

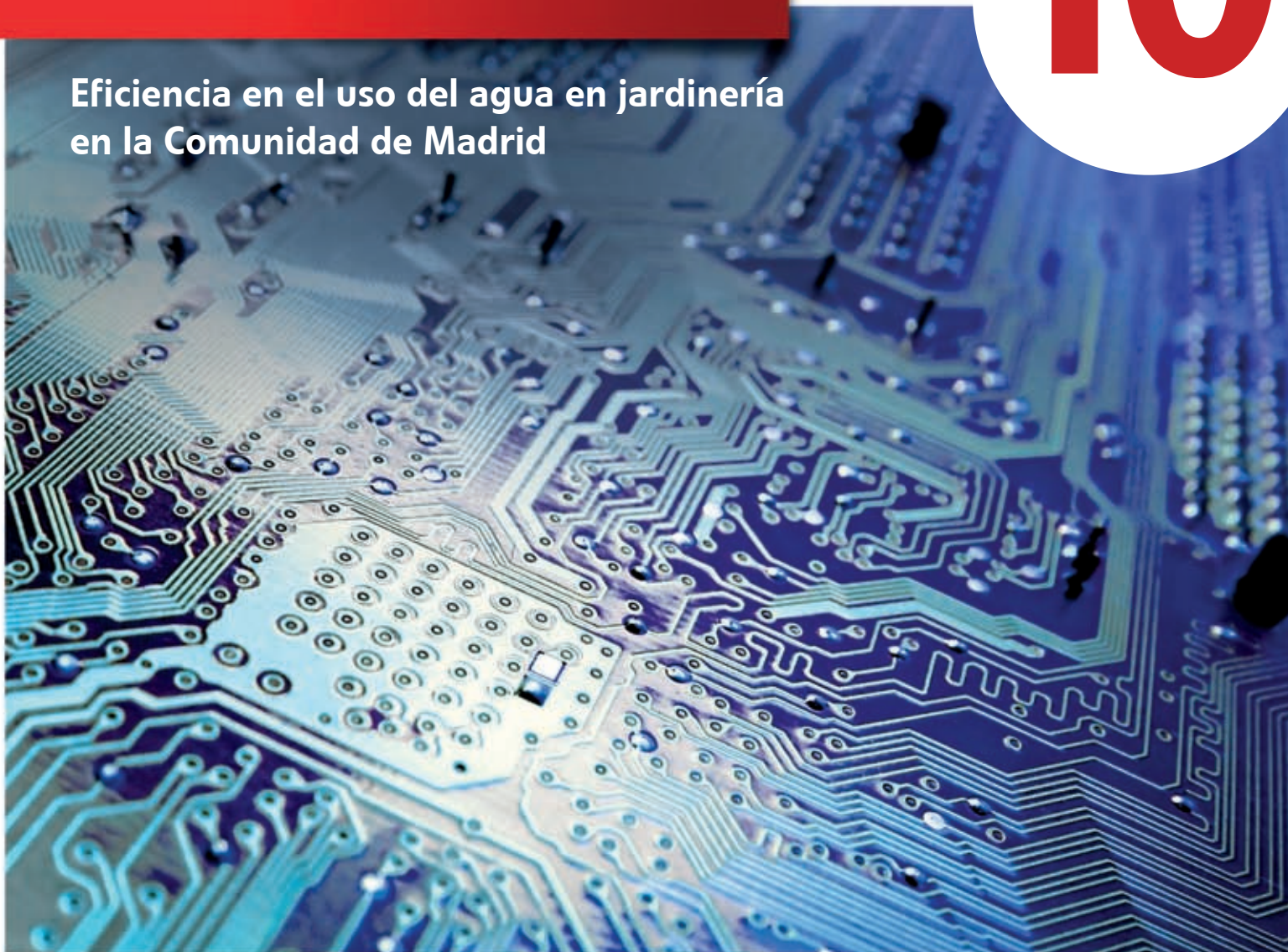


Canal de
Isabel II

CUADERNOS DE I+D+i

10

Eficiencia en el uso del agua en jardinería
en la Comunidad de Madrid



© Canal de Isabel II - 2010

Autores:

Rafael Heredero Rodríguez

Raquel Chamochín

José Luis Vilar

Francisco Suárez

Dirección del Estudio:

Rafael Heredero Rodríguez

Agradecimientos:

El trabajo que aquí se presenta no hubiese sido posible sin la particular contribución de Concepción Oliveros, Ignacio Aldea y Joaquín Huete, por lo que es obligado manifestar un especial agradecimiento.

José Luis Vilar y Francisco Suárez son los autores de la “Guía de jardinería eficiente” que constituye un manual práctico orientado a todos los usuarios aficionados y profesionales de la Comunidad de Madrid y se incluye como apéndice al final del cuaderno.

ISBN: 978-84-938193-1-6

Depósito Legal: M-39983-2010

Maquetación e impresión: Grupo Erreuve



CUADERNOS DE I+D+i

10

Eficiencia en el uso del agua en jardinería
en la Comunidad de Madrid



EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD



Las afirmaciones recogidas en el presente documento reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de Canal de Isabel II.

Tanto Canal de Isabel II como los autores de este documento declinan todo tipo de responsabilidad sobrevenida por cualquier perjuicio que pueda derivarse a cualesquiera instituciones o personas que actúen confiadas en el contenido de este documento, o en las opiniones vertidas por sus autores.



PRESENTACIÓN



Los cuadernos de I+D+i de Canal de Isabel II forman parte de la estrategia de gestión del conocimiento de la Empresa y del desarrollo del Plan de investigación, desarrollo e innovación.

Son elemento de difusión de proyectos e iniciativas desarrollados y auspiciados desde Canal de Isabel II para la innovación en las áreas relacionadas con el servicio de agua en el entorno urbano.

Exponen las diferentes problemáticas abordadas en cada proyecto junto con los resultados obtenidos. La intención al difundirlos mediante estas publicaciones, es compartir las experiencias y conocimientos adquiridos con todo el sector de servicios de agua, con la comunidad científica y con cuantos desarrollan labores de investigación e innovación. La publicación de estos cuadernos pretende contribuir a la mejora y eficiencia de la gestión del agua y, en consecuencia, a la calidad del servicio prestado a los ciudadanos.

Los cuadernos de I+D+i ya publicados son los que figuran en la presente tabla.

Nº colección	Cuadernos Investigación, Desarrollo e Innovación publicados
1	Transferencias de derechos de agua entre demandas urbanas y agrarias. El caso de la Comunidad de Madrid
2	Identificación de rachas y tendencias hidrometeorológicas en el ámbito del sistema de Canal de Isabel II
3	Participación de Canal de Isabel II en el Proyecto Internacional de Eficiencia en la Gestión (IDMF)
4	Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid
5	El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid
6	Estudio de potenciales de ahorro de agua en usos residenciales de interior
7	Investigación sobre potenciales de eficiencia con el empleo de lavavajillas
8	Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en la Comunidad de Madrid
9	Proyecto de investigación para la definición y evaluación de la aplicabilidad de un bioensayo para la determinación de la toxicidad del agua utilizando embriones de Pez Cebra

FICHA TÉCNICA

Título del proyecto	Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid.
Línea de investigación	Aseguramiento del equilibrio disponibilidades / demandas.
Unidades de Canal de Isabel II implicadas	• Subdirección de I+D+i. • División de Áreas Verdes.
Participación externa	TALHER Jardinería José Luis Vilar Arias.
Objeto y justificación del proyecto	Determinar el potencial de mejora de la eficiencia del riego de zonas verdes, cuantificando y comparando las necesidades de agua y los costes de distintas alternativas de plantaciones, sistemas de riego y formas de explotación y mantenimiento de jardinería.
Contribución al estado del arte	Se definen las necesidades hídricas de las plantas más usadas en jardinería en la Comunidad de Madrid, analizando para ello medidas continuas del clima y de la humedad del suelo, y medidas discretas del aspecto y la salud de las plantaciones. Los resultados de eficiencia en el uso del agua y de los costes de las alternativas estudiadas se relacionan mediante un ratio coste-eficiencia.
Resumen del desarrollo del proyecto e hitos relevantes	Instalación de 60 parcelas experimentales en el parque piloto con distintas combinaciones de planta, sistema de riego y técnicas de jardinería. Ajuste y calibración de los sensores de humedad y comienzo de los ensayos. Desarrollo y calibración de la metodología de cálculo de las dotaciones de riego. Experimentación con las parcelas y cálculo de la eficiencia en el uso del agua de las distintas alternativas. Informe final.
Resumen de resultados obtenidos	Se ha evaluado la eficiencia en el uso del agua de las plantas más usadas en jardinería en la Comunidad de Madrid, de los sistemas de riego y de las principales técnicas aplicadas en jardinería. Se han calculado los costes de las distintas alternativas, incluyendo costes de implantación, de mantenimiento y la factura del agua durante una vida útil estimada de 10 años. Se ha desarrollado una metodología para calcular las dotaciones de riego deficitario controlado combinando los métodos tradicionales basados en el clima con una medición de la humedad del suelo en continuo.
Líneas de investigación abiertas para continuación de los trabajos	Evaluación del impacto de la campaña de recomendaciones de riego "Hoy no hace falta regar", mediante la monitorización del parque piloto. Definición de los mínimos riegos que mantienen el estado paisajístico o riego deficitario controlado, para cada momento vegetativo, utilizando la información del suelo y el clima e incorporando parámetros fisiológicos. Modelización de un sistema experto de planta. Desarrollo de herramientas y prácticas para mejorar el servicio avanzado del SIR (sistema inteligente de riego).



RESUMEN EJECUTIVO



En este documento se presentan los resultados y conclusiones obtenidos a partir de un estudio de un año y medio de duración sobre un parque piloto experimental. El objetivo principal de este estudio ha sido evaluar el consumo comparado de agua y el coste-eficiencia de las distintas alternativas que configuran el diseño de un jardín, para mejorar la eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid. Esta eficiencia es inversamente proporcional al consumo de recursos, agua y mano de obra principalmente, necesarios para proporcionar el bienestar y la calidad estética que aportan parques y jardines.

En el parque piloto experimental, como en cualquier zona verde, el riego aporta el agua que utilizan la planta y el suelo en el que se asientan sus raíces para satisfacer las necesidades evapotranspirativas que provoca el clima.

La evapotranspiración potencial del cultivo de referencia, **ET_o**, es el parámetro comúnmente utilizado para evaluar las necesidades de evaporación y transpiración que genera el clima. La **ET_o** depende exclusivamente del clima y se define como la cantidad de agua que se evapora, en esas condiciones climáticas, de un terreno cubierto totalmente de gramíneas o alfalfa (utilizados como cultivos de referencia) de 8 a 15 centímetros de altura uniforme, con crecimiento activo y no sometida a déficit hídrico. Existen varias fórmulas para calcularlo, siempre a partir de los parámetros climáticos.

Las plantas toman el agua del suelo, por lo que la cantidad de agua almacenada en el suelo a su disposición determina que ésta pueda satisfacer sus necesidades. Cada especie vegetal posee unos mecanismos para desarrollar sus funciones básicas y crecer, por lo que cada cultivo o planta (en combinación con el suelo en el que crece) utiliza una cantidad de agua distinta, **ET_c**, evapotranspiración del cultivo. La relación entre esta última y la del cultivo de referencia se representa a través del llamado coeficiente de eficiencia en el uso del agua del cultivo, **K_c**, (**K_c = ET_c / ET_o**), casi siempre menor que la unidad. A su vez, cada planta consume diferentes cantidades de agua en función del momento vegetativo en el que se encuentre; en consecuencia, **K_c** no es constante en el tiempo. Por último, las plantas, en mayor o menor medida, son capaces de adaptar su desarrollo y estrategias de gasto en función del agua disponible en el suelo.

En definitiva, las decisiones de riego dependerán de las condiciones del clima, la planta y el suelo. El clima provoca la necesidad (y cuando llueve aporta los recursos), la especie y su momento vegetativo determinan la estrategia de gasto y el suelo almacena las reservas de agua de las que se abastecerá la planta. La evolución del agua almacenada en el suelo refleja el balance entre el riego y el gasto mostrando si el riego se ajusta a las necesidades, es excesivo o deficitario.

Adicionalmente, la dotación de riego deberá incluir el agua que no llega al estrato de suelo alcanzado por las raíces porque se evapora, escurre o se infiltra profundamente. Para ello se utiliza un coeficiente de eficiencia del sistema de riego, **K_r**, que incrementa las dosis de riego.

Por otra parte, determinadas técnicas de explotación y mantenimiento de jardinería influyen en la evaporación a través del suelo y/o la transpiración de las plantas. Esta influencia se expresa en un coeficiente de la técnica de jardinería, **K_t**.

Las dotaciones de riego se pueden calcular, a partir del clima medido, mediante la siguiente fórmula:

$$N_r = ET_o \times K_c \times 1/K_r \times K_t,$$

Donde:

N_r representa las necesidades de riego.

Para comparar la eficiencia en el uso del agua de las distintas alternativas y poder recomendar las dotaciones de riego así calculadas a parques y jardines donde no existe información sobre humedad del suelo, habría que evaluar los coeficientes de eficiencia de planta, sistema de riego y técnica de jardinería que permiten calcular las necesidades de riego, en función del clima, utilizando la fórmula anterior, que es muy similar conceptualmente al método de Costello de cálculo de dotaciones de riego. Este método indirecto es el más universalmente utilizado y con él se calculan las dotaciones de riego a partir de los datos de clima (**ETo**) de los últimos días y de coeficientes de cultivo, de sistema de riego y de otras peculiaridades locales del jardín a regar como densidad, sombra, el microclima y otros.

En este proyecto se ha utilizado una metodología combinada entre un método indirecto y un método directo. En los **métodos indirectos** se calcula la dotación de riego a partir de medidas de parámetros climáticos y de coeficientes de eficiencia de planta, sistema de riego y técnica de jardinería que transforman las necesidades evapotranspirativas del cultivo de referencia en esas condiciones climáticas, en las dotaciones de riego que precisa cada zona verde. En los **métodos directos** se monitorizan parámetros de la propia planta y del suelo sobre el que se asientan sus raíces. Los métodos directos proporcionan certidumbre y precisión mientras que la aplicación de los indirectos es más sencilla y económica. Durante el proyecto, se empleó inicialmente un método directo para calcular los coeficientes de eficiencia. Una vez calculados, se utilizaron para determinar las dotaciones de riego aplicando un método indirecto. Los resultados de aplicar este método indirecto se evaluaban periódicamente analizando las medidas directas y recalibrando los coeficientes de eficiencia.

Para calcular las dotaciones de riego por el **método directo**, se combinó el uso de parámetros climáticos en continuo con medidas directas de la humedad del suelo en continuo y del estado paisajístico u ornamental con periodicidad semanal.

En definitiva, se ha desarrollado un método a medio camino entre el indirecto, dependiente de los parámetros teórico-experimentales y el directo, proveniente de medidas recogidas en el parque o jardín, de la planta y del agua dispone en el suelo.

Los medios dispuestos para este trabajo han sido un parque piloto de 4.000 m² compartimentado en sesenta parcelas experimentales, donde se ensayaron las distintas combinaciones seleccionadas de las variables del estudio: tipo de planta, sistema de riego y técnica de jardinería; se han estudiado tanto las alternativas tradicionales como otras propuestas más innovadoras. Cada parcela estaba dotada con una sonda de humedad que tomaba medidas en continuo de las reservas hídricas en el suelo, un contador individual y una electroválvula. Una estación meteorológica completa recogía información sobre los parámetros del clima en el parque piloto.

Figura 1. Vista general del parque piloto



El seguimiento del ensayo se ha llevado a cabo recopilando todos los datos de los sensores, vía radio, en un ordenador desde el que se gestionaba la información de la estación meteorológica, y de las sondas de humedad y los contadores de cada parcela. Esta información se procesaba y se calculaban unas dotaciones de riego que se aplicaban utilizando programadores de riego.

