

# EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

RIEGO CAPILAR EN LA ZONA RADICULAR PARA INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA

**Región del caso de estudio:** Málaga, España

**Preparado para:** ayuntamientos, autoridades del agua, arquitectos paisajistas, urbanistas y promotores urbanísticos, consultoras de ingeniería y promotores inmobiliarios

**Fecha:** junio de 2026



CONSERVACIÓN DEL AGUA, REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA, FOMENTO DE LA BIODIVERSIDAD, ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDUCCIÓN DE LOS COSTES DEL CICLO DE VIDA

## Resumen ejecutivo

El sur de España se enfrenta a un creciente estrés hídrico estructural, impulsado por ciclos prolongados de sequía, el aumento de las temperaturas y una competencia cada vez mayor por los recursos de agua potable.

Al mismo tiempo, las zonas urbanas están ampliando sus infraestructuras verdes para mitigar el efecto de isla de calor, fomentar la biodiversidad y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Este informe evalúa el desempeño técnico, ambiental y económico del riego capilar en la zona radicular como sistema multifuncional de infraestructura hídrica urbana para la ciudad de Málaga.

El riego capilar en la zona radicular sustituye el riego superficial convencional por un sistema subterráneo de almacenamiento y distribución capilar del agua, permitiendo que las plantas accedan directamente al agua almacenada en un depósito subterráneo en función de sus necesidades reales.

Principales resultados (caso de referencia Málaga - proyecto de 10.000 m<sup>2</sup>):

- > **Reducción del 30-50%** de la demanda de riego en comparación con los sistemas convencionales
- > **Reducción media del 58%** en el consumo de agua potable (periodo climático de referencia 2021-2025)
- > Rango de **reducción del 43-85 %**, en función de la variabilidad anual de las precipitaciones
- > Ahorro aproximado de **33,5 millones de litros** de agua potable durante un periodo de 25 años
- > Capacidad integrada de almacenamiento subterráneo de agua de **80 L/m<sup>2</sup>**
- > Reutilización media de agua de lluvia de aproximadamente **130 L/m<sup>2</sup>/año**
- > Reducción aproximada del **33,5%** en el coste total de propiedad a lo largo del ciclo de vida
- > Periodo de retorno de la inversión de aproximadamente **8 años** bajo hipótesis estándar de tarifas de agua
- > Sistema de **larga vida** útil (más de 50 años) y completamente **reutilizable**
- > Infraestructura integrada de almacenamiento de agua para **superficies pavimentadas y zonas ajardinadas**

El riego capilar en la zona radicular transforma los espacios urbanos en sistemas activos de gestión del agua, integrando funciones de riego, aprovechamiento de aguas pluviales, retención de aguas de escorrentía y adaptación al cambio climático.

## 1. Introducción: el agua urbana como limitación estructural

El desarrollo urbano en climas mediterráneos está cada vez más condicionado por los siguientes factores:

- > Riesgo estructural de sequía y reducción de la disponibilidad de recursos hídricos
- > Incremento de las tarifas municipales del agua y de las restricciones regulatorias sobre su uso
- > Aumento de la evapotranspiración como consecuencia del cambio climático
- > Mayores costes de mantenimiento de la infraestructura verde urbana
- > Creciente presión normativa para mejorar la eficiencia hídrica y avanzar en la adaptación al cambio climático

