós	4
Aguilar de Codés	5
Aibar / Oibar	4
Allín / Allin	5
Allo	5
Altsasu / Alsasua	1
Améscoa Baja	5
Ancín / Antzin	5
Andosilla	6
Ansoáin / Antsoain	3
Anue	1
Añorbe	4
Aoiz / Agoitz	3
Araitz	1
Arakil	1
Aranarache / Aranaratxe	5
Aranguren	3
Arano	1
Arantza	1
Aras	5

MUNICIPIO	ZONA
Arbizu	1
Arce / Artzi	2
Arellano	5
Areso	1
Arguedas	7
Aria	2
Aribe	2
Armañanzas	5
Arróniz	5
Arruazu	1
Artajona	4
Artazu	5
Atetz / Atez	1
Auritz / Burguete	2
Ayegui / Aiegi	5
Azagra	6
Azuelo	5
Bakaiku	1
Barañain / Barañain	3
Barásoain	4
Barbarin	5
Bargota	5
Barillas	7
Basaburua	1
Baztan	1
Beintza-Labaien	1
Beire	4
Belascoáin	3

MUNICIPIO	ZONA
Bera	1
Berbinzana	6
Beriáin	3
Berrioplano / Berriobeiti	3
Berriozar	3
Bertizarana	1
Betelu	1
Bidaurreta	3
Biurrun-Olcoz	4
Buñuel	7
Burgui / Burgi	2
Burlada / Burlata	3
Cabanillas	7
Cabredo	5
Cadreita	7
Caparroso	7
Cárcar	6
Carcastillo	7
Cascante	7
Cáseda	4
Castejón	7
Castillonuevo	2
Cendea de Olza / Oltza Zendea	3
Cintruénigo	7
Cirauqui / Zirauki	5
Ciriza / Ziritza	3
Cizur	3
Corella	7

MUNICIPIO	ZONA
Cortes	7
Desojo	5
Dicastillo	5
Donamaria	1
Doneztebe / Santesteban	1
Echarri / Etxarri	3
El Busto	5
Elgorriaga	1
Enériz / Eneritz	4
Eratsun	1
Ergoiena	1
Erro	2
Eslava	4
Esparza de Salazar / Espartza Zaraitzu	2
Espronceda	5
Estella-Lizarra	5
Esteribar	1
Etayo	5
Etxalar	1
Etxarri Aranatz	1
Etxauri	3
Eulate	5
Ezcabarte	3
Ezcároz / Ezkaroze	2
Ezkurra	1
Ezprogui	4
Falces	6
Fitero	7

MUNICIPIO	ZONA
Fontellas	7
Funes	6
Fustiñana	7
Galar	3
Gallipienzo / Galipentzu	4
Gallués / Galoze	2
Garaioa	2
Garde	2
Garínoain	4
Garralda	2
Genevilla	5
Goizueta	1
Goñi	3
Güesa / Gorza	2
Guesálaz / Gesalatz	5
Guirguillano	5
Hiriberri / Villanueva de Aezkoa	2
Huarte / Uharte	3
Ibargoiti	3
Igantzi	1
Igúzquiza	5
Imotz	1
Irañeta	1
Irurtzun	1
Isaba / Izaba	2
Ituren	1
Iturmendi	1
Iza / Itza	3

MUNICIPIO	ZONA
Izagaondoa	3
Izalzu / Itzaltzu	2
Jaurrieta	2
Javier	4
Juslapeña /Txulapain	3
Lakuntza	1
Lana	5
Lantz	1
Lapoblación	5
Larraga	6
Larraona	5
Larraun	1
Lazagurría	5
Leache / Leatxe	4
Legarda	4
Legaria	5
Leitza	1
Lekunberri	1
Leoz / Leotz	4
Lerga	4
Lerín	6
Lesaka	1
Lezaun	5
Liédena	4
Lizoain-Arriasgoiti / Lizoainibar-Arriasgoiti	3
Lodosa	6
Lónguida / Longida	3
Los Arcos	5

MUNICIPIO	ZONA
Lumbier	3
Luquin	5
Luzaide / Valcarlos	2
Mañeru	5
Marañón	5
Marcilla	7
Mélida	7
Mendavia	6
Mendaza	5
Mendigorría	6
Metauten	5
Milagro	7
Mirafuentes	5
Miranda de Arga	6
Monreal / Elo	3
Monteagudo	7
Morentin	5
Mues	5
Murchante	7
Murieta	5
Murillo el Cuende	7
Murillo el Fruto	4
Muruzábal	4
Navascués / Nabaskoze	2
Nazar	5
Noáin (Valle de Elorz) / Noáin (Elortzibar)	3
Obanos	4
Ochagavía / Otsagabia	2

MUNICIPIO	ZONA
Oco	5
Odieta	1
Oiz	1
Oláibar	3
Olazti / Olazagutía	1
Olejua	5
Olite / Erriberri	4
Olóriz / Oloritz	4
Orbaizeta	2
Orbara	2
Orísoain	4
Orkoien	3
Oronz / Orontze	2
Oroz-Betelu / Orotz-Betelu	2
Orreaga / Roncesvalles	2
Oteiza	5
Pamplona / Iruña	3
Peralta / Azkoien	6
Petilla de Aragón	4
Piedramillera	5
Pitillas	4
Puente la Reina / Gares	4
Pueyo / Puiu	4
Ribaforada	7
Romanzado / Erromantzatua	3
Roncal / Erronkari	2
Sada	4
Saldias	1

MUNICIPIO	ZONA
Salinas de Oro / Jaitz	5
San Adrián	6
San Martín de Unx	4
Sangüesa / Zangoza	4
Sansol	5
Santacara	4
Sarriés / Sartze	2
Sartaguda	6
Sesma	6
Sorlada	5
Sunbilla	1
Tafalla	4
Tiebas-Muruarte de Reta	4
Tirapu	4
Torralba del Río	5
Torres del Río	5
Tudela	7
Tulebras	7
Úcar	4
Uharte Arakil	1
Ujué / Uxue	4
Ultzama	1
Unciti	3
Unzué / Untzue	4
Urdazubi / Urdax	1
Urdiain	1
Urraúl Alto	3
Urraúl Bajo	3

MUNICIPIO	ZONA
Urroz	1
Urroz-Villa	3
Urzainqui / Urzainki	2
Uterga	4
Uztárroz / Uztarroze	2
Valle de Egüés / Eguesibar	3
Valle de Ollo / Ollaran	3
Valle de Yerri / Deierri	5
Valtierra	7
Viana	5
Vidángoz / Bidankoze	2
Villafranca	7
Villamayor de Monjardín	5
Villatuerta	5
Villava / Atarrabia	3
Yesa	4
Zabalza / Zabaltza	3
Ziordia	1
Zizur Mayor / Zizur Nagusia	3
Zubieta	1
Zugarramurdi	1
Zúñiga	5



AGUA/URA

PROYECTO LIFE16IPC/ES/000001



El proyecto LIFE-IP
NAdapta-CC ha recibido
financiación del Programa
LIFE de la
Unión Europea



Gobierno de Navarra
Nafarroako Gobernua

cpen