El diseño de las parcelas de ensayo consistió en implantar, en cada una de las sesenta parcelas del parque piloto, una combinación distinta de las variables en estudio: especie vegetal, sistema de riego y técnica de jardinería. Se introdujeron algunas repeticiones para controlar variables no identificadas.

Al inicio de la experimentación se estimaron las dotaciones de riego utilizando coeficientes de la bibliografía y durante el proyecto se fueron ajustando mediante la monitorización de la humedad del suelo de cada parcela, persiguiendo que la humedad del suelo convergiera hacia un rango objetivo.

La evolución de las reservas de agua es el resultado del balance entre las necesidades (el clima) y los aportes (los riegos), por lo que el conocimiento de la evolución del clima y de la humedad del suelo ha permitido adaptar el riego para que la humedad se mantuviese en un intervalo del agua útil, rango objetivo, en el que el estado ornamental de las plantas fuera adecuado, minimizando el desarrollo vegetativo para reducir el consumo de agua, lo que se conoce como riego deficitario controlado. El agua útil es aquella que la planta tiene capacidad para usar; el límite superior está en la capacidad de campo del terreno o máxima cantidad de agua almacenable por el terreno, mientras que el límite inferior o punto de marchitez es la humedad que una determinada planta es capaz de succionar de un determinado suelo; por debajo de esa humedad la planta se marchita y muere.

Para verificar que el intervalo de humedad objetivo del agua útil para cada parcela era el correcto, es decir, conseguía un estado ornamental adecuado, se utilizó como parámetro el índice jardinero, que consistía en un control visual especializado del estado paisajístico de las plantas con una valoración entre uno y cinco, donde el tres correspondía al aspecto ornamental óptimo objetivo y el uno y el cinco representaban, respectivamente, excesivo estrés hídrico o excesiva humedad.

En esta metodología se han utilizado parámetros monitorizados en continuo de clima y de suelo, realizándose comprobaciones periódicas del aspecto ornamental de las plantas. El parámetro de planta basado en una valoración visual y subjetiva del estado de la planta, plasmada en el índice jardinero, ha limitado la obtención de un ajuste preciso y dinámico del **Kc** en función del momento vegetativo de la planta.

Se ha demostrado la aplicabilidad de métodos directos para el cálculo de dotaciones eficientes de riego y la viabilidad de extrapolación de la eficiencia para el empleo de métodos indirectos.

Resultados

Como resultados del trabajo, se han obtenido los coeficientes de eficiencia para los distintos sistemas de riego empleados y para las técnicas jardineras. Estos coeficientes pueden verse en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Eficiencia sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia
Aspersión	0,75
Difusor	0,75
Borboteador	0,85
RWS	0,95
Goteo	0,90
Goteo enterrado	0,95
Cinta exudante	0,90
Manual con manguera	0,95

Tabla 2. Eficiencia técnicas jardineras

Técnica jardinera	Coefficiente
Reciclador y altura de siega	0,80
Fraccionamiento del riego	0,95
Micorrizas	0,80
Retenedor	0,80
Acolchado 1: Geotextil + Cortezas de pino	0,80
Acolchado 2: Geotextil + Grava	0,75
Acolchado 3: Geotextil + Grava + Cortezas de pino	0,70

Por otro lado, también se han obtenido valores para los coeficientes de eficiencia de los cultivos que se han ensayado.

Tabla 3. Eficiencia plantas

Cultivo	Valor Kc
Césped ANH - Classic	0,70
Césped BNH - Sahara	0,65
Árbol - Falso plátano	0,50
Arbusto grande ANH - Fotínea	0,40
Arbusto grande BNH - Cornus	0,35
Seto ANH - Aligustre	0,60
Seto BNH - Leilandi	0,60
Arbusto pequeño ANH - Hebe	0,50
Arbusto pequeño BNH - Atriplex	0,25
Tapizante ANH - Vinca	0,45
Tapizante BNH - Romero rastrero	0,25
Tapizante BNH - Tomillo	0,40
Tapizante BNH - Hipérico	0,30
Flor ANH - Tajete	0,55
Flor BNH - Petunia	0,55

ANH: Altas Necesidades Hídricas BNH: Bajas Necesidades Hídricas

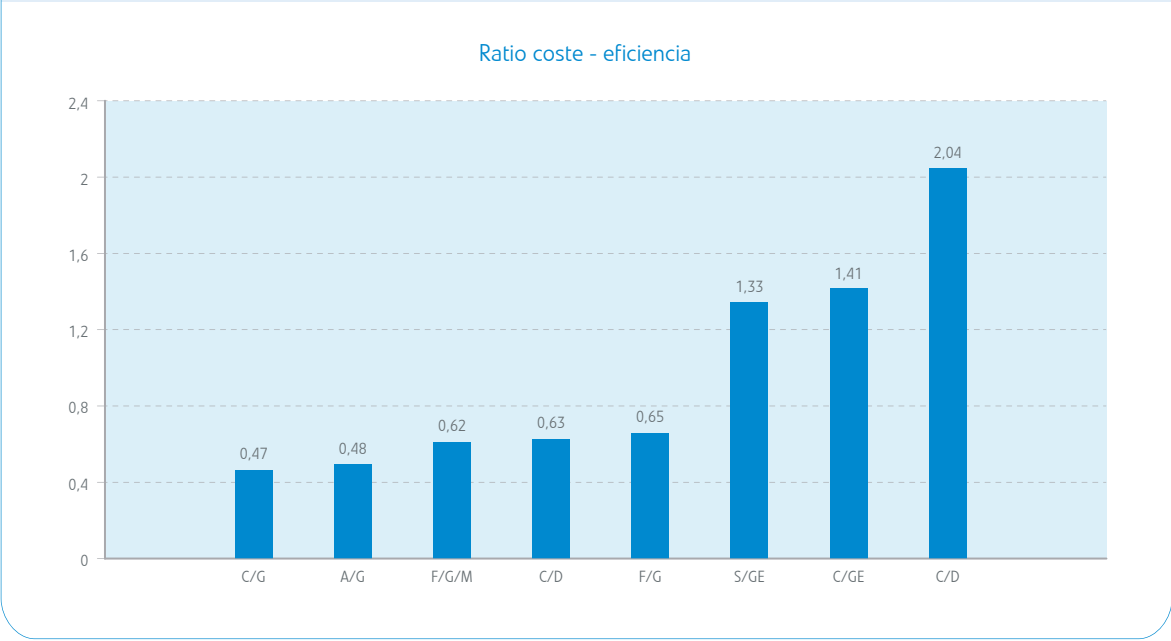
La evaluación de la eficiencia en el uso del agua de las variables estudiadas, expresadas por los coeficientes, permitiría calcular el consumo de agua de cada alternativa y el potencial de ahorro, conociendo el clima y el inventario de los parques y jardines existentes en un municipio o región.

También se han calculado los costes durante diez años de implantación, mantenimiento y consumo de agua de riego. Con estos datos se ha desarrollado un ratio **coste-eficiencia** que combina criterios económicos y de eficiencia en el uso del agua y que permite comparar las distintas alternativas, proporcionando información rigurosa para la toma de decisiones.

A continuación se muestran para algunas alternativas los resultados de eficiencia y coste, y el ratio que integra ambos parámetros.

Tabla 4. Ratio coste - eficiencia

Cultivo / riego / técnica jardinería	Ahorro respecto al césped classic y difusor	Costes totales a 10 años	Ratio coste - eficiencia
	%	€/m²	(base log)
Cotoneaster / Goteo	70,23 %	31,59	0,47
Atriplex / Goteo	70,23 %	32,13	0,48
Fotínea / Goteo / Mulching	66,67 %	42,66	0,62
Cotoneaster / Difusor	64,29 %	42,23	0,63
Fotínea / Goteo	52,38 %	36,65	0,65
Sahara / Goteo enterrado	26,69 %	100,71	1,33
Classic / Goteo enterrado	21,05 %	101,82	1,41
Classic / Difusor	0,00 %	107,69	2,04



Los resultados obtenidos muestran que las alternativas más eficientes en el uso del agua son además, las más rentables en la vida útil de las plantaciones y sistemas de riego precisamente porque el coste del agua ahorrada compensa con creces los, en algunas ocasiones, mayores gastos de inversión de las alternativas más eficientes. Esta relación entre eficiencia y coste también se sustenta en los mayores gastos de mantenimiento que requieren los fuertes crecimientos vegetativos provocados por el uso intensivo de agua.

Se concluye que el ahorro del 70 por ciento del agua de riego alcanzable por el cambio de cultivos, sistemas de riego y técnica de jardinería, no supone ningún coste adicional sino al contrario, un ahorro de dos tercios de los costes totales del ciclo de vida de plantas e infraestructuras de riego.

En la tabla 5 se muestra el volumen anual de agua no consumida por una hectárea de zona verde con las características de algunas de las alternativas estudiadas, frente a una pradera convencional.

Tabla 5. Costes, incremento de la eficiencia y volumen ahorrado

Alternativa	Ahorro de agua respecto al <i>césped classic</i> con difusor	Ahorro de agua respecto al <i>césped classic</i> con difusor	Costes totales en 10 años
Cultivo / riego / técnica jardinería	%	m³/ha/año	€/m²
Classic / Difusor	0 %	0	107,69 €
Classic / Difusor/Fraccionamiento de riegos	5 %	421	106,68 €
Classic / Difusor/Altura de siega	20 %	1.683	103,65 €
Classic / Difusor/Micorriza	20 %	1.683	104,10 €
Classic / Goteo enterrado	21 %	1.772	101,82 €
Sahara / Goteo enterrado	27 %	2.247	100,71 €
Sahara / Difusor	7 %	601	106,28 €
Vinca / Difusor	36 %	3.006	46,15 €
Vinca / Goteo	46 %	3.908	34,56 €
Petunia / Difusor	21 %	1.804	306,34 €
Cotoneaster / Goteo	70 %	5.912	31,59 €
Hebe / Goteo	40 %	3.407	33,41 €
Fotínea / Goteo	52 %	4.409	36,65 €
Fotínea / Goteo / Grava / Geotextil	62 %	5.210	44,49 €
Fotínea / Goteo / Corteza pino / Arena	67 %	5.611	42,66 €
Atriplex / Borboteo	68 %	5.764	45,46 €
Atriplex / Goteo	70 %	5.912	32,13 €

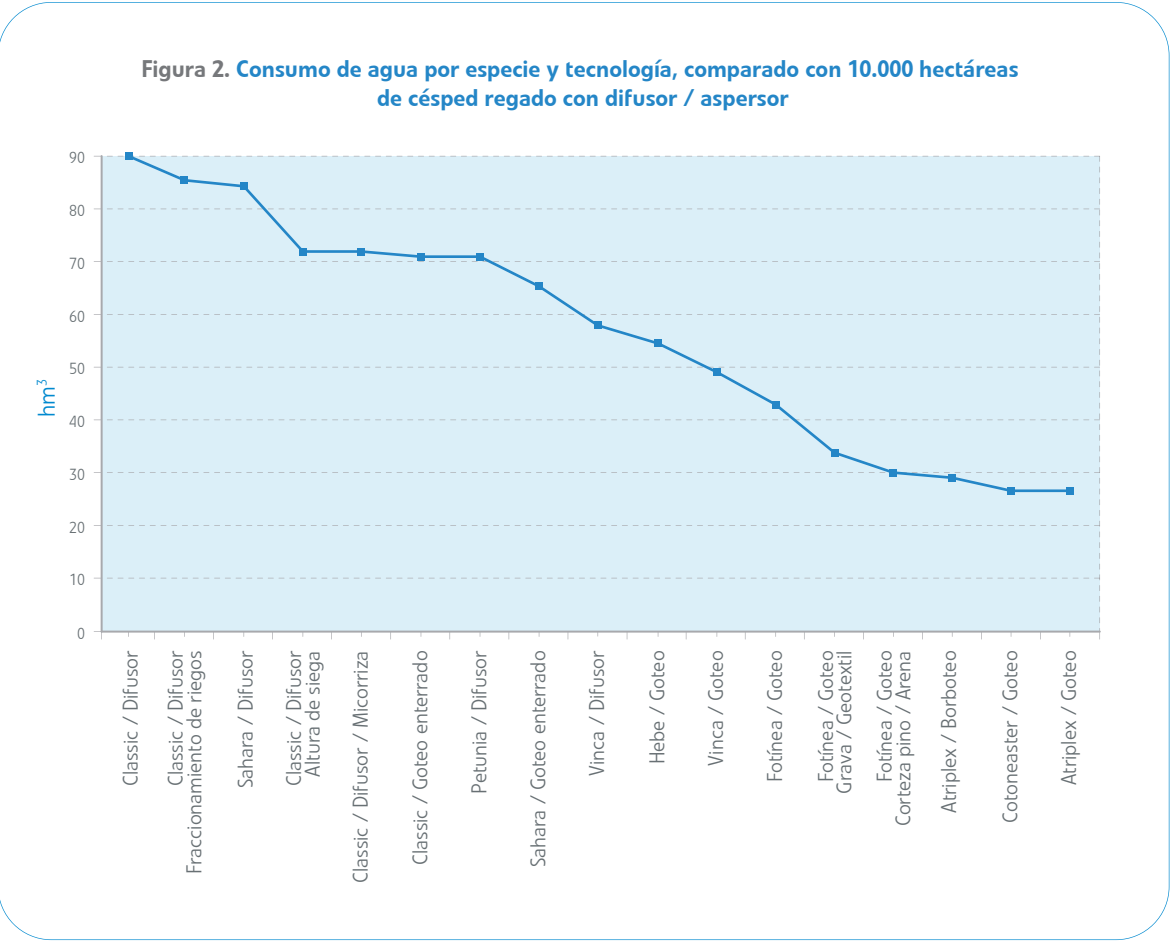
Las mejoras de eficiencia en el uso del agua alcanzables se sitúan entre el 60 y el 70 por ciento, al sustituir praderas regadas mediante aspersión o difusión por arbustos de medias y bajas necesidades hídricas, regados mediante sistemas de riego localizados, con el terreno cubierto por acolchados o “mulching”.

Estas reducciones del agua necesaria para riego de zonas verdes están en el mismo rango de otros estudios realizados en EEUU monitorizando viviendas unifamiliares que habían sustituido sus jardines con praderas por xerojardines.

De acuerdo con estos resultados, la hipótesis de sustitución de las 10.000 hectáreas de césped existentes en la Comunidad de Madrid por arbustos con riegos localizados y acolchados reduciría entre 35 y 60 hm³ anuales las demandas de 90 hm³ de agua en usos de exterior y supondría un ahorro anual para los propietarios de los parques y jardines en costes de mantenimiento y agua de unos 500 millones de euros al año.

La figura 2, muestra la evolución de las necesidades de riego de las 10.000 hectáreas de césped de la Comunidad de Madrid al introducir distintas combinaciones de especies, riegos localizados y acolchados.

Al final de este cuaderno se incluye como apéndice un manual práctico para la toma de decisiones de planificación, implantación y mantenimiento por parte de los usuarios, la “Guía de jardinería eficiente”.