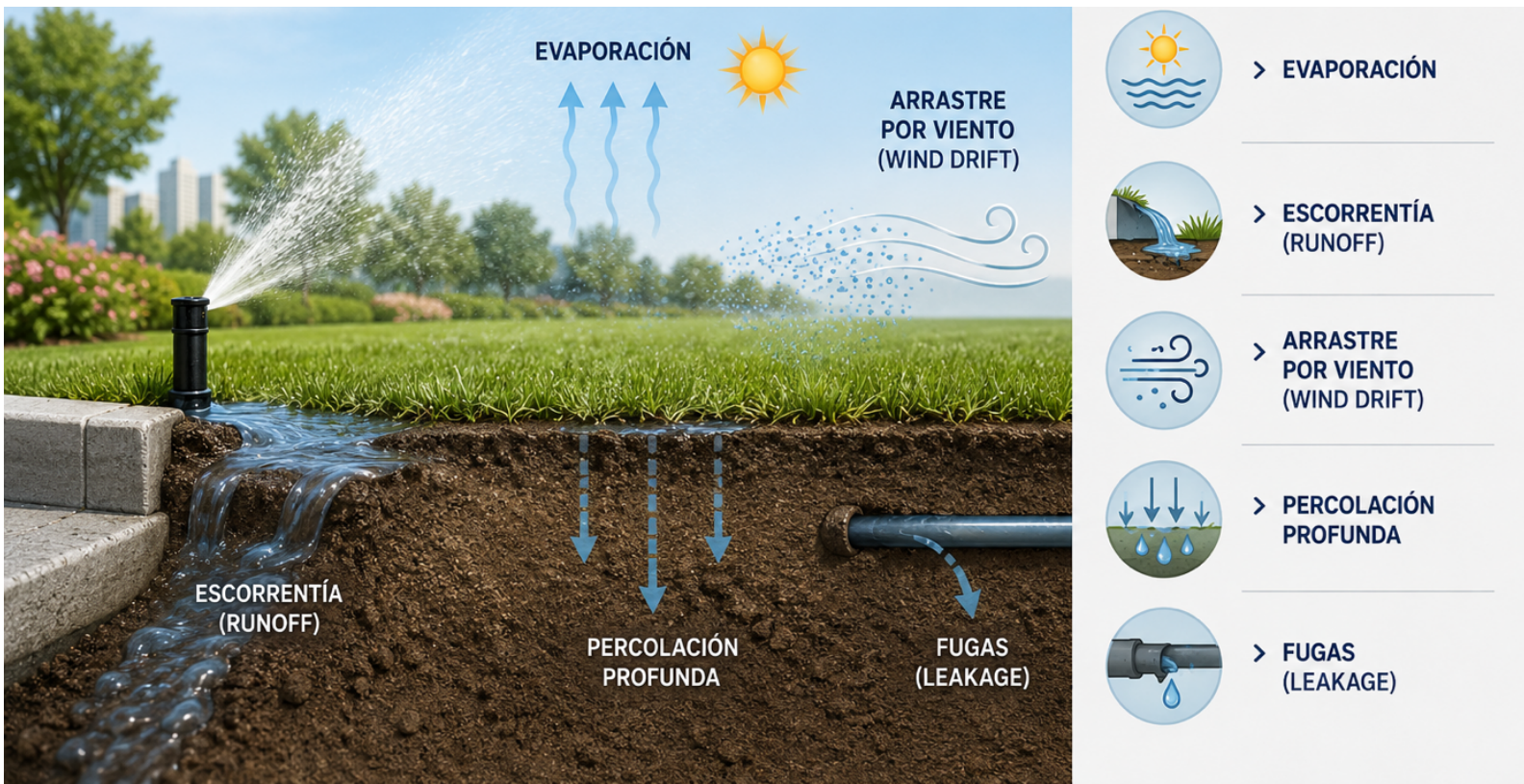


**Figura 1.** Principales limitaciones del desarrollo urbano

Los sistemas tradicionales de riego agravan estas ineficiencias debido a:

- > Pérdidas de agua por evaporación superficial
- > Pérdidas por deriva del viento y riego fuera de la zona objetivo
- > Escorrentía superficial y percolación profunda
- > Fugas en las redes de distribución
- > Elevada dependencia operativa y mayores necesidades de mantenimiento

El riego capilar en la zona radicular aborda estas limitaciones al eliminar el riego superficial y trasladar el suministro de agua al subsuelo, directamente a la zona de las raíces de las plantas.