ÍNDICE DE CONTENIDOS



1. INTRODUCCIÓN página 22

- 1.1. Introducción
- 1.2. Antecedentes
- 1.3. Fundamentos del proyecto
- 1.4. Objetivo y alcance del proyecto

2. METODOLOGÍA DE ENSAYO página 28

- 2.1. Introducción
- 2.2. Método de Costello
- 2.3. Método directo
- 2.4. Método de cálculo combinado

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL página 48

- 3.1. Cálculo de los tiempos de riego
- 3.2. Intervalo objetivo de humedad del suelo
- 3.3. Calibración de los coeficientes de eficiencia de plantas, sistemas de riego y técnicas jardineras

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS página 54

- 4.1. Identificación de los ensayos
- 4.2. Periodo de estudio
- 4.3. Consumo de agua por parcela
- 4.4. Parámetros que caracterizan las parcelas
- 4.5. Eficiencia de las variables ensayadas
- 4.6. Índice jardinero
- 4.7. Coste de cada alternativa y dotaciones de riego
- 4.8. Análisis de resultados

5. CONCLUSIONES página 92

- 5.1. Eficiencia en el uso del agua de plantas, sistemas de riego y técnicas de jardinería
- 5.2. Ratio coste/eficiencia
- 5.3. Metodología para el cálculo y aplicación de las dotaciones de riego en parques y jardines

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS página 102

7. ÍNDICE DE FIGURAS página 107

8. ÍNDICE DE TABLAS página 110

9. ANEXOS página 114

- 9.1. ANEXO 1. Cálculo de dotaciones de riego y costes
- 9.2. ANEXO 2. Sistemas de riego
- 9.3. ANEXO 3. Sensores de humedad del suelo. Protocolo de instalación
- 9.4. ANEXO 4. Incidencias
- 9.5. ANEXO 5. Materiales y equipos del proyecto de investigación
- 9.6. ANEXO 6. Publicaciones

10. APÉNDICE: GUÍA DE JARDINERÍA EFICIENTE página 134

1

Introducción

1.1. Introducción

El consumo de agua en usos de exterior supone un porcentaje muy importante del total de agua consumida en la Comunidad de Madrid, por lo que la optimización de este uso es un factor decisivo a la hora de mejorar la relación entre disponibilidades y demandas, y también la garantía de suministro. Es objetivo de este proyecto la identificación de métodos que mejoren la eficiencia en el uso del agua en jardinería.

En este documento se presenta el trabajo realizado sobre un parque piloto experimental en el que se analizaron distintas alternativas de jardinería tanto de plantaciones, como de sistemas de riego o métodos de mantenimiento del jardín. En la selección de las alternativas se han tenido en cuenta criterios de viabilidad técnica y económica a nivel de usuario.

A raíz de estos análisis se han extraído conclusiones acerca de las mejores alternativas a implantar para aumentar la eficiencia del uso del agua en jardinería y sobre la metodología de determinación y gestión de las dotaciones de riego.

Paralelamente al estudio de eficiencia en el uso del agua, se han analizado los costes de implantación de cada una de las alternativas y los de mantenimiento de los sistemas de riego y labores de jardinería. De este modo se puede conseguir una visión global de las alternativas, destacando aquellas mejores en términos del ratio coste-eficiencia.

El presente cuaderno de I+D+i supone una etapa más en la línea de investigación de Canal de Isabel II enfocada a mejorar la eficiencia del uso del agua en los distintos usos finales. A la vista de los resultados, se han identificado los potenciales de reducción del consumo en este ámbito.

1.2. Antecedentes

A pesar de que el consumo de agua en usos de exterior, concretamente en jardinería, representa un porcentaje considerable en el ámbito urbano, son pocos los estudios que hay acerca de este tema. La caracterización de la eficiencia en el uso del agua de distintas plantas, sistemas de riego, y técnicas de gestión y mantenimiento de zonas verdes, es un punto decisivo para identificar los potenciales de reducción del consumo y para proporcionar a los usuarios información fiable para la toma de decisiones de diseño, implantación o remodelación de sus parques y jardines.

En 1981 fue acuñado y legalmente registrado el término Xeriscape (Denver Water Department, 1981) con el fin de convertir la conservación del agua aplicada en jardinería en un concepto fácilmente reconocible.

Para ello, se estableció en EEUU un programa cooperativo de conservación de agua en la jardinería, en el que se involucraron los sectores público y privado. Se creó un programa educativo y se diseñó y construyó un jardín de demostración.

Traducido al español como xerojardinería (Bures S., 1993), el concepto se basa en siete principios generales:

- Planificación y diseño.
- Limitación de áreas con césped.
- Selección y zonificación apropiada de plantas.

- Mejora del suelo.
- Utilización de acolchado.
- Riego eficiente.
- Mantenimiento apropiado.

Este estudio se ha centrado en varios de estos principios como son la mejora de la eficiencia del riego, la selección y zonificación adecuada de las plantas, la utilización de acolchados y el mantenimiento apropiado. A través de un mayor conocimiento de las distintas alternativas de sistemas de riego y labores de jardinería se podrá en definitiva planificar, diseñar y mantener jardines con el mínimo consumo de agua, proporcionando un buen estado paisajístico y ornamental.

Las expectativas de ahorro de agua al aplicar estos principios han sido cuantificadas (Sovocool, K. y Morgan, 2005), en un 33 por ciento anual en el consumo global de agua en una vivienda unifamiliar tipo del suroeste de EEUU al sustituir la tipología de los jardines con praderas por xerojardines. Mirando exclusivamente el impacto sobre el consumo en jardinería, la reducción en el consumo de agua para regar el jardín alcanza un 76,4 por ciento al modificar el modelo de jardín.

Trabajos anteriores a este se han realizado en California (EE UU). La lista WUCOLS (acrónimo utilizado para Water Use Classification of Landscape Species) es el resultado de un proyecto iniciado por Water Use Efficiency Office de California, Department of Water Resources, dirigido por University of California Cooperative Extension (San Francisco y San Mateo County Office). La primera edición de WUCOLS se publicó en 1992 y la tercera (WUCOLS III) se completó en 1999 (Costello y Jones, 2000).

La lista WUCOLS se elaboró como una guía al servicio de los profesionales, con un objetivo eminentemente práctico y sin intención de precisión científica ni de restricción en la elección de especies. Se trata pues de racionalizar, de forma cuantificada, la asignación de necesidades hídricas a una lista de especies utilizadas en jardinería.

Sobre este trabajo se han realizado posteriormente otros estudios, particularizando los coeficientes a diferentes zonas de aplicación. En una adaptación realizada para la Comunidad de Murcia (Contreras, 2006), se exponen las condiciones para aplicar los coeficientes específicos definidos para cada planta, como por ejemplo la fase vegetativa en la que se encuentra la planta o la idoneidad de su ubicación.

A la vista de esta necesidad de particularizar los estudios, ya sea por las características climáticas y de sustrato como por las plantaciones usadas, Canal de Isabel II ha desarrollado este trabajo para aumentar el conocimiento sobre consumos y potenciales de ahorro de agua en jardinería particularizado para el caso de la Comunidad de Madrid. De este modo se puede conseguir un mejor uso del agua en jardinería.

1.3. Fundamentos del proyecto

Para entender cómo, cuándo y cuánto regar es preciso analizar las interacciones del suelo con la planta y de la planta y el suelo con el clima. Para ello se establece un sistema de estudio suelo-planta-clima. Parámetros de los tres factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de hacer un análisis global del riego necesario.

Dichas interacciones dependen del tipo de planta ornamental, de la permeabilidad del suelo y su capacidad de almacenamiento, y de las técnicas de conservación, tratamiento y mantenimiento o técnicas de jardinería. Por otro lado, las dotaciones de riego dependen, además, del sistema de riego utilizado.

El proyecto de investigación desarrollado ha pretendido evaluar comparativamente la eficiencia en el uso del agua de las siguientes variables:

- El cultivo.
- El sistema de riego.
- Las técnicas de mantenimiento y explotación de jardinería.

También se ha evaluado el comportamiento de dispositivos de automatización y control para el corte del riego por lluvias recientes o porque la humedad en el suelo sea elevada, que permiten cancelar aquellos riegos programados que no son necesarios.

Con el objetivo de controlar todos estos factores, se han introducido una serie de equipos y procedimientos específicos para la medición de los parámetros asociados a cada factor.

La medida de parámetros del clima se realizó mediante una estación meteorológica que registró, en tiempo real, diferentes variables climáticas como son la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, la temperatura del aire, temperatura del suelo, radiación solar, precipitación y punto de rocío.

Figura 3. Estación meteorológica completa



Por otro lado, para el estudio del agua disponible para la planta en el suelo, se utilizaron unos sensores de humedad que permitían conocer el agua útil en cada instante.

Finalmente, para la definición del estado de la planta se ha establecido un procedimiento por el que se le asignaba un índice al aspecto ornamental de la parcela. Para hacerlo de la manera más objetiva posible, la valoración de este índice la hacían siempre los mismos jardineros experimentados. El valor objetivo de este índice, el óptimo paisajístico, se alcanzaba en la situación en la que la planta cumple su función ornamental sin un excesivo desarrollo vegetativo y con el mínimo consumo de agua posible, es decir, con un riego deficitario controlado.

1.4. Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo fundamental de este proyecto es cuantificar y comparar las necesidades de agua, para las distintas alternativas propuestas, de las variables de estudio: cultivos, sistemas de riego y técnicas jardinerías. Estas alternativas han sido elegidas como las más representativas de las usadas en los jardines de la Comunidad de Madrid o como las alternativas más eficientes.

Paralelamente, se han evaluado los costes totales de cada una de las alternativas, de modo que se puedan determinar los costes o ahorros del metro cúbico conservado y así poder elegir las alternativas con mejor relación coste-eficiencia.

Para ello se ha instalado un parque piloto dividido en parcelas de ensayo. Cada parcela ha albergado un ensayo en el que se combinaban los tipos de cultivo con distintas técnicas jardinerías y sistemas de riego, los instrumentos de programación y control, y los criterios de explotación y mantenimiento de las plantas, suelos, cubiertas y abonos. La selección de las especies a ensayar se ha realizado en función de un conjunto de criterios, de los cuales los principales fueron la extensión de su uso en los parques y jardines de la Comunidad de Madrid, un especial impacto en el consumo de agua o por el contrario unas reducidas necesidades hídricas.

Con el estudio de estas alternativas se elaboró una guía de jardinería eficiente. Este manual está enfocado a grandes y pequeños gestores de jardines. A raíz de las conclusiones extraídas del trabajo, se dan una serie de recomendaciones, tanto a nivel de diseño del jardín, como de mantenimiento, selección de plantas, suelos, etc. La guía se adjunta como apéndice.

Al finalizar el proyecto los resultados esperados eran:

- Conocer las necesidades hídricas óptimas de las praderas y plantas de jardinería más comunes en la Comunidad de Madrid, desde el punto de vista de la eficiencia en el uso del recurso.
- La evaluación de las diferencias de consumos de agua, es decir, la eficiencia en el uso del agua, producidas por la sustitución de unas especies por otras, la utilización de dispositivos de riego más eficientes, y la aplicación de buenas prácticas de mantenimiento, conservación y uso eficiente. Estos resultados permitirán, extrapolándolos a la situación de la Comunidad de Madrid, una vez estén caracterizadas las zonas verdes y su riego y explotación, una valoración del potencial de ahorro en usos de riegos exteriores del sistema de Canal de Isabel II.
- La valoración del coste y viabilidad técnica y económica de implantación de las distintas alternativas ensayadas.
- Una metodología para el cálculo de las dotaciones de riego adaptadas al clima para asesorar a los parques y jardines de la Comunidad de Madrid.

2

Metodología de ensayo

2.1. Introducción

En este proyecto se ha utilizado una metodología combinada entre un método indirecto, en el que se calcula la dotación de riego a partir de medidas de parámetros climáticos, que se resumen en la **ET_o**, y un método directo. En los métodos indirectos, los riegos se calculan a partir del clima y de coeficientes de eficiencia de planta, sistema de riego y técnica de jardinería que transforman las necesidades evapotranspirativas del cultivo de referencia en las dotaciones de riego que precisa la zona verde. En los métodos directos se monitorizan parámetros de la propia planta y del suelo sobre el que se asientan sus raíces. Los métodos directos proporcionan certidumbre y precisión mientras que la aplicación de los indirectos es más sencilla y económica.

De este modo, para calcular las dotaciones de riego en este ensayo se combinó el uso de parámetros climáticos en continuo y coeficientes de eficiencia, con medidas directas de la humedad del suelo en continuo y del estado paisajístico u ornamental con periodicidad semanal. Se ha desarrollado un método, a medio camino entre el indirecto, dependiente de los parámetros teórico-experimentales y el directo, basado en medidas de la planta y del agua disponible en el suelo recogidas en el parque o jardín.

La calidad paisajística no hay que olvidarla, pues una de las funciones principales, si no la fundamental de un jardín, es generar una satisfacción estética y un bienestar, para lo que debe mantener un buen aspecto ornamental. Por tanto, el objetivo de las dotaciones de riego es mantener este valor ornamental de las plantas. Los diferentes métodos de cálculo deben permitir calcular una dotación de riego que asegure un buen aspecto de los cultivos minimizando el consumo de agua, ya que dotaciones excesivas generarían un elevado desarrollo vegetativo, lo cual es contraproducente en términos de costes de explotación y de gasto de agua. Se busca un riego deficitario que mantenga la belleza del jardín ahorrando recursos hídricos y costes de mantenimiento.

A continuación, se van a exponer los diferentes métodos de cálculo de las dotaciones de riego, tanto el método de Costello (indirecto), como el directo, o el que se ha utilizado en este estudio que es un método combinado de ambos.

Dentro del apartado dedicado al método combinado se presentará, además, la definición del experimento en este estudio así como los conceptos teóricos para el cálculo de las dotaciones de riego.

2.2. Método de Costello

El método de Costello es un método indirecto de cálculo de las dotaciones de riego basado en la medida de la **ET_o** y la aplicación de coeficientes de eficiencia que ajustan esas necesidades teóricas del cultivo de referencia al jardín a regar. Por su sencillez es, clásicamente, el método más utilizado para calcular las dotaciones de riego. Estas se particularizan para cada especie. Para ello es necesario usar un coeficiente de cultivo que depende del tipo de planta, de su edad, de la humedad, de la superficie del suelo y de las características locales de cada parcela.

El cálculo de las necesidades hídricas tiene en cuenta, además de la evapotranspiración potencial particularizada para la especie, la eficiencia del sistema de riego, el lavado de las sales en la zona radicular, la lluvia efectiva sobre la parcela, las condiciones microclimáticas y las técnicas de jardinería que fomentan o reducen las necesidades de agua.

Los autores (Costello y Jones, 2000) propusieron el método del coeficiente de jardín (**KL**) que toma en cuenta tres coeficientes en función de las especies (**Ke**), densidad (**Kd**) y condiciones microclimáticas (**Km**), como método orientativo para calcular las necesidades hídricas de las plantas de jardín. El coeficiente **KL** engloba los diversos parámetros para calcular unas cantidades de agua aproximadas que permitan obtener y mantener un jardín con una estética aceptable.

La principal carencia que tiene el método de Costello es que no tiene en cuenta la reserva de agua en el suelo, en el entorno de las raíces, ni de su dinámica de movimiento. Tampoco incorpora criterios de fisiología de las plantas a las decisiones de gestión hídrica. Este detalle es importante, pues es posible relacionar indirectamente la cantidad de agua en el suelo con el desarrollo vegetativo y la fotosíntesis, conceptos que son fundamentales para el uso eficiente y ahorrador del agua que se quiere promocionar.

2.3. Método directo

Los métodos directos calculan las necesidades hídricas basándose exclusivamente en medidas recogidas en el parque o jardín, de forma que se evita depender de coeficientes con valores estimados en otras condiciones, como sucede con los métodos indirectos. Este método es ideal para la sistematización y automatización de las dotaciones de riego ya que permite responder a por qué, cómo, cuándo y cuánto regar en la medida en que se mide el impacto sobre la planta de todos los factores.

Algunos de los parámetros que se deben medir para conseguir la gestión autónoma de los riegos del parque son la humedad del suelo, los parámetros fisiológicos de la planta y el control del estado vegetativo, sin olvidar el seguimiento del clima reciente y de la previsión del mismo.

Esta metodología implica la necesidad no sólo de un software, sino también de un hardware específico para poder monitorizar estos parámetros. Una vez que se consigue ajustar el sistema, éste debe ser capaz de calcular las dotaciones de riego para cada sector del jardín de forma automática y autónoma.

2.4. Método de cálculo combinado

El método que se ha empleado en este proyecto es una combinación de los dos explicados anteriormente. Se combina el uso de la **ET_o**, ajustada por coeficientes de eficiencia para cada alternativa, con el método directo de medición de variables en campo. La monitorización de la humedad del suelo y el seguimiento del estado paisajístico de la planta han permitido ir modificando los coeficientes **Kc**, **Kr** y **Kt** (correspondientes al cultivo, sistema de riego y técnica de jardinería) en función del estado vegetativo de la planta y de las reservas de agua en el suelo.

La **ET_o** expresa las necesidades hídricas provocadas por el clima a un cultivo de referencia. Aplicando a la **ET_o** diferentes coeficientes se calcula la dotación de riego teórica, a la cual se le incorporan además criterios de reservas de agua en el suelo. Como consecuencia del riego, se alcanza un nivel de humedad en el suelo que se pretende mantener dentro de un intervalo predeterminado que nos permitirá alcanzar un buen aspecto ornamental sin provocar un excesivo crecimiento. Para conseguir esta humedad objetivo se modifican los coeficientes, logrando así la realimentación del sistema.

En primer lugar se expone cómo se diseñó el experimento para alcanzar los objetivos marcados anteriormente, definiendo en este apartado los cultivos, sistemas de riego y técnicas jardineras que se han aplicado en el parque piloto. Las distintas opciones se eligieron siguiendo criterios de uso habitual en la Comunidad de Madrid y también otras posibles alternativas eficientes a estas primeras. A continuación, se presenta la concepción teórica del cálculo de las dotaciones de riego y por último se describe el índice jardinero.

2.4.1. Definición del experimento

2.4.1.1. Selección de las especies a estudiar

La selección de las especies a ensayar se hizo en función de un conjunto de criterios, de los cuales los principales fueron la extensión de su uso en los parques y jardines de la Comunidad de Madrid, un especial impacto en el consumo de agua o unas reducidas necesidades hídricas.

Se ensayaron cinco categorías de plantaciones:

1. Céspedes:
- Classic y Sahara
2. Arbustos:
- Fotínea, hebe, cornejo y atriplex
3. Árboles para formación de setos:
- Aligustre y leilandi
4. Tapizantes:
- Vinca, romero rastrero, hipérico y tomillo
5. Flores:
- Petunia y tajete

Finalmente se añadió una categoría de árboles.

Figura 4. Metodología. Césped, arbusto, seto, tapizante, flores y árboles



En las categorías de céspedes, árboles para formación de setos y flores se ensayaron dos especies o mezclas distintas, una de altas necesidades hídricas y otra de bajas necesidades.

En la categoría de arbustos y tapizantes, se ensayaron cuatro especies repartidas entre las de altas y bajas necesidades hídricas y con distintos portes.

2.4.1.2. Alternativas a aplicar sobre las especies

Cada cultivo se ensaya con distintas combinaciones de las otras variables: los sistemas de riego, las operaciones de mantenimiento del jardín y buenas prácticas de gestión.

Sistemas de riego

En la tabla 6 se puede ver cuales han sido los distintos sistemas de riego instalados para cada tipo de cultivo.

Tabla 6. Sistemas de riego aplicados según categoría de cultivo

Categoría	Sistema de riego
Céspedes	Aspersión Difusión Goteo enterrado Manual con manguera
Arbustos	Goteo Borboteo Goteo enterrado
Seto	Goteo Goteo enterrado
Tapizantes	Difusor Cinta exudante
Flores	Difusores Borboteo Goteo
Árboles ornamentales	Anillo de goteo Manual con manguera RWS (Sistema de riego en raíz)

Figura 5. Metodología, difusor, goteo, borboteador, cinta exudante y RWS



Dispositivos de automatización y control

Se calibró la eficiencia de los siguientes dispositivos de automatización y control:

- Programador de riegos.
- Pluviómetro-interruptor por lluvia.
- Control de la humedad del suelo: sensor de humedad e interruptor por humedad.

Figura 6. Programador, pluviómetro e interruptor por humedad



Los riegos de todas las parcelas del parque piloto se automatizaron mediante un programador manual, salvo aquellas regadas con manguera y un sensor de humedad.

Adicionalmente, en algunas parcelas se emplearon dispositivos de automatización y control como el pluviómetro-interruptor por lluvia y el sensor independiente basado en la humedad del suelo. El primer dispositivo consistía en un sistema que interrumpía el riego, de forma automática, si estaba lloviendo en el momento de tener que regar o si había llovido muy recientemente. La sonda de humedad independiente es un dispositivo con el que se puede interrumpir el riego automáticamente cuando la humedad del suelo alcanza un nivel predeterminado. En ambos casos se evitan riegos no aprovechables y/o innecesarios pues el suelo tiene suficiente humedad para el cultivo.

Para evaluar la eficiencia de estos dispositivos se compararon sus resultados con los de parcelas regadas de acuerdo a los criterios habituales de las empresas que gestionan los parques y jardines de Madrid, criterio llamado uso común. Adicionalmente, en dos parcelas se recurrió al riego con manguera por un jardinero, de modo que se pudiera estudiar la eficiencia de esta forma de regar.

Buenas prácticas de gestión y mantenimiento

Se ensayaron las siguientes prácticas de gestión y mantenimiento para la conservación y uso eficiente del agua o distintas combinaciones de ellas:

- Mejora de suelos.
- Utilización de abonos.
- Empleo de mulching y aplicación de retenedores de humedad y lluvia en el suelo.
- Altura de siega y criterios de poda.
- Programación y fraccionamiento de riegos.

2.4.1.3. Diseño experimental del ensayo

Dado el gran número de variables estudiadas en el ensayo, las parcelas no tenían repetición. Es decir, cada combinación de cultivo-sistema, de riego-técnica jardinera es única, salvo excepciones. Sin embargo el estudio de cada parámetro se hacía cruzando la información recogida en todas las parcelas donde se aplicaba esta variable. Por ejemplo, la información de cada cultivo se ha obtenido de parcelas con distintas técnicas jardineras o sistemas de riego, que a su vez se aplicaban a distintas especies.

Se ubicaron en la zona de estudio 60 parcelas en las que se plantaron 15 tipos de cultivos diferentes, clasificadas por categorías, dentro de las cuales se eligieron especies de altas y de bajas necesidades hídricas (ANH y BNH). La tabla 7 especifica el desglose del tipo de cultivos. La figura 8 muestra una vista de las parcelas 1 y 2. La aplicación de las alternativas introducidas sobre los cultivos, explicadas en el punto anterior, se detallan en la tabla 8. La selección de los sistemas de riego y técnicas de jardinería a implementar se hizo en función del cultivo correspondiente. Se seleccionaron aquellas cuya aplicación era razonable, mientras que se rechazaron otras, poco viables, como por ejemplo el riego de fotíneas con difusores, o el de césped con borboteadores.

Figura 7. Metodología, mulching 1, 2 y 3



Tabla 7. Lista de cultivos implantados en el parque piloto

Código	Categoría	Requerimientos hídricos	Especie	Nº de parcelas
T1	Césped	BNH	Sahara	3
T2	Césped	ANH	Classic	16
T3	Arbusto porte grande	ANH	Fotínea	10
T4	Arbusto porte pequeño	ANH	Hebes	3
T5	Arbusto porte grande	BNH	Cornus	1
T6	Arbusto porte pequeño	BNH	Atriplex	2
T7	Seto	ANH	Aligustre	4
T8	Seto	BNH	Leilandi	1
T9	Tapizante	ANH	Vinca	8
T10	Tapizante	BNH	Romero rastrero	2
			Tomillo	1
			Hipérico	1
T11	Flores	ANH	Tajete	4
T12	Flores	BNH	Petunia	2
T13	Árbol	---	Plátano	3

Figura 8. Vista general parcelas



Tabla 8. Alternativas ensayadas en el parque piloto

Plantación		Control humedad - Sonda TDT				Control uso general		Control de humedad - Sonda TDT						
		Sistema de riego			Goteo enterrado	Uso común	Int. lluvia	Int. humedad	Automatización y control					
Categoría	Especie de cultivo	Difusión	Aspersión	Goteo enterrado					Alternativas a ensayar					
Céspedes														
Classic	ANH	8 y 13	52	60	18	9	11	4	5	51	6	14, 15 y 16	3	7
Sahara	BNH	30	50	56										
Arbustos														
Fotinia	ANH porte alto	23, 26 y 34		36	1			55	32	53	54	59		
Hebe	ANH porte pequeño	45	49											
Cornejo	BNH porte alto	44												
Atriplex	BNH porte pequeño	57	43											
Seto														
Aligustre	ANH seto	35	33				2	24						
Leilandi	BNH seto	46												
Tapizantes														
Vinca	ANH	21, 31 y 40	58	47	42	12		41	Hipérico 28	Tomillo 39				
Romero	BNH	10	22											
Flores														
Tajete	ANH	20 y 29	38					19						
Petunia	BNH	17		25										
Árboles ornamentales														
Plátanos	---	48	37					27						

En las casillas se indica el número de identificación de las parcelas

2.4.2. Cálculo de la dotación de riego

El riego se calculó inicialmente a partir de la **ETo** de referencia, obtenida por el método de Penman, convertida en necesidades de cultivo a partir de valores de **Kc** encontrados en la bibliografía. Mediante el seguimiento de la humedad del suelo de las parcelas y el control del impacto de los riegos sobre las plantas a través de la estimación regular del índice jardinero se fueron ajustando las necesidades reales de los cultivos expresadas en las **ETc**. Como la **ETc** se puede relacionar con la **ETo** mediante un coeficiente **Kc**, los coeficientes iniciales fueron modificados para adaptar las dotaciones aportadas a las necesidades reales del cultivo.

ETc = ETo x Kc

Para el cálculo de las necesidades de riego, el valor de **ETc** se corrigió teniendo en cuenta además, los siguientes parámetros:

- La precipitación efectiva.
- El estado hídrico del suelo.
- La incorporación de factores de corrección por:
 - El rendimiento del sistema de riego.
 - La influencia de diversas técnicas jardineras: mulching, riego al sol, etc.

Las necesidades de riego teóricas se calculan de la siguiente forma:

NecTeo = ETc – (Pe + W)

Donde:

- Pe** es la precipitación efectiva.
- W** es la humedad acumulada en el suelo a las 00:00 de la noche anterior.

La fórmula empleada en el cálculo de las dotaciones de riego fue:

DotRieg = (ETo · Kc – Pe) · Kt / Kr = ETo · Kc · Kt / Kr

La segunda parte de la fórmula sirve para cuando no hay precipitación efectiva, que es lo habitual en las épocas de riego.

Donde:

DotRieg es la dotación de riego calculada.

NecTeo son las necesidades teóricas de agua del cultivo.

Kt es el coeficiente corrector por técnicas jardineras.

Kr es el coeficiente de corrección por la eficiencia del sistema de riego.

Kc es el coeficiente de la planta.

ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia.

2.4.2.1. Parámetros climáticos

Evapotranspiración de referencia o **ETo**

Es un concepto que proviene del estudio de la dinámica del agua en lisímetros que son equipos que permiten medir con precisión la evapotranspiración por diferencia entre el agua aportada y el agua perdida por infiltración. Se determinó mediante el estudio del consumo de agua de un cultivo de referencia utilizando un metro cuadrado de cebada, cortado a 10 centímetros de altura, cuyo consumo se midió para diferentes condiciones climáticas. A partir de estos datos se realizó un modelo matemático basado en parámetros climáticos:

- Temperatura media diaria del aire, (media entre las temperaturas máximas y mínimas).
- Humedad relativa media diaria (media entre la humedad relativa máxima y mínima).
- Horas de radiación (obtenida con un piranómetro).
- Recorrido diario del viento.

Y parámetros de localización de la zona de trabajo:

- Altitud sobre el nivel del mar.
- Latitud.

Con el advenimiento de las estaciones climatológicas automáticas y los datos en tiempo real, el modelo ha sido perfeccionado pudiendo obtenerse valores instantáneos de **ETo**.

Precipitación efectiva o **Pe**

Al producirse una precipitación, no toda la lluvia caída alcanza las profundidades donde se encuentran las raíces para incrementar lo que podríamos llamar “reserva de agua útil en el suelo”. Parte de esa agua no llega a penetrar en el suelo explorado por las raíces por dos razones:

- La evaporación del agua se produce en general cuando las lluvias son cortas y especialmente, después de un gran lapso de tiempo sin lluvias.
- La escorrentía superficial se produce cuando la precipitación es mayor que la tasa de infiltración del suelo. Sin embargo, para evitar al máximo este problema, las parcelas del parque piloto se nivelaron y cercaron con un reborde para retener el agua aportada a la misma dentro de sus límites.

Por otro lado, en el segundo caso parte de la lluvia caída infiltrará en el terreno, saturando los perfiles de suelo donde se encuentran las raíces, y proseguirá profundizando hasta salir del lugar donde están las raíces. Esta precipitación perdida por infiltración profunda tampoco será efectiva. Si bien su cálculo es difícil, para la mayoría de las lluvias del período estival no suele perderse agua por este motivo. De suceder, podría controlarse a través de los sensores de suelo instalados en algunas parcelas a mayor profundidad que las raíces.

2.4.2.2. Parámetros de las variables de estudio

El coeficiente de cultivo **Kc**

Es el parámetro mediante el cual se convierte el valor de **ET** del cultivo de referencia **ETo** a un valor adecuado a las circunstancias del cultivo del cual deseamos obtener la dotación de riego, el coeficiente **Kc** está limitado a:

- Un cultivo.
- Un estado vegetativo determinado.
- Incluso para una parcela concreta (diferente exposición al sol, viento, presencia de microclimas específicos, etc.).

Como se puede deducir de los criterios para determinar el valor de **Kc**, existe una alta dificultad para obtener un **Kc** apropiado y exacto al cien por cien. A lo largo de los meses de ensayo de este proyecto se ha ido ajustando este coeficiente hasta alcanzar valores razonables para cada cultivo en las condiciones de este ensayo.

En el caso del parque piloto, los valores **Kc** iniciales fueron los aportados por los técnicos expertos en jardinería, que los recopilaron de diversos estudios y experiencias llevadas a cabo en California (EEUU).

Kt y Kr Coeficientes que dependen de la técnica de jardinería ensayada o del sistema de riego

Por medio de estos parámetros se ajusta la **ETc** calculada mediante la **ETo** y la **Kc** para tener en cuenta la eficiencia de los sistemas de riego, de las técnicas jardineras o del mantenimiento del jardín. Estos coeficientes tienen valores entre 0 y 1.

Los valores inicial y final tanto de los coeficientes **Kt** y **Kr** como de **Kc** se presentan en el capítulo 4.4.

Como se ha comentado, la parte de metodología directa se aplica al ajuste de los coeficientes de eficiencia. Es decir, monitorizando las medidas de humedad y del índice jardinero recogidas en cada parcela, se modificaban los coeficientes en función del impacto de las dotaciones de riego, calculadas con los valores de los coeficientes vigentes en ese momento, sobre las reservas de agua en el suelo y el aspecto ornamental.

2.4.2.3. Parámetros de calibración

Para conseguir una correcta calibración de los ensayos y poder precisar el intervalo de humedad del suelo objetivo, fue preciso determinar los parámetros agronómicos de cada una de las parcelas.