**Figura 2.** Ineficiencias de los sistemas tradicionales de riego superficial



**Figura 3.** Eficiencia del riego capilar en la zona radicular

## 2. Contexto climático: Málaga

Málaga representa un clima mediterráneo altamente variable, caracterizado por una elevada variabilidad interanual en las precipitaciones y en las condiciones climáticas generales.

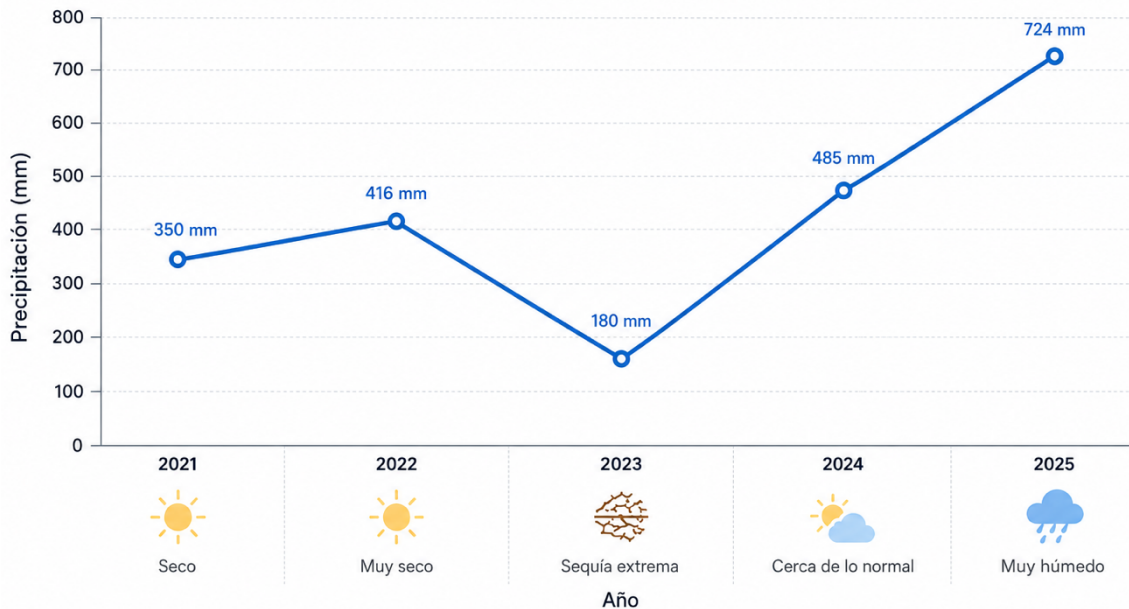
### Línea de base climática (2021-2025)

Año	Precipitación	Condición climática
2021	350 mm	Seco
2022	416 mm	Muy seco
2023	180 mm	Sequía extreme
2024	485 mm	Cercano a la media
2025	724 mm	Muy húmedo

Tabla 1. Línea de base climática de Málaga (2021-2025)

### Precipitación anual en Málaga (2021–2025)

Precipitación anual observada y condiciones climáticas



### Parámetros clave

Parámetro	Valor
Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )	~1.250 mm/año
Precipitación anual	~ 432 mm/año
Precipitación efectiva	~ 420 mm/año
Coefficiente del paisaje ( $K_c$ )	0.70

Tabla 2. Parámetros clave de Málaga

Esta variabilidad exige que los sistemas de riego sean probabilísticos y adaptativos, en lugar de estáticos.

### 3. Tecnología de riego capilar en la zona radicular

El sistema de riego capilar en la zona radicular consta de los siguientes componentes:

- > Depósito subterráneo de almacenamiento de agua (80 L/m<sup>2</sup>)
- > Capa de transferencia capilar
- > Sustrato radicular diseñado específicamente
- > Sistema de regulación de rebose y drenaje
- > Sensores de monitorización opcionales

#### Principio de funcionamiento

El agua se almacena bajo el lecho de plantación y se transporta hacia arriba mediante fuerzas capilares en respuesta a la demanda de las plantas, en lugar de aplicarse a intervalos programados. A diferencia de los sistemas de riego convencionales, no se aplica agua directamente sobre la superficie del suelo.