Líneas agronómicas CC y PM y agua útil AU

Las líneas agronómicas son las que delimitan cual es el intervalo de agua útil para la planta, definido por un rango de porcentajes de humedad en el suelo, en función del terreno y de la planta. Por un lado, la capacidad de campo (**CC**) es el porcentaje de humedad que un suelo es capaz de retener. Dependerá, pues, de la composición, estructura y textura del mismo. Así, un suelo arcilloso, tendrá mayor capacidad de retención de agua y por tanto una capacidad de campo mayor.

Por otro lado, se define el punto de marchitez (**PM**) como el porcentaje mínimo de humedad en el suelo con el cual, la planta, aún es capaz de succionar agua del mismo para sus propias necesidades.

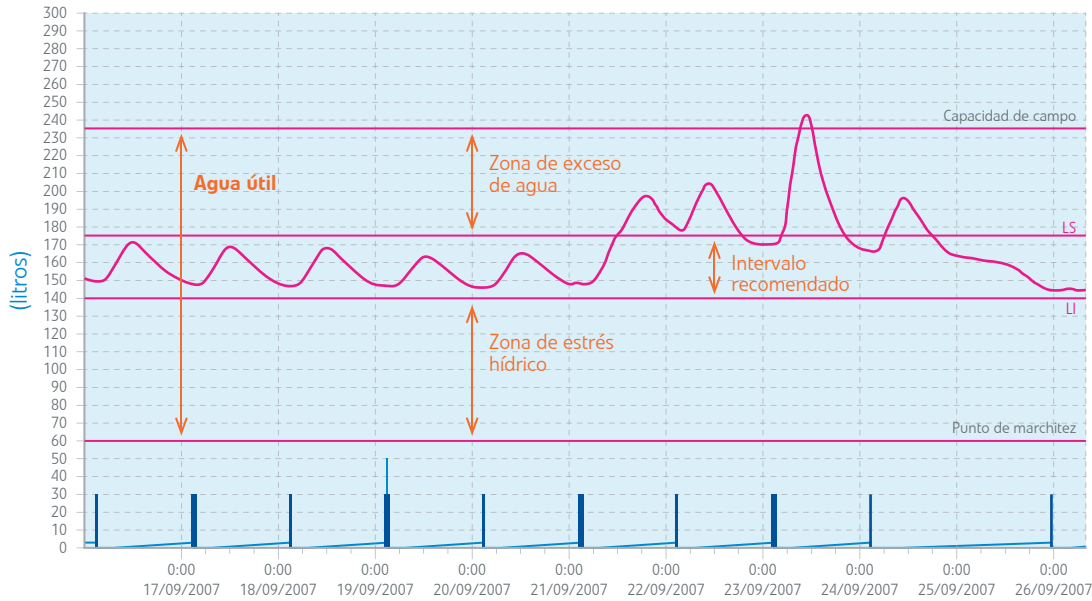
Se denomina agua útil (**AU**) a la cantidad de ésta que genera en el suelo una humedad dentro de las líneas de capacidad de campo y punto de marchitez. Por encima de la **CC** o por debajo del **PM** la planta no es capaz de sobrevivir, bien por asfixia de las raíces, o bien porque se seque.

Límite superior LS y límite inferior LI

Dentro de este intervalo de agua útil hay que distinguir entre tres zonas, la zona de estrés hídrico y la de exceso de agua, como límites inferior y superior respectivamente, y el intervalo recomendado o zona idónea. En la figura 9 se muestran claramente señaladas estas zonas.

Figura 9. Gráfico de zonas de humedad en el suelo

Parcela 34 - Fotínea - Goteo (referencia)



La zona de exceso de agua es una zona en la que hay un porcentaje elevado de humedad en el suelo. La planta gasta toda el agua que tiene disponible y esto se traduce en un gran crecimiento vegetativo. Sin embargo, para cumplir las funciones ornamentales de estas plantas no hace falta que generen tanta materia orgánica, por lo que es un gasto de agua innecesario. Además, este mayor crecimiento exige podas o siegas más frecuentes, encareciendo las labores de mantenimiento. Finalmente añadir, que los brotes frescos de las plantas son los más expuestos a enfermedades y ataques de, por ejemplo, pulgón. Por todo ello, este crecimiento extra puede ser en ocasiones perjudicial.

En el otro extremo está la zona de estrés hídrico. En esta zona la planta está sometida a una carencia de agua. Para soportarlo, una de las reacciones será la pérdida de follaje, perdiendo también con ello su valor ornamental. Además, una planta sometida a estrés hídrico está más expuesta a enfermedades puesto que es más débil.

Finalmente, se encuentra el intervalo de humedades recomendado, según el tipo de planta, que está acotado por el límite superior **LS** y por el límite inferior **LI**. En este intervalo, la planta está suficientemente regada pero no tiene un exceso de agua que le induzca a consumir de más. Los porcentajes de humedad de este intervalo dentro del de agua útil **AU** dependen, en gran medida, del tipo de planta y de sus necesidades hídricas. Este intervalo va variando, según el estado vegetativo de la planta lo que hace compleja su determinación.

W es el agua existente en el suelo, bien por encima, bien por debajo, de los umbrales deseados; puede ser, por exceso (signo positivo), o por defecto (signo negativo)

Este valor se obtiene después de definir los umbrales de punto de marchitez (**PM**) y capacidad de campo (**CC**) y de aplicar una serie de límites, **LS** y **LI**, a la cantidad de agua que deseamos que disponga nuestro cultivo (tanto por exceso, como por defecto).

El principal problema que aparece con el valor de **W**, al no estar los sensores calibrados, es que es difícil convertir el valor de exceso o defecto de agua en el suelo, considerado como valor porcentual de agua útil en el suelo, en milímetros de agua a regar más o menos. En el caso del parque piloto se intentó aplicar este factor de corrección mediante una sencilla fórmula que se incluía en la hoja de cálculo semiautomático de dotaciones de riego. Sin embargo, este parámetro no fue capaz de corregir, por sí solo, las desviaciones existentes.

Para el cálculo semiautomático de las dotaciones de riego para cada parcela, que se ha hecho, como mínimo semanalmente, se utilizó una hoja de cálculo. De esta forma, a partir de los datos de **ETo** recogidos, así como de la humedad medida en cada parcela, se pueden calcular las dotaciones de riego.

En los periodos de calibración de los coeficientes, la corrección introducida por la **W** en el cálculo de los riegos distorsionaba los resultados de utilizar los coeficientes. Por ese motivo, no se aplicó la corrección por **W** en esos periodos.

Una vez calibrados los ensayos y ajustados los valores de los coeficientes, la humedad del suelo quedaba dentro del rango deseado, por lo que **W** era nulo, pudiendo tomar valores positivos en el caso de precipitaciones.

2.4.3. Índice jardinero

El índice jardinero (**IJ**) es una medida directa, aunque subjetiva, del estado ornamental y de salud de las plantas. Proporciona una valoración de la reacción de la planta a sus condiciones de clima, riego, mantenimiento y suelo.

El contraste de esta herramienta con los valores medidos de humedad de suelo, proporciona una alerta causada por alguno de los siguientes motivos:

- Mal funcionamiento de algún elemento del parque, como el sistema de riego u otros.
- Aplicación de coeficientes imprecisos de las técnicas de cultivo para el cálculo de las dotaciones de riego.
- Mala definición de las líneas agronómicas.
- Errónea definición de los rangos objetivo de humedad.

Una vez comprobado que el mal aspecto ornamental, identificado con el índice jardinero, no era motivado por una errónea definición de las líneas agronómicas o por un mal funcionamiento de los elementos del riego o de los instrumentos de monitorización, se valoraba la conveniencia de modificar los rangos objetivo de humedad (si el **IJ** era óptimo y la humedad era estable pero fuera del rango) o cambiar los coeficientes de planta, de sistema de riego o de técnica de jardinería (si el **IJ** era elevado o bajo y la evolución de la humedad registrada era ascendente o descendente).

El índice jardinero **IJ** toma valores entre uno y cinco, donde el tres corresponde al estado ornamental óptimo objetivo y el uno y el cinco representan un excesivo estrés hídrico o una excesiva humedad y desarrollo vegetativo.

Para mitigar los efectos de la subjetividad inherente a la valoración visual de este parámetro, la determinación del valor era realizada siempre por las mismas personas que disponían de una fuerte especialización.

Durante el ensayo se realizaron medidas semanales del **IJ**.

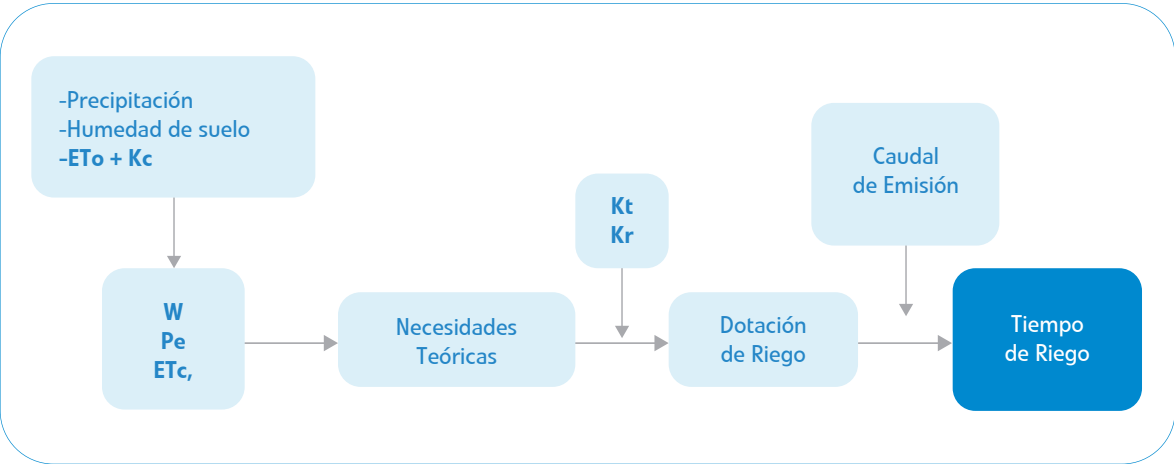
Con el análisis integrado del índice jardinero, la **ETo** y la medición de la humedad del suelo se pretendía tener en cuenta todos los factores que influían en el buen mantenimiento de los cultivos, siendo estos los climáticos, los de estado de la planta o los de la situación del suelo.

3

Desarrollo experimental

3.1. Cálculo de los tiempos de riego

Para el manejo de todos estos parámetros y coeficientes de eficiencia de plantas, sistemas de riego y técnicas jardineras se ha utilizado una hoja de cálculo con el esquema de funcionamiento que aquí se presenta.



Se recogían los datos necesarios de la parcela como eran la humedad del suelo, la **ETo** y precipitación. A partir de estos datos se calculaba:

- **Precipitación efectiva:** Se tiene en cuenta la precipitación caída en los últimos siete días, las pérdidas por evaporación, escorrentía y las pérdidas por infiltración profunda. Concretamente las pérdidas por evaporación tienen en cuenta que si en los días anteriores no ha llovido nada y la lluvia es pequeña, seguramente no llegue a calar hasta la zona de las raíces de la planta por lo que no será efectiva. De la misma forma, si las lluvias son torrenciales el suelo no será capaz de retener el agua para aportarlo a las raíces de la planta sino que se perderá por el subsuelo hasta capas impermeables.
- **ETo:** Como se ha comentado en un punto anterior, la **ETo** era calculada directamente en la estación meteorológica de acuerdo al método Penman. En este método se tienen en cuenta la velocidad del viento, la temperatura del aire y del suelo, la humedad relativa y la radiación solar.
- **ETc:** Multiplicando la **ETo** por la **Kc** del cultivo se obtiene la **ETc**, que es particular para cada cultivo.
- **W** o humedad acumulada en el suelo: Por medio de los datos aportados por los sensores y apoyados en las líneas agronómicas de **CC** y **PM**. Para calcular el valor de **W** se ponderaba cada punto porcentual de humedad deficitaria (por debajo del **LI**) o excedentario (por encima del **LS**) con un coeficiente. De esta forma, se hacía un cálculo de los milímetros que había que aportar de más o de menos a la parcela, en función del agua útil disponible en el suelo. Una vez que los coeficientes y el intervalo de humedad objetivo quedaban correctamente calibrados, la corrección por defecto o exceso de humedad era innecesaria.

A partir de todos estos datos iniciales, se calculaban las necesidades teóricas de riego de cada parcela, en milímetros por día. Esta es la cantidad de agua que la planta necesita para vivir, en condiciones ideales de sistema de riego o técnica jardinera. Sin embargo, la dotación de agua que la planta necesita no se corresponde con la cantidad de agua que hay que aportar, puesto que hay parte que no alcanza la zona radicular de las plantas y, por otro lado, respecto a las condiciones normales puede evitarse parte del consumo por evaporación o transpiración. Para corregir estas pérdidas o ahorros sobre la dotación ideal se multiplica o se dividen las necesidades hídricas por los coeficientes de eficiencia del sistema de riego **Kr** y de técnica jardinera **Kt**.

Tras todo este procedimiento se obtiene la dotación de riego. Este valor, medido en milímetros por día, es la cantidad de agua que hay que aportar a la parcela. Para calcular el tiempo de riego se divide esta dotación por el caudal real aportado por los emisores en toda la parcela que es controlado por caudalímetros. De este modo se obtiene un tiempo, que posteriormente hay que redondear a minutos completos, para poder introducirlo en el programador.

El error cometido en este método de cálculo procede fundamentalmente del redondeo del tiempo de riego. En riegos muy cortos, del orden de un minuto, el redondeo era del mismo orden que el riego en sí. De los ajustes de los diferentes coeficientes utilizados depende lo certero de la dotación.

3.2. Intervalo objetivo de humedad del suelo

Cada cultivo tiene una capacidad de succión que determina, junto con sus estrategias de gasto, sus necesidades hídricas y su resistencia frente al déficit hídrico. Por tanto, cada especie se encuentra cómoda con distintos porcentajes de humedad en el suelo. Por ejemplo, para las plantas muy resistentes será suficiente mantener la humedad en el suelo más bien baja, mientras que plantas menos resistentes necesitan porcentajes mayores de agua útil para mantener un adecuado estado paisajístico. Además, las plantas se acostumbran a la abundancia de agua gastando más mientras les es posible y viceversa.

Por ello hay que llegar a un punto de equilibrio donde la planta disponga de suficiente humedad pero sin resultar excesiva. Se establece un intervalo objetivo que cumpla esa condición de riego deficitario controlado.

En la bibliografía se han encontrado unos intervalos recomendables para las plantas en función de su caracterización respecto a las necesidades hídricas.

Estos fueron los intervalos aplicados:

Tabla 9. Intervalo recomendable de humedad según las necesidades hídricas (NH)

Necesidades hídricas	Intervalo
Altas necesidades hídricas	45 % - 65 % del intervalo PM-CC
Bajas necesidades hídricas	25 % - 45 % del intervalo PM-CC
Muy bajas necesidades hídricas	15 % - 35 % del intervalo PM-CC

PM: Punto de marchitez CC: Capacidad de campo

En la figura 9. Gráfico de zonas de humedad en el suelo (apartado 2.4.2.3.) se mostraban las distintas zonas de humedad y cómo afectan a la planta. Se puede ver la zona de estrés hídrico, donde se produce el cierre de estomas, la contracción del tronco y la parada del crecimiento, y la zona de exceso de agua, donde la planta gasta más, por la mayor accesibilidad que tiene al agua, favoreciendo un desarrollo vegetativo no deseado porque incrementa el consumo de recursos (agua y abono) y los costes de mantenimiento por siegas o podas.

3.3. Calibración de los coeficientes de eficiencia de plantas, sistemas de riego y técnicas jardineras

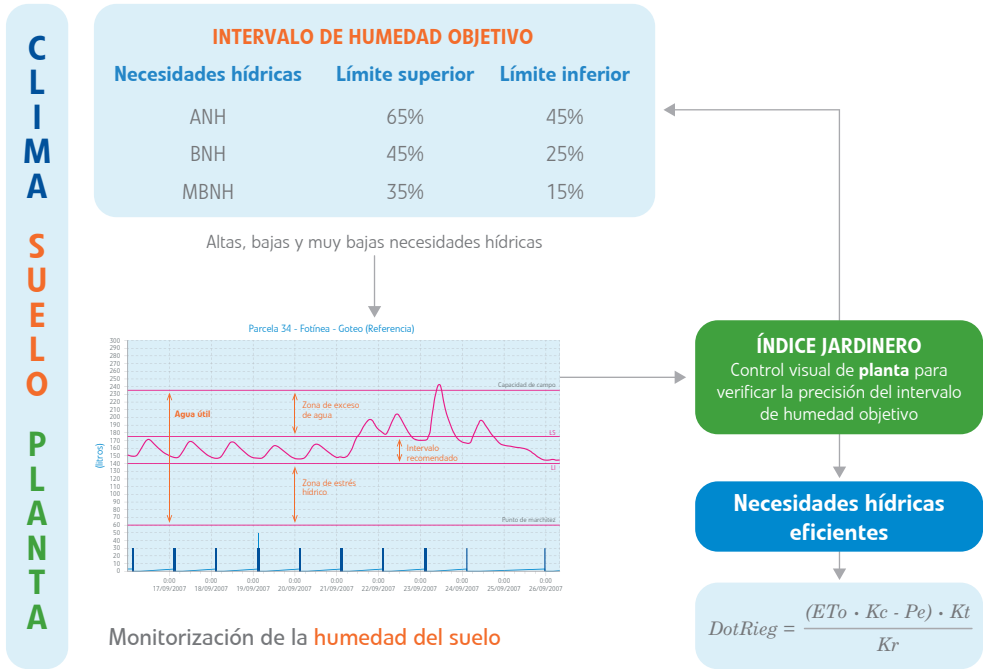
La calibración de la eficiencia de las variables estudiadas se realizó a través del seguimiento de medidas directas de clima, suelo y planta.

La monitorización y análisis de la humedad del **suelo** permitía determinar las necesidades hídricas eficientes que eran los riegos que estabilizaban la humedad del suelo, dentro del intervalo de humedad objetivo, (momento en el que se igualaban las dotaciones de agua aportada y el consumo de la planta).

El seguimiento del aspecto ornamental de las **plantas**, mediante la asignación del índice jardinero, servía para corroborar o redefinir el intervalo objetivo, ya que podía suceder que la humedad del suelo fuera estable y se mantuviese en el intervalo objetivo, pero la planta tuviera un aspecto ornamental indicador de exceso o déficit hídrico.

Una vez estimadas las necesidades hídricas eficientes, la monitorización del clima nos permitía calcular los coeficientes de eficiencia, que posteriormente nos servirían para calcular, de manera automática, las dotaciones eficientes de riego para los días siguientes a partir del clima, sin necesidad de realizar un análisis diario de la humedad del suelo.

Figura 10. Calibración de coeficientes de eficiencia



Los coeficientes de eficiencia relacionan las necesidades hídricas eficientes con el clima medido. Para desagregar entre el cultivo, el sistema de riego y la técnica jardinera la eficiencia calculada como relación entre las necesidades hídricas eficientes y la **ET_o**, se seguía un proceso de aproximaciones sucesivas analizando, para cada variable, todas las parcelas en las que se ensayaba. Por ejemplo, los valores asignados a los **K_c** y **K_r** del césped Classic y del goteo enterrado debían validar las dotaciones de riego eficientes, estimadas en la parcela de césped Classic, regado con goteo enterrado y, al mismo tiempo, validar las dotaciones eficientes de todas las parcelas con ese tipo de pradera y con ese tipo de riego, en combinación con coeficientes de otras alternativas de riego para el césped u otras alternativas de cultivo para el goteo enterrado.

Durante el periodo de estudio, las modificaciones de los coeficientes se hicieron cada cuatro días, coincidiendo con los cálculos de riego.

En los capítulos siguientes se presentan, en detalle, los valores iniciales y finales, una vez calibrados, de los coeficientes de eficiencia.

Una vez evaluados los coeficientes de eficiencia, utilizando métodos directos, los coeficientes se aplican en los métodos indirectos para determinar a partir de la **ET_o** las dotaciones de riego de una zona de un jardín, caracterizada por la especie, el sistema de riego y la técnica jardinera utilizada, que son las variables incluidas en cada ensayo.

4

Resultados y análisis

4.1. Identificación de los ensayos

Las alternativas ensayadas en cada parcela se definen por una combinación de las siguientes variables estudiadas: especie de cultivo, sistema de riego, técnica jardinera o dispositivo de automatización y control.

La presentación de los resultados de cada alternativa ensayada se realiza en tablas. El indicativo de cada una muestra las variables de la parcela. La tabla 10 refleja las combinaciones posibles.

Tabla 10. Combinación de variables para el diseño de alternativas

Categoría	Riego	Técnicas
Césped ANH	Aspersión Difusor Borboteador RWS Goteo Goteo enterrado Cinta exudante Manual con manguera	Reciclador y altura de siega Fraccionamiento del riego Micorrizas Retenedor Acolchado 1 Acolchado 2 Acolchado 3 Pluviómetro - Interruptor lluvia Sensor de humedad Uso común
Césped BNH		
Árbol		
Arbusto grande ANH		
Arbusto grande BNH		
Seto ANH		
Seto BNH		
Arbusto pequeño ANH		
Arbusto pequeño BNH		
Tapizante ANH		
Tapizante BNH		
Tapizante BNH - Tomillo		
Tapizante BNH - Hipérico		
Flor ANH		
Flor BNH		

ANH: Altas necesidades hídricas BNH: Bajas necesidades hídricas

4.2. Periodo de estudio

El periodo en el que se ha procedido a la evaluación de la eficiencia de las variables de estudio, a través de los coeficientes, fue el comprendido entre el 15 de junio y el 30 de septiembre de 2007. Dada la mayor dinámica del agua en el suelo en estas fechas por las elevadas necesidades hídricas de las plantas, el ajuste de los coeficientes resultaba más efectivo que en periodos primaverales y otoñales.

4.2.1. Clima en el periodo de estudio

La precipitación total producida durante el período de trabajo fue de 58,2 milímetros, prácticamente igual (65 milímetros) a las precipitaciones medias, de este periodo, registradas en Madrid, en la serie 1970-2000. De ellos se han considerado efectivos **Pe**¹= 33,7 milímetros. Excepto en la segunda mitad de septiembre (con una precipitación efectiva de 22,2 milímetros de un total de 26,8 caídos) las lluvias fueron aisladas y de poca importancia.

La **ETo** total entre el 15 de junio y el 30 de septiembre, fue de 790,31 milímetros, es decir, que las necesidades evapotranspirativas medias provocadas por el clima fueron unos 7,32 milímetros por día. En este mismo periodo, la media de los valores de las estaciones meteorológicas del SIAR (sistema de información agroclimática para el regadío) situadas en San Fernando de Henares, Villar del Prado y Aranjuez fue de 5,43 milímetros por día. Esta diferencia se explica por la ubicación del parque piloto en una zona ventosa.

La temperatura y humedad relativa del aire y radiación solar estuvieron acordes a lo esperable en una localización de estas características. En resumen, la situación climática detallada estuvo compuesta por:

- Fuertes variaciones de la temperatura diaria, en torno a 10 grados.
- Máximas de temperatura de 35°C continuadas durante varios días.
- Humedades relativas muy bajas, por lo general. Salvo en días lluviosos lo normal es que no se superase el valor del 60 por ciento, estando muchos días por debajo del 50 por ciento, especialmente durante agosto.
- El patrón de temperaturas y humedades relativas cambió bruscamente a partir del 13 de septiembre, pasando a tener días más frescos, con máximas de hasta 26°C, a veces de sólo 18°C, incluso dándose, un día, una máxima de, tan sólo 15°C. Las humedades relativas con mínimas del 40 por ciento para varios días.
- Valores de radiación que muestran una muy baja nubosidad.
- La velocidad de viento muestra que la zona es algo ventosa, con valores diarios que muestran que en general no hay periodos de viento calmado y existe una brisa continuada durante todo el día.
- Existen patrones en la dirección del viento. Vientos desde el suroeste, durante las horas de luz solar y predominantemente, desde el noreste durante las horas de noche.

¹ La explicación del cálculo de la precipitación efectiva se vio en el capítulo anterior.

4.2.2. Periodos de calibración

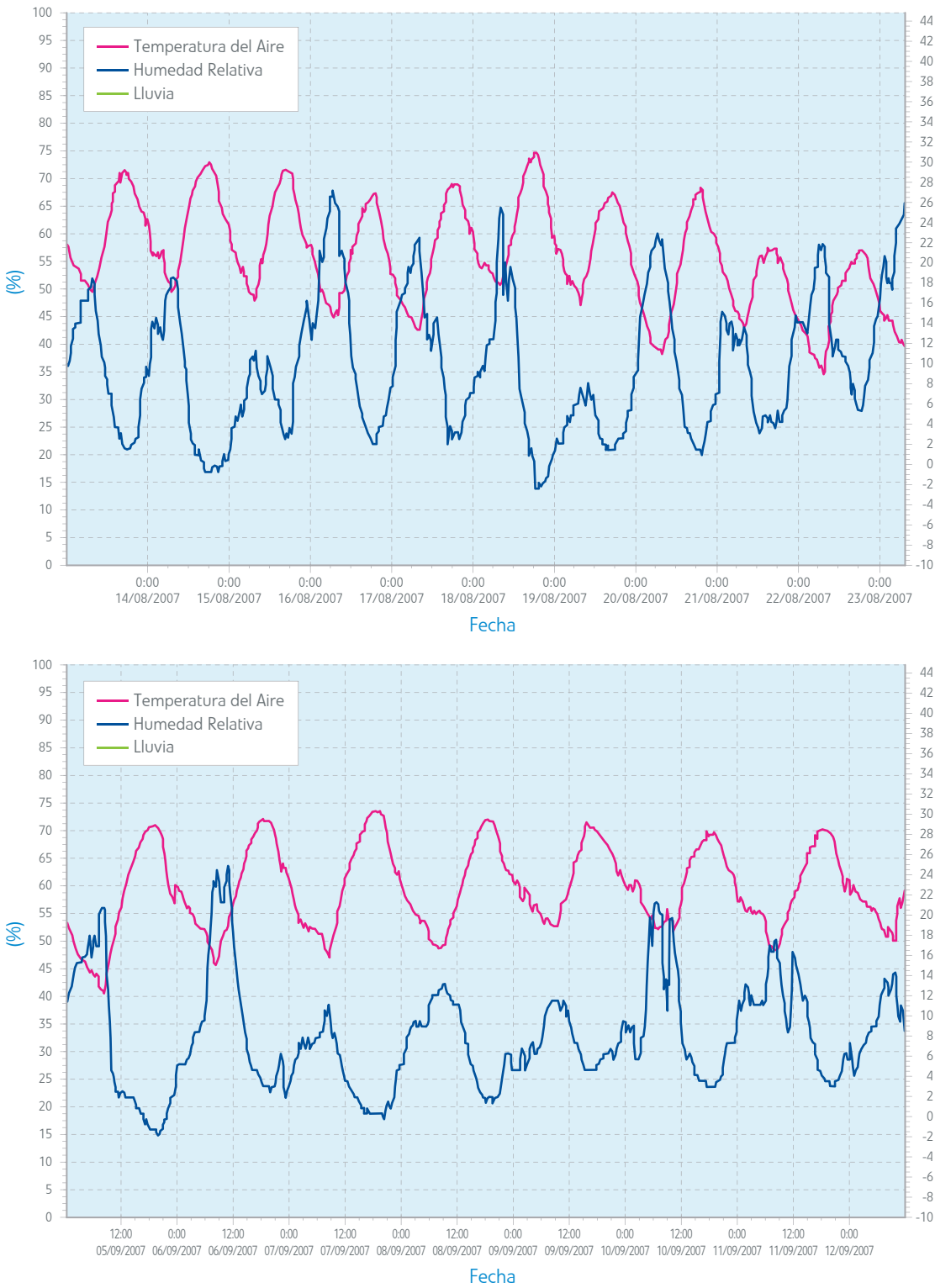
Dentro del periodo de estudio, las fechas elegidas para la calibración de la eficiencia, mediante el estudio de los volúmenes de agua aportados a cada parcela, se restringió a periodos que cumplieran unas condiciones climáticas estables, que permitieran el análisis de la evolución de la humedad del suelo sin interferencias meteorológicas y el encaje y mantenimiento de los valores de humedad del suelo en el entorno del intervalo óptimo. De este modo, los volúmenes de agua aportados se correspondían con las demandas de agua de cada parcela. Los periodos de calibración fueron desde el 13 al 23 de agosto y del 5 al 12 de septiembre.

Durante estos periodos las condiciones meteorológicas fueron las siguientes:

- No hubo precipitaciones.
- Los días fueron soleados con vientos moderados.
- La **ETo** del periodo 1º (13/08 al 23/08) fue 85,83 milímetros, lo que hace una media de 7,80 mm/día.
- La **ETo** del periodo 2º (05/09 al 12/09) fue 57,28 milímetros, lo que hace una media de 7,16 mm/día.

A continuación se muestran la gráfica de humedad y temperatura de los periodos de calibración.

Figura 11. Datos de lluvia, HR y temperatura en los periodos de calibración (13/08/07 - 23/08/07 y 05/09/07 - 12/09/07)



4.3. Consumo de agua por parcela

Se monitorizó el consumo de agua de cada parcela con el fin de controlar la aplicación de las dotaciones de riego. Una de las primeras sorpresas identificadas fue que los caudales reales de los emisores diferían, en bastantes casos, de los publicados en las especificaciones técnicas por los fabricantes, especialmente en el caso de los difusores.

Como se ha comentado en el apartado 4.2. *Periodo de estudio*, los datos correspondientes a los volúmenes de agua aportados a cada parcela se controlaron especialmente en los dos periodos de calibración, donde se daban las condiciones adecuadas resumidas en que los sistemas de riego estaban debidamente aforados, las gráficas de humedad se mantenían constantes y la climatología estable. Estos periodos se aprovecharon para calibrar la eficiencia en el uso del agua de los cultivos (**Kc**), de los sistemas de riego (**Kr**) y de las técnicas de jardinería (**Kt**), a partir de la evaluación de las necesidades hídricas eficientes y de su relación con la **ETo**.

4.4. Parámetros que caracterizan las parcelas

A continuación se presentan en la tabla 11 los porcentajes de humedad en el suelo, para cada parcela, correspondientes al punto de marchitez (**PM**) y a la capacidad de campo (**CC**). El intervalo comprendido entre ambos valores es el agua útil o rango de humedad aprovechable por las plantas. También se muestran los límites superior (**LS**) e inferior (**LI**) de porcentaje de humedad, que acotan el intervalo objetivo, donde las condiciones de humedad provocan un consumo de la planta óptimo desde la óptica de la eficiencia en el uso del agua.

La capacidad de campo (**CC**) de cada parcela se determinó analizando el gráfico de humedad del suelo que produce una precipitación suave y prolongada. Una vez que la lluvia cesa, la humedad del suelo, que estaba en equilibrio en su nivel de saturación, se reduce con una pendiente muy fuerte que se modera bruscamente. En el punto de inflexión de la pendiente se establece la **CC**.

La determinación del punto de marchitez (**PM**) requiere llevar las plantas a una situación de fuerte estrés hídrico sin llegar a la muerte de la planta.