El riego capilar en la zona radicular reduce el consumo de agua potable mediante dos mecanismos independientes:

1. Reducción de la demanda de riego mediante el suministro directo de agua a la zona radicular.
2. Captación, almacenamiento y reutilización del agua de lluvia en el depósito subterráneo integrado.

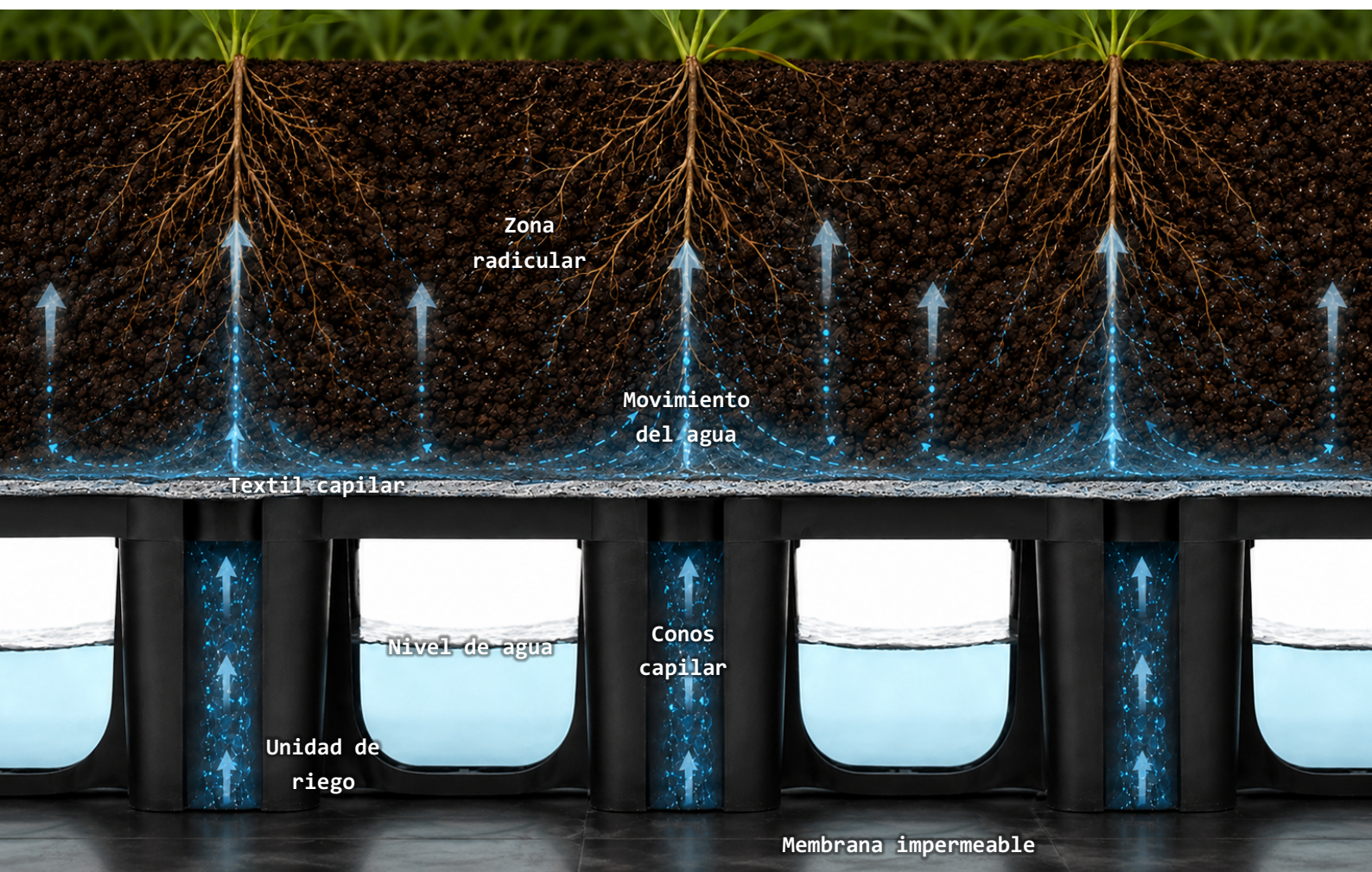


Figura 4. Principio del riego capilar en la zona radicular

### Funciones del sistema

El sistema de riego capilar en la zona radicular funciona simultáneamente como:

- > Infraestructura de riego
- > Sistema de captación de agua de lluvia
- > Capa de retención de aguas pluviales
- > Sistema de regulación de la humedad del suelo
- > Infraestructura de adaptación climática urbana

### Beneficios

- > Condiciones estables de humedad del suelo
- > Reducción de las pérdidas por evaporación
- > Mejora del desarrollo radicular
- > Menor frecuencia de riego
- > Mayor resiliencia frente a la sequía
- > Mejora de la salud y el vigor de las plantas

## 4. Metodología del balance hídrico

El análisis se fundamenta en los principios de evapotranspiración definidos en la publicación FAO-56.

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

$$In = ET_c - P_e$$

Donde:

$ET_c$  = evapotranspiración del cultivo o del paisaje

$ET_0$  = evapotranspiración de referencia

$K_c$  = coeficiente del paisaje

$P_e$  = precipitación efectiva

$In$  = demanda neta de riego

Esto garantiza la comparabilidad con los estándares convencionales de diseño de sistemas de riego utilizados en ingeniería.

## 5. Demanda de agua y rendimiento del sistema

### Condiciones básicas (Málaga)

Parámetro	Málaga
Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )	1.250 mm/año
Precipitación	~ 432 mm/año
Precipitación efectiva	~ 420 mm/año
Coeficiente paisajístico ( $K_c$ )	0.70

**Tabla 3.** Condiciones básicas en Málaga

Demanda anual de riego:

- > Sistemas convencionales ~ 455 L/m<sup>2</sup>/año
- > Sistemas de riego capilar en la zona radicular: ~ 228-319 L/m<sup>2</sup>/año

Mejoras de eficiencia:

- > Reducción de la demanda de riego del 30-50%

## 6. Variabilidad del rendimiento histórico (2021-2025)

**El riego capilar en la zona radicular varía según las condiciones climáticas**

Condición	Reducción del agua potable
Años secos	43-56%
Años promedio	~ 58%
Condiciones normales	60-70%
Años húmedos	75-85%

**Tabla 4.** Reducción del consumo de agua potable en Málaga según diferentes condiciones climáticas

### Interpretación

El rendimiento mejora en los años má húmedos debido a:

- > Mayor eficiencia en la captación de agua de lluvia
- > Mejor aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento
- > Menor dependencia de los aportes de riego

## 7. Función de captación y almacenamiento de agua de lluvia

El sistema de riego capilar en la zona radicular integra el volumen de suelo del paisaje como un depósito de agua controlado.

Capacidad de almacenamiento	Unidades de 40 mm	Unidades de 85 mm	Unidades de 150 mm
			
Por m <sup>2</sup>	38 L	80 L	140 L
Proyecto de 500 m <sup>2</sup>	19.000 L	40.000 L	70.000 L
Proyecto de 2.500 m <sup>2</sup>	95.000 L	200.000 L	350.000 L
Proyecto de 10.000 m <sup>2</sup>	380.000 L	800.000 L	1.400.000 L

**Tabla 5.** Función de almacenamiento de las diferentes unidades de riego capilar

Reutilización media para la unidad de 85 mm: **≈ 130 L/m<sup>2</sup>/año** (dependiendo de las condiciones climáticas).

**Entradas del sistema**

- > Infiltración directa de agua de lluvia
- > Escorrentía procedente de cubiertas (si está conectada)
- > Captación de escorrentía de superficies pavimentadas (si está conectada)
- > Sistemas de captación de escorrentía de plazas y aparcamientos (si están conectados)

**Transformación funcional**

Los espacios verdes urbanos se convierten en:

- > Reservas de agua
- > Depósitos estacionales de almacenamiento
- > Sistemas de retención de aguas pluviales
- > Fuentes de riego gestionadas según la demanda

**8. Ahorro de agua a escala municipal**

Proyecto de referencia de 10.000 m<sup>2</sup> (Málaga):

Componente	Ahorro anual
Eficiencia del riego	1.36 millones L
Reutilización de agua de lluvia	1.30 millones L
Total	2.66 millones de L/año

**Tabla 6.** Ahorro anual en Málaga mediante riego capilar en la zona radicular

Ciclo de vida de 25 años: ~ **66 millones de litros** de agua potable ahorrados.

Equivalente a:

- > El consumo anual de agua de más de 600 hogares
- > Más de 200 millones de botellas de agua
- > Una sustitución a gran escala de la demanda municipal de agua para riego

**9. Indicadores de rendimiento****Reducción del consumo de agua potable**

Entre un 60 % y un 80 % menos de consumo de agua potable en comparación con los sistemas de riego convencionales, gracias a:

- > La aplicación altamente eficiente del agua directamente en la zona radicular de las plantas
- > La minimización de las pérdidas por evaporación
- > La reutilización del agua de lluvia

**Reducción de los costes de mantenimiento del riego**

Hasta un 75 % menos de costes de mantenimiento del sistema de riego, debido a la eliminación de numerosos componentes habituales en los sistemas tradicionales, entre ellos:

- > Ausencia de aspersores
- > Ausencia de emisores o goteros
- > Eliminación de ajustes y recalibraciones de aspersores
- > Ausencia de componentes expuestos susceptibles a daños
- > Menor riesgo de fugas y fallos del sistema

### **Reducción del mantenimiento paisajístico y de la reposición de plantas**

*Hasta un 30 % menos de costes de mantenimiento de las zonas verdes y de reposición vegetal, gracias a una vegetación más sana y resiliente:*

- > Menor proliferación de malas hierbas, ya que la capa superficial del sustrato permanece mayoritariamente seca, limitando la germinación de semillas
- > Mejor establecimiento y desarrollo de las plantas
- > Menor necesidad de reposición vegetal
- > Menor estrés hídrico durante períodos de sequía
- > Reducción de la erosión en las áreas de plantación

### **Incremento de la cobertura vegetal saludable**

*Más de un 25 % de aumento de la cobertura vegetal saludable, favorecido por la disponibilidad constante de humedad en la zona radicular, lo que se traduce en:*

- > Un crecimiento vegetal más vigoroso
- > Una mayor resiliencia de las plantas
- > Un mejor rendimiento y calidad de los espacios verdes



**Figura 5.** Incremento de la cobertura vegetal saludable

**Mayor vida útil de la infraestructura**

*Hasta cinco veces más vida útil que los sistemas de riego convencionales.*

- > Los sistemas de riego convencionales suelen requerir su sustitución cada 5 a 8 años
- > Los sistemas de riego capilar en la zona radicular están diseñados para una vida útil de 25 años o más, reduciendo los costes de reposición a largo plazo y la generación de residuos

**Reducción de la erosión del suelo**

*Hasta un 80 % menos de erosión del suelo, ya que el agua se suministra por debajo de la superficie, evitando:*

- > La escorrentía superficial
- > El lavado del suelo
- > El desplazamiento de partículas durante los eventos de riego

**Reducción del potencial de proliferación de mosquitos**

*Hasta un 70 % menos de riesgo de cría de mosquitos, gracias al uso de depósitos de agua subterráneos cerrados que eliminan la presencia de agua estancada en superficie, uno de los principales hábitats de reproducción de estos insectos.*

**Reutilización y economía circular**

*Vida útil superior a 50 años, lo que permite reutilizar el sistema en futuros proyectos paisajísticos cuando cambien los planes de uso del suelo, la distribución del espacio o las necesidades de remodelación urbana.*

Esta característica favorece:




- > La reutilización de materiales
- > La reducción de residuos
- > Un enfoque circular y sostenible del desarrollo urbano

**Capacidad portante adaptable**

*Adecuado para aplicaciones con diferentes niveles de carga estructural, desde zonas de plantación y campos deportivos hasta espacios sometidos a tráfico rodado intenso.*

Aplicaciones típicas:

- > Jardines y parterres
- > Parques urbanos
- > Campos deportivos
- > Plazas públicas
- > Aparcamientos
- > Viales y áreas con tránsito frecuente de vehículos pesados

Producto	Ligero	Medio	Pesado
			
Dimensiones	Longitud: 710 mm Ancho: 710 mm Altura: 85 o 170 mm	Longitud: 710 mm Ancho: 710 mm Altura: 85 o 170 mm	Longitud: 708 mm Ancho: 354 mm Altura: 85 o 150 mm
Porosidad volumétrica	> 93%	> 93%	> 92%
Resistencia a compresión		600 kN/m <sup>2</sup>	715 kN/m <sup>2</sup>
Aplicación	Parterres, jardineras y áreas ajardinadas	Campos deportivos, zonas recreativas y áreas peatonales	Viales, aparcamientos y otras zonas sometidas al tráfico de vehículos, incluidos vehículos pesados

**Tabla 7.** Gama de productos para diferentes capacidades portantes

**NOTA:** La clasificación exacta de las cargas de tráfico que puede soportar el sistema depende del diseño constructivo global. Por ello, las aplicaciones sometidas a cargas elevadas de tráfico suelen requerir un diseño estructural y una evaluación de cargas específicos para cada proyecto.

La **alternativa ligera a las capas de cimentación tradicionales** proporciona almacenamiento temporal de agua bajo las superficies pavimentadas y permite poner esta agua a disposición de las áreas de plantación adyacentes.

Esta solución se utiliza ampliamente en:

- > Cubiertas sobre forjado (*podium decks*)
- > Espacios con una alta densidad de servicios e infraestructuras subterráneas
- > Proyectos donde las excavaciones profundas necesarias para los sistemas convencionales de almacenamiento y drenaje de agua resultan inviables o poco prácticas

Entre sus principales ventajas se encuentran:

- > Almacenamiento descentralizado de agua de lluvia bajo superficies pavimentadas
- > Aprovechamiento eficiente del espacio disponible
- > Reducción de la necesidad de infraestructuras de drenaje convencionales
- > Integración del almacenamiento de agua y el riego en una única solución constructiva



**Figura 6.** Sistema de cimentación ligera para la gestión del agua combinado con jardineras

## 10. Análisis del coste del ciclo de vida

### Hipótesis de cálculo

Período de evaluación	25 años
Superficie del proyecto	10.000 m <sup>2</sup>
Tarifa del agua	€ 2,20/m <sup>3</sup>
Tasa de descuento	3%
Ubicación	Málaga

**Tabla 8.** Hipótesis utilizadas para el análisis del coste del ciclo de vida

### Comparación de costes

Categoría	Riego convencional	Riego capilar en la zona radicular
Instalación (CAPEX)	€ 120.000	€ 45 Reducción de los costes de priedad 0.000

Costes de agua	€ 320.650	€ 129.800
Mantenimiento del sistema de riego	€ 200.000	€ 50.000
Mantenimiento de las zonas verdes	€ 1.000.000	€ 700.000
Sustitución de infraestructuras	€ 360.000	€ 0
Coste total del ciclo de vida	€ 2.000.650	€ 1.329.800

**Tabla 9.** Comparación de costes para el análisis del coste del ciclo de vida

### Resultados económicos

Inversión adicional de capital	€ 330.000
Ahorros del ciclo de vida	€ 670.850
Reducción de los costes de propiedad	33,5%
Beneficio anual medio	€ 26.834
Periodo de recuperación simple	Aprox. 8 años

**Tabla 10.** Resultados económicos del análisis de costes del ciclo de vida

Principales impulsores del ROI:

- > Reducción del consumo de agua
- > Menor dependencia del mantenimiento
- > Reducción de los ciclos de sustitución de la planta
- > Mayor vida útil del sistema

## 11. Biodiversidad y rendimiento ambiental

El riego por zona radicular capilar mejora el rendimiento del sistema ecológico mediante condiciones estables de humedad en la zona radicular.