Según se aprecia en la tabla 11, los valores del **PM** son muy homogéneos; mientras que los de **CC** tienen más variabilidad. Esto es debido, en parte, a que, aunque ambos valores se determinan empíricamente, el riesgo de aplicación del fenómeno observado es distinto. La **CC** de cada parcela se define observando una lluvia moderada y duradera, por lo que su determinación individual es sencilla. Sin embargo, la determinación del punto de marchitez requiere llevar las plantas a una situación de fuerte estrés hídrico que puede hacer que las plantaciones se pierdan o sufran daños parciales en su desarrollo vegetativo, lo que implica un riesgo, sólo asumible con un seguimiento exhaustivo. En el proyecto se calculó el **PM** de algunas parcelas, el resto se estimó en el 20 por ciento. Según se refleja en la tabla 11 era, aproximadamente, el valor medio de los **PM** calculados experimentalmente.

Tabla 11. Líneas agronómicas de todas las parcelas en el periodo de estudio

Parcela	Alternativa	CC	PM	AU	LS	LI
1	Fotínea / Goteo	34,5	20,0	14,5	29,43	26,53
2	Aligustre / Goteo / Humedad	30,0	16,5	13,5	25,28	22,58
3	Classic / Hidrante	37,0	20,0	17,0	31,05	27,65
4	Classic / Difusor / Altura siega	37,2	18,0	19,2	30,48	26,64
5	Classic / Difusor / Fraccionar riegos	37,1	18,0	19,1	30,42	26,60
6	Classic / Difusor / Micorriza	37,1	22,0	15,1	31,82	28,80
7	Classic / Difusor	37,5	22,0	15,5	32,08	28,98
8	Classic / Difusor	36,9	19,0	17,9	30,64	27,06
9	Classic / Difusor / Lluvia	39,2	18,5	20,7	31,96	27,82
10	Cotoneaster / Difusor	41,1	22,7	18,4	30,98	27,30
11	Classic / Difusor / Humedad	34,0	16,0	18,0	27,70	24,10
12	Vinca / Difusor / Lluvia	45,6	20,0	25,6	36,64	31,52
13	Classic / Difusor	36,7	18,8	17,9	30,44	26,86
14	Classic / Difusor	38,0	17,5	20,5	30,83	26,73
15	Classic / Difusor	35,6	20,0	15,6	30,14	27,02
16	Classic / Difusor	36,4	21,0	15,4	31,01	27,93
17	Petunia / Difusor	32,9	13,0	19,9	21,96	17,98
18	Classic / Difusor	34,7	22,7	12,0	30,50	28,10
19	Tagete / Difusor / Fraccionar riegos	39,0	20,0	19,0	32,35	28,55
20	Tagete / Difusor	26,8	13,9	12,9	22,29	19,71
21	Vinca / Difusor	34,5	20,0	14,5	29,43	26,53
22	Cotoneaster / Goteo	36,8	20,0	16,8	27,56	24,20
23	Fotínea / Goteo / Hidrorretenedores	35,0	21,3	13,7	30,21	27,47
24	Aligustre / Goteo / Pino	34,0	20,0	14,0	29,10	26,30
25	Petunia / Goteo	34,0	20,0	14,0	26,30	23,50
26	Fotínea / Goteo	38,1	20,0	18,1	31,77	28,15
27	Árbol / Hidrante / Corteza pino	39,1	20,0	19,1	32,42	28,60
28	Hipérico / Difusor	35,0	18,0	17,0	25,65	22,25
29	Tagete / Difusor	36,0	16,5	19,5	29,18	25,28
30	Sahara / Difusor	37,2	14,3	22,9	21,17	18,88
31	Vinca / Difusor	37,0	20,0	17,0	31,05	27,65
32	Fotínea / Goteo / Micorriza	36,9	20,0	16,9	30,99	27,61
33	Aligustre / Goteo	35,8	20,0	15,8	30,27	27,11
34	Fotínea / Goteo	34,6	20,0	14,6	29,49	26,57
35	Aligustre / Goteo enterrado	35,9	20,0	15,9	30,34	27,16
36	Fotínea / Goteo enterrado	34,3	20,0	14,3	29,30	26,44

CC: Capacidad de campo; PM: Punto de marchitez; AU: Agua útil; LS: Límite superior; LI: Límite inferior

Continúa en página siguiente...

Tabla 11. Continuación

Parcela	Alternativa	CC	PM	AU	LS	LI
37	Árbol / RWS	31,4	15,8	15,6	25,94	22,82
38	Tagete / Borboteo	41,0	20,0	21,0	33,56	29,45
39	Tomillo / Difusor	36,8	12,0	24,8	19,44	16,96
40	Vinca / Difusor	35,1	20,0	15,1	29,82	26,80
41	Vinca / Difusor / Fraccionar riego	35,3	20,0	15,3	29,95	26,89
42	Vinca / Difusor	34,4	27,2	7,2	31,88	30,44
43	Atriplex / Borboteo	28,7	13,0	15,7	17,71	16,14
44	Cornejo / Goteo	34,0	20,0	14,0	26,30	23,50
45	Hebe / Goteo	36,5	20,0	16,5	30,73	27,43
46	Leilandi / Goteo enterrado	34,5	20,0	14,5	26,53	23,63
47	Vinca / Cinta exudante	33,5	20,0	13,5	28,78	26,08
48	Ábol / Goteo	34,8	25,0	9,8	31,37	29,41
49	Hebe / Borboteo	42,2	20,0	22,2	34,43	29,99
50	Sahara / Aspersión	36,8	18,0	18,8	23,64	21,76
51	Classic / Aspersión	35,3	20,0	15,3	29,95	26,89
52	Classic / Aspersión	36,4	18,0	18,4	29,96	26,28
53	Fotínea / Goteo / Grava / Geotextil	36,7	20,0	16,7	30,86	27,52
54	Fotínea / Goteo / Pino / Arena	37,0	20,0	17,0	31,05	27,65
55	Fotínea / Goteo	36,0	20,0	16,0	30,40	27,20
56	Sahara / Goteo enterrado	35,6	19,0	16,6	23,98	22,32
57	Atriplex / Goteo	27,5	18,4	9,1	21,13	20,22
58	Vinca / Goteo	35,0	20,0	15,0	29,75	26,75
59	Fotínea / Goteo	35,0	20,7	14,3	30,00	27,14
60	Classic / Goteo enterrado	36,0	20,0	16,0	30,40	27,20

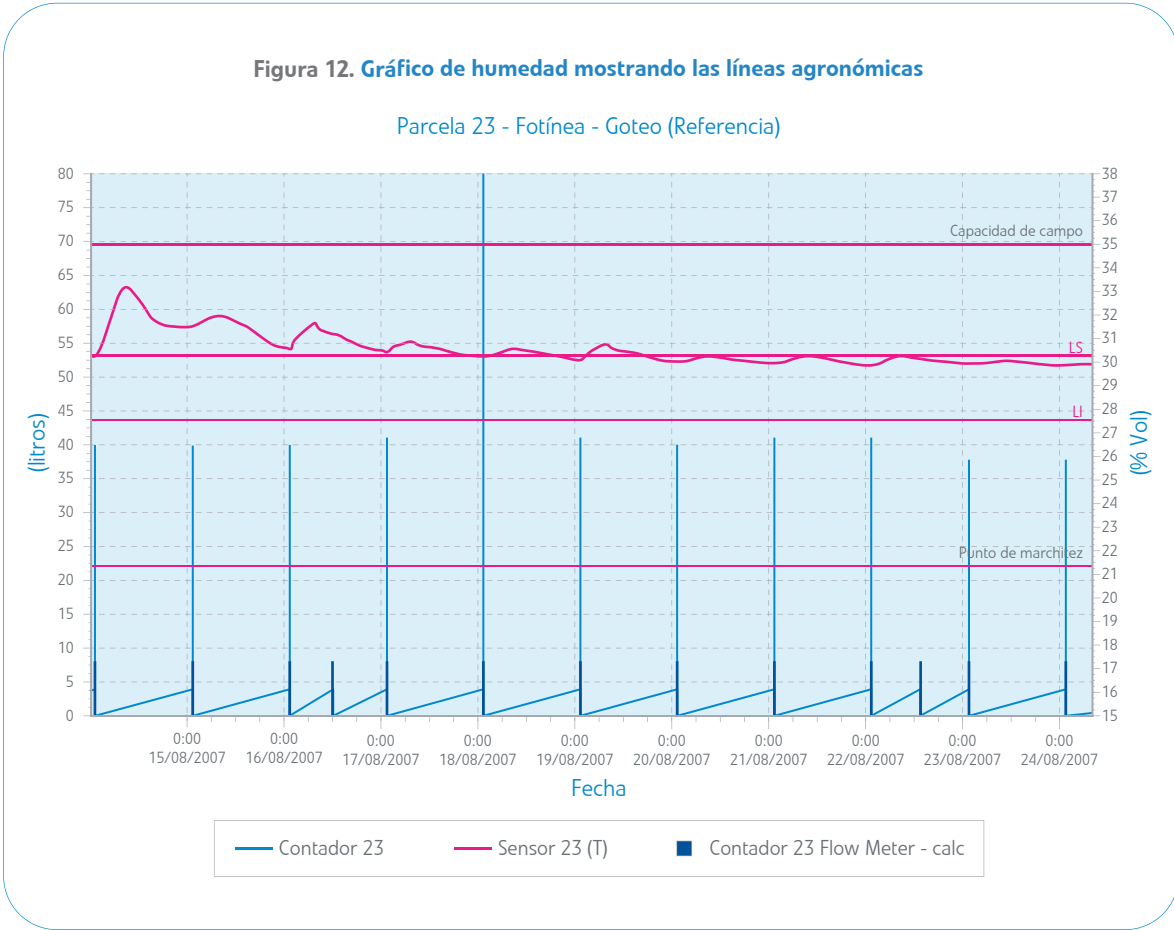
CC: Capacidad de campo; PM: Punto de marchitez; AU: Agua útil; LS: Límite superior; LI: Límite inferior

Tabla 12. Estudio estadístico de los valores de CC y PM

Estadístico	CC	PM
Media	35,78	19,28
Desviación típica	3,06	2,59
Máximo	45,60	27,20
Mínimo	26,80	12,00

La evaluación de todos los puntos de marchitez permitiría desarrollar estrategias de riego para periodos de sequía con el objetivo de supervivencia de las plantas, asumiendo la posibilidad de que sufran deterioro de su calidad estética.

En la figura 12 se observan estas líneas sobre el gráfico de humedad de una parcela cualquiera. Como ya se ha explicado en el capítulo correspondiente, los límites entre los que se trataba de mantener la humedad del suelo para cada parcela, dependían de las necesidades hídricas de cada cultivo. De esta, manera, para los cultivos con mayores necesidades hídricas (ANH), este intervalo se encontraba entre el 45 y 65 por ciento del agua útil. Para los de bajas necesidades hídricas (BNH), entre 25 y el 45 por ciento. Para los cultivos de muy bajas necesidades hídricas, el intervalo fluctúa entre el 15 y el 35 por ciento.



4.5. Eficiencia de las variables ensayadas

Una vez parametrizadas las parcelas experimentales con las líneas agronómicas y los intervalos objetivos, se evaluó la eficiencia en el uso del agua de los cultivos, sistemas de riego y técnicas de jardinería.

Al inicio de la experimentación se estimaron las dotaciones de riego utilizando coeficientes de eficiencia de la bibliografía y durante el proyecto se fueron ajustando mediante la monitorización de la humedad del suelo de cada parcela, persiguiendo que la humedad del suelo convergiera hacia el intervalo objetivo descrito anteriormente.

El análisis para el ajuste y calibración de los valores de eficiencia se realizó utilizando parámetros monitorizados en continuo de clima y de suelo, y comprobaciones periódicas del aspecto ornamental de las plantas, de acuerdo con la metodología indicada en el capítulo 2.

En la tabla 13 se muestran los valores de eficiencia iniciales y finales de las plantas de jardinería.

Tabla 13. Valores de las constantes de cultivo iniciales y definitivas

Cultivo	Valor coeficiente de cultivo Kc (inicial)	Valor coeficiente de cultivo Kc (definitivo)
Césped ANH - Classic	0,80	0,70
Césped BNH - Sahara	0,30	0,65
Árbol - Falso plátano	0,60	0,50
Arbusto grande ANH - Fotínea	0,50	0,40
Arbusto grande BNH - Cornus	0,20	0,35
Seto ANH - Aligustre	0,50	0,60
Seto BNH - Leilandi	0,40	0,60
Arbusto pequeño ANH - Hebe	0,50	0,50
Arbusto pequeño BNH - Atriplex	0,10	0,25
Tapizante ANH - Vinca	0,50	0,45
Tapizante BNH - Romero rastrero	0,20	0,25
Tapizante BNH - Tomillo	-	0,40
Tapizante BNH - Hipérico	-	0,30
Flor ANH - Tajete	0,50	0,55
Flor BNH - Petunia	0,20	0,55

Figura 13. Resultados atriplex



En la tabla 14 se detallan los coeficientes de eficiencia para cada sistema de riego. Estos coeficientes se fijaron en la parte inicial del ensayo y después no fue necesario modificarlos, salvo en el caso del riego por difusores. El cambio del coeficiente de los difusores pudo deberse a la deriva de los mismos por efecto del viento.

Tabla 14. Valores de los coeficientes de eficiencia de los distintos sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia inicial	Eficiencia definitivo
Aspersión	0,75	0,75
Difusor	0,80	0,75
Borboteador	0,85	0,85
RWS	0,95	0,95
Goteo	0,90	0,90
Goteo enterrado	0,95	0,95
Cinta exudante	0,90	0,90
Manual con manguera	-	0,95

Figura 14. Riego localizado con cinta exudante



De la misma manera, en la tabla 15 se presentan los datos sobre los valores calculados para las distintas técnicas jardineras aplicadas en las parcelas. En este caso, no se aplicaron *a priori* factores de eficiencia, al no estar descritos en la bibliografía.

Tabla 15. Coeficientes de las técnicas jardineras

Técnica jardinera	Coeficiente aplicado
Reciclador y altura de siega	0,80
Fraccionamiento del riego	0,95
Micorrizas	0,80
Retenedor	0,80
Acolchado 1: Geotextil + cortezas de pino	0,80
Acolchado 2: Geotextil + grava	0,75
Acolchado 3: Geotextil + grava + cortezas de pino	0,70

El análisis de estos resultados se refleja en el apartado 4.8.

4.6. Índice jardinero (IJ)

La salud de las plantas depende principalmente de mantener la planta lo suficientemente abastecida de agua. Para alcanzar este objetivo las dotaciones de riego aplicadas al jardín deben ser suficientes, pero no excesivas. Otros aspectos importantes a considerar serían que el sistema de riego proporcione un reparto homogéneo de agua, evitando encharcamientos o zonas resacas, y las labores de jardinería como eliminación de malas hierbas y cuidado de la superficie del suelo.

El índice jardinero (IJ) describe, a través de un valor numérico, el aspecto ornamental de las plantas. Una vez descartado el mal funcionamiento de los sistemas de riego, otros problemas derivados de las labores de mantenimiento o una mala definición de los intervalos objetivo de humedad del suelo, el aspecto ornamental depende del adecuado balance entre las necesidades de agua generadas por el clima y el agua aportada por el riego.

Junto a la monitorización de la humedad del suelo, el índice jardinero permitió analizar si los coeficientes de eficiencia con los que se determinaban las dotaciones de riego eran correctos o no; es decir, si aportaban las necesidades hídricas eficientes. Para ello, los IJ debían ser estables y tener un valor de 3. A lo largo de la mayor parte del ensayo estos índices se asignaban semanalmente; en los periodos de calibración de la eficiencia se asignaron con mayor frecuencia.

La tabla 16 recoge los índices, para cada parcela, durante el periodo de calibración.