### Beneficios de la vegetación:

- > Mayor tasa de supervivencia frente a la sequía
- > Mejor resiliencia durante el verano
- > *Mayor diversidad de especies vegetales*
- > Periodos de floración más prolongados

### Beneficios del ecosistema:

- > Mejora del hábitat para polinizadores
- > Mayor disponibilidad de néctar
- > *Mejora de la calidad del hábitat*
- > Aumento de la densidad de vegetación

### Beneficios hidrológicos:

- > Reducción de los picos de escorrentía
- > Menor carga sobre los sistemas de aguas pluviales
- > *Mejora del enfriamiento del microclima urbano*



Figura 7. Resultados económicos del análisis de costes del ciclo de vida

## 12. Alineación con políticas y normativa

El riego por zona radicular capilar apoya los principales marcos políticos europeos y nacionales:

- > Pacto Verde Europeo
- > Estrategia de la UE sobre Biodiversidad para 2030
- > Estrategia de la UE de adaptación al cambio climático
- > Directiva marco del agua
- > Marco de soluciones basadas en la naturaleza
- > Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)
- > Reglamento de taxonomía de la UE
- > Misiones de ciudades climáticamente neutras e inteligentes

El sistema está plenamente alineado con las prioridades actuales de la UE en materia de **eficiencia hídrica, resiliencia climática y sostenibilidad urbana.**



Figura 8. Alineación con políticas y normativa

### 13. Conclusiones

El riego por zona radicular capilar representa una transición desde los sistemas de riego convencionales hacia una **infraestructura hídrica** urbana integrada.

**Resultados cuantificados clave (referencia de Málaga):**

- > Reducción de la demanda de riego del 30-50%
- > Reducción media del 58% en el consumo de agua potable
- > Rango del 43-85% según las condiciones de precipitación
- > Capacidad de almacenamiento subterráneo de 80 L/m<sup>2</sup>
- > Reutilización anual de agua pluvial de 130 L/m<sup>2</sup>
- > ~66 millones de litros de ahorro de agua potable (25 años, 10.000 m<sup>2</sup>)
- > ~33,5% de reducción en el coste del ciclo de vida
- > Retorno de la inversión en aproximadamente 8 años
- > Larga vida útil (más de 50 años) y sistema totalmente reutilizable
- > Base de almacenamiento hídrico integrada para superficies pavimentadas y zonas ajardinadas



Figura 9. Conclusión estratégica

### Conclusión estratégica

En los entornos urbanos mediterráneos, el riego deja de ser una simple función operativa para convertirse en una variable crítica en la gestión del riesgo financiero, la adaptación climática y la evaluación del rendimiento a largo plazo.

El riego por zona radicular capilar transforma este enfoque en una infraestructura predecible, eficiente y multifuncional, que apoya un desarrollo urbano resiliente y sostenible.

## ¿Listo para convertir su estrategia hídrica en realidad?

Si desea más información, una propuesta a medida o asesoramiento experto para optimizar sus procesos de gestión del agua, nuestro equipo está preparado para ayudarle.

Aproveche nuestra **evaluación de agua gratuita** para obtener información valiosa sobre su consumo actual, identificar oportunidades de mejora y explorar soluciones alineadas con sus objetivos operativos y de sostenibilidad.

Tanto si busca mejorar la eficiencia, reducir costes o implementar una estrategia hídrica preparada para el futuro, estamos listos para ayudarle a hacer realidad su visión.

**Contáctenos hoy mismo** para solicitar más información, recibir un presupuesto personalizado o programar su evaluación gratuita del agua.

T. 691 183 582

E. [info@simpaverde.es](mailto:info@simpaverde.es)