Tabla 16. Índice jardinero de todas las parcelas en el periodo de calibración

Parcela	Alternativa	13-ago	16-ago	20-ago	23-ago	06-sep	10-sep
1	Fotínea / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
2	Aligustre / Goteo / Humedad	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
3	Classic / Hidrante	3,0	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0
4	Classic / Difusor / Altura siega	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
5	Classic / Difusor / Fraccionar riegos	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
6	Classic / Difusor / Micorriza	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5
7	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
8	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5
9	Classic / Difusor / Lluvia	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10	Cotoneaster / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
11	Classic / Difusor / Humedad	2,5	3,0	3,0	2,5	3,0	2,5
12	Vinca / Difusor / Lluvia	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
13	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5
14	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
15	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5
16	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
17	Petunia / Difusor	3,5	3,5	4,0	3,0	3,0	4,0

Continúa en página siguiente...

Tabla 16. Continuación

Parcela	Alternativa	13-ago	16-ago	20-ago	23-ago	06-sep	10-sep
18	Classic / Difusor	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
19	Tagete / Difusor / Fraccionar riegos	4,0	3,5	3,0	2,0	2,5	3,0
20	Tagete / Difusor	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
21	Vinca / Difusor	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
22	Cotoneaster / Goteo	3,0	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0
23	Fotínea / Goteo / Hidrorretenedores	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
24	Aligustre / Goteo / Pino	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
25	Petunia / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
26	Fotínea / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
27	Árbol / Hidrante / Corteza pino	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,5
28	Hipérico / Difusor	2,5	3,0	3,5	2,0	3,0	3,0
29	Tagete / Difusor	3,5	3,5	3,5	2,0	3,0	3,0
30	Sahara / Difusor	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0	3,0
31	Vinca / Difusor	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
32	Fotínea / Goteo / Micorriza	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
33	Aligustre / Goteo	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0
34	Fotínea / Goteo	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
35	Aligustre / Goteo enterrado	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0
36	Fotínea / Goteo enterrado	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
37	Árbol / RWS	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0
38	Tagete / Borboteo	4,0	3,5	3,5	4,0	3,0	3,0
39	Tomillo / Difusor	2,5	2,5	3,0	2,0	2,0	2,5
40	Vinca / Difusor	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
41	Vinca / Difusor / Fraccionar riego	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
42	Vinca / Difusor	4,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0
43	Atriplex / Borboteo	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
44	Cornejo / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
45	Hebe / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
46	Leilandi / Goteo enterrado	3,0	3,5	4,0	4,0	3,0	3,0
47	Vinca / Cinta exudante	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
48	Árbol Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0
49	Hebe / Borboteo	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
50	Sahara / Aspersión	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
51	Classic / Aspersión	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
52	Classic / Aspersión	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
53	Fotínea / Goteo / Grava + geotextil	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
54	Fotínea / Goteo / Pino + arena	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
55	Fotínea / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Continúa en página siguiente...

Tabla 16. Continuación

Parcela	Alternativa	13-ago	16-ago	20-ago	23-ago	06-sep	10-sep
56	Sahara / Goteo enterrado	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0
57	Atriplex / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
58	Vinca / Goteo	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
59	Fotínea / Goteo	3,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
60	Classic / Goteo enterrado	2,5	3,0	2,5	2,5	3,0	2,5

Durante el periodo de estudio la mayoría de las parcelas resultaron muy estables, tomando valores del índice jardinero óptimos (valor 3) o muy cercanos en casi todos los casos.

Las parcelas con valores de IJ distintos del óptimo se analizaban para corregir el funcionamiento de los sensores de humedad del suelo o de los contadores, averías del sistema de riego, problemas de homogeneidad en la distribución superficial dentro de la parcela y otros derivados de la experimentación. Descartados estos problemas, se recalibraba la eficiencia de los factores o se ajustaba el intervalo objetivo de humedad en el suelo, modificando los porcentajes de agua útil o recalculando las líneas agronómicas.

Los malos resultados del índice jardinero del primer periodo fueron corregidos, en su gran mayoría, en el segundo periodo, gracias al ajuste de los coeficientes de eficiencia. Aún así, en el segundo periodo, siete parcelas presentan desviaciones del IJ, indicativas de ajustes pendientes que no fue posible afinar en el periodo de calibración. Por ejemplo, las tres parcelas de árboles con pocos ejemplares plantados resultaban difíciles de calibrar por tener volúmenes de riego muy pequeños, que se traducían en riegos poco precisos al tener que redondearse a minutos completos.

4.7. Coste de cada alternativa y dotaciones de riego

En la tabla 17 se detallan las características estudiadas por metro cuadrado para cada una de las alternativas:

- Las dotaciones anuales.
- El ahorro de agua respecto a una pradera de césped Classic regada por aspersión o difusión.
- Los costes de implantación y mantenimiento de planta, sistema de riego y técnica de jardinería en los 10 años que se estima su vida útil.
- Los costes del agua de riego durante esos 10 años.
- La suma de costes.

Estos valores se calculan a partir de los coeficientes obtenidos en el proyecto, de acuerdo con el método descrito en el anexo 1: “Cálculo de dotaciones de riego y costes”.

Tabla 17. Costes de cada alternativa y dotación eficiente

Parcela	Alternativa	Dotación	Ahorro	Costes de	Costes de	Costes	Costes
		l / año m²	frente a césped con difusores l / año m²	implantación € / m²	mantenimiento a 10 años € / m²	de agua en 10 años € / m²	totales en 10 años € / m²
1	Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
2	Aligustre / Goteo / Humedad	601	240	40,48 €	24,96 €	14,43 €	79,86 €
3	Classic / Hidrante	664	177	3,61 €	67,24 €	15,95 €	86,80 €
4	Classic / Difusor / Altura siega	673	168	11,93 €	75,56 €	16,16 €	103,65 €
5	Classic / Difusor / Fraccionar riegos	800	42	11,93 €	75,56 €	19,19 €	106,68 €
6	Classic / Difusor / Micorriza	673	168	12,38 €	75,56 €	16,16 €	104,10 €
7	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
8	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
9	Classic / Difusor / Lluvia	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
10	Cotoneaster / Difusor	301	541	13,50 €	21,51 €	7,21 €	42,23 €
11	Classic / Difusor / Humedad	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
12	Vinca / Difusor / Lluvia	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
13	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
14	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
15	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
16	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
17	Petunia / Difusor	661	180	32,91 €	257,56 €	15,87 €	306,34 €
18	Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
19	Tagete / Difusor / Fraccionar riegos	628	213	34,16 €	270,06 €	15,08 €	319,30 €
20	Tagete / Difusor	661	180	34,16 €	270,06 €	15,87 €	320,09 €
21	Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
22	Cotoneaster / Goteo	251	591	8,78 €	16,80 €	6,01 €	31,59 €
23	Fotínea / Goteo / Hidrorretenedores	321	521	9,90 €	18,56 €	7,70 €	36,15 €
24	Aligustre / Goteo / Pino	451	391	43,43 €	27,91 €	10,82 €	82,16 €
25	Petunia / Goteo	551	291	28,19 €	252,84 €	13,23 €	294,26 €
26	Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
27	Árbol / Hidrante / Corteza pino	356	486	4,99 €	1,37 €	8,54 €	14,90 €
28	Hipérico / Difusor	361	481	13,70 €	20,83 €	8,66 €	43,19 €
29	Tagete / Difusor	661	180	34,16 €	270,06 €	15,87 €	320,09 €
30	Sahara / Difusor	782	60	11,96 €	75,56 €	18,76 €	106,28 €
31	Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
32	Fotínea / Goteo / Micorriza	321	521	8,93 €	18,56 €	7,70 €	35,18 €
33	Aligustre / Goteo	601	240	40,48 €	24,96 €	14,43 €	79,86 €
34	Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
35	Aligustre / Goteo enterrado	570	272	44,38 €	28,86 €	13,67 €	86,92 €

Continúa en página siguiente...

Tabla 17. Continuación

Parcela	Alternativa	Dotación	Ahorro	Costes de	Costes de	Costes	Costes
		l / año m²	frente a césped con difusores l / año m²	implantación € / m²	mantenimiento a 10 años € / m²	de agua en 10 años € / m²	totales en 10 años € / m²
36	Fotínea / Goteo enterrado	380	462	12,38 €	22,46 €	9,11 €	43,96 €
37	Árbol / RWS	475	367	4,36 €	3,69 €	11,39 €	19,44 €
38	Tagete / Borboteo	584	258	35,93 €	271,83 €	14,00 €	321,76 €
39	Tomillo / Difusor	481	361	13,30 €	20,79 €	11,54 €	45,64 €
40	Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
41	Vinca / Difusor / Fraccionar riego	514	328	16,59 €	16,57 €	12,34 €	45,50 €
42	Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
43	Atriplex / Borboteo	265	576	14,25 €	24,84 €	6,37 €	45,46 €
44	Cornejo / Goteo	351	491	12,66 €	12,24 €	8,42 €	33,32 €
45	Hebe / Goteo	501	341	7,98 €	13,40 €	12,02 €	33,41 €
46	Leilandi / Goteo enterrado	570	272	40,65 €	30,46 €	13,67 €	84,78 €
47	Vinca / Cinta exudante	451	391	15,17 €	15,15 €	10,82 €	41,14 €
48	Árbol / Goteo	501	341	5,64 €	4,97 €	12,02 €	22,63 €
49	Hebe / Borboteo	530	311	14,47 €	19,88 €	12,73 €	47,08 €
50	Sahara / Aspersión	782	60	9,43 €	73,03 €	18,76 €	101,22 €
51	Classic / Aspersión	842	0	9,40 €	73,03 €	20,20 €	102,63 €
52	Classic / Aspersión	842	0	9,40 €	73,03 €	20,20 €	102,63 €
53	Fotínea / Goteo / Grava + geotextil	321	521	13,36 €	23,44 €	7,70 €	44,49 €
54	Fotínea / Goteo / Pino + arena	281	561	12,92 €	23,00 €	6,73 €	42,66 €
55	Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
56	Sahara / Goteo enterrado	617	225	11,15 €	74,75 €	14,81 €	100,71 €
57	Atriplex / Goteo	251	591	7,76 €	18,36 €	6,01 €	32,13 €
58	Vinca / Goteo	451	391	11,88 €	11,86 €	10,82 €	34,56 €
59	Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
60	Classic / Goteo enterrado	664	177	11,12 €	74,75 €	15,95 €	101,82 €

Los cálculos de la dotación eficiente se han hecho suponiendo una **ETo** diaria de 5,01 l/m² (media de las estaciones meteorológicas del SIAR² de San Fernando, Villar del Prado y Aranjuez, entre los meses de abril y septiembre del periodo 2004-2007). Por tanto, partiendo de los coeficientes que se han obtenido para cada una de las variables y aplicándolos a la **ETo** se obtiene esta dotación de riego diaria.

² Sistema de Información Agroclimática del Regadío. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Los costes mostrados en la tabla 17 son los de implantación de la alternativa, los costes de mantenimiento y coste del agua durante diez años.

En cuanto al gasto de agua se ha considerado que las parcelas se riegan 180 días al año. En general, han sido incluidos los siguientes costes:

- Semillas o plántulas para la primera plantación.
- Plantas para reposición de marras.
- Horas de laboreo, incluyendo: siega, eliminación de malas hierbas, podas, replantación y reparación de averías.
- Abonos.
- Sistemas de riego.
- Mantenimiento de los sistemas de riego.
- Labores de jardinería necesarias en cada parcela.
- Coste del agua, considerando 180 días de riego al año.

4.8. Análisis de resultados

4.8.1. Análisis de cultivo

Uno de los objetivos del proyecto ha sido estudiar el potencial de mejora de la eficiencia en el uso del agua en jardinería, resultante de la sustitución de plantas con elevadas necesidades hídricas por otras, teóricamente, menos consumidoras. Con este objetivo general se han ensayado especies de distintas necesidades hídricas, de cada clase de cultivo. En un primer momento, las expectativas de mejora de eficiencia entre especies de distintas necesidades hídricas eran muy altas. Mientras que en algunas de las clases ensayadas la previsión se ha cumplido, en otras, las diferencias han sido pequeñas. Por ejemplo, mientras entre especies distintas de arbustos la diferencia fue del 50 por ciento, entre las mezclas de césped ensayadas la diferencia se evaluó en el 8 por ciento.

Es destacable también que, independientemente de la eficiencia alcanzada en condiciones normales por cada especie, aquellas clasificadas como de bajas necesidades hídricas (BNH) presentan una gran resistencia a la sequía. Es decir, su punto de marchitez (**PM**) es mucho más bajo, lo que indica que tienen mayor capacidad de succión, ampliando de este modo, su intervalo de (**AU**) agua útil. Durante eventos de sequía, cortes o prohibiciones de riego, estas plantas serán las que mejor aguanten la situación de estrés hídrico³.

Si ampliamos los cambios al ámbito de los modelos de jardín sustituyendo las praderas de césped Classic por xerojardines, con arbustos de muy bajas necesidades hídricas como el atriplex, la diferencia crecería hasta dos tercios.

³ Los valores de estos coeficientes se han detallado en el apartado "Parámetros que caracterizan las parcelas" (4.4.)

El análisis, para cada clase de cultivo particularizado, se desarrolla a continuación.

Césped

Como ya se ha comentado, la diferencia entre un tipo de césped y otro finalmente no es demasiado grande en cuanto al **Kc**. Sin embargo, un aspecto interesante es el inferior punto de marchitez obtenido en las parcelas con césped tipo Sahara llevadas a una situación de fuerte déficit hídrico. Esto indica una mayor resistencia al estrés hídrico, por lo que en una situación de cortes de agua podría soportar mejor la carencia de riegos.

La tabla 18 ilustra el potencial ahorro de agua, entre una especie y otra de césped, con un valor en torno al 8 por ciento. En la figura 15 se visualiza el resultado.

Tabla 18. Datos obtenidos para el césped

Césped	Kc	CC	PM
Classic	0,70	37 %	20 %
Sahara	0,65	36,5 %	16 %
Potencial ahorro		8 %	

Figura 15. Resultados según el tipo de césped: Classic y Sahara



Arbustos

Se corrobora la potente resistencia del atriplex en condiciones de fuerte estrés hídrico. Muestra un punto de marchitez muy bajo, del 15 por ciento, además, es muy poco consumidor de agua. En la tabla 19 se observa cómo se puede ahorrar hasta un 50 por ciento, dependiendo de la especie con la que se compare.

Tabla 19. Datos obtenidos para los arbustos

Arbusto	Kc	CC	PM
Fotínea	0,40	36,5 %	20 %
Cornus	0,35	34 %	20 %
Hebe	0,50	38 %	20 %
Atriplex	0,25	27 %	15 %
Potencial ahorro		50 %	

Figura 16. Resultados: Fotínea, cornus, hebe, atriplex



Setos

Para esta clase se eligieron el aligustre como especie de altas necesidades hídricas (ANH) y el leilandi de bajas necesidades hídricas (BNH). Sin embargo, en los ensayos los **Kc** son iguales, lo que indica que ambas plantas tienen muy parecidas necesidades hídricas. La similitud entre los puntos de marchitez (**PM**) y la capacidad de campo (**CC**) hace que no sea más interesante, desde el punto de vista del consumo hídrico o la resistencia a la ausencia de agua, el uso de un cultivo respecto de otro. Seguramente sería posible encontrar otras especies con necesidades hídricas más extremas.

Tabla 20. Datos obtenidos para los setos

Seto	Kc	CC	PM
Aligustre	0,60	33 %	20 %
Leilandi	0,60	34,5 %	20 %
Potencial ahorro		0 %	

Figura 17. Resultados: Aligustre y leilandi



Tapizante

Las alternativas elegidas como plantas tapizantes han sido la vinca y el tomillo para altas y bajas necesidades hídricas, respectivamente. Adicionalmente, se ensayaron dos parcelas de cotoneaster y otra de hipérico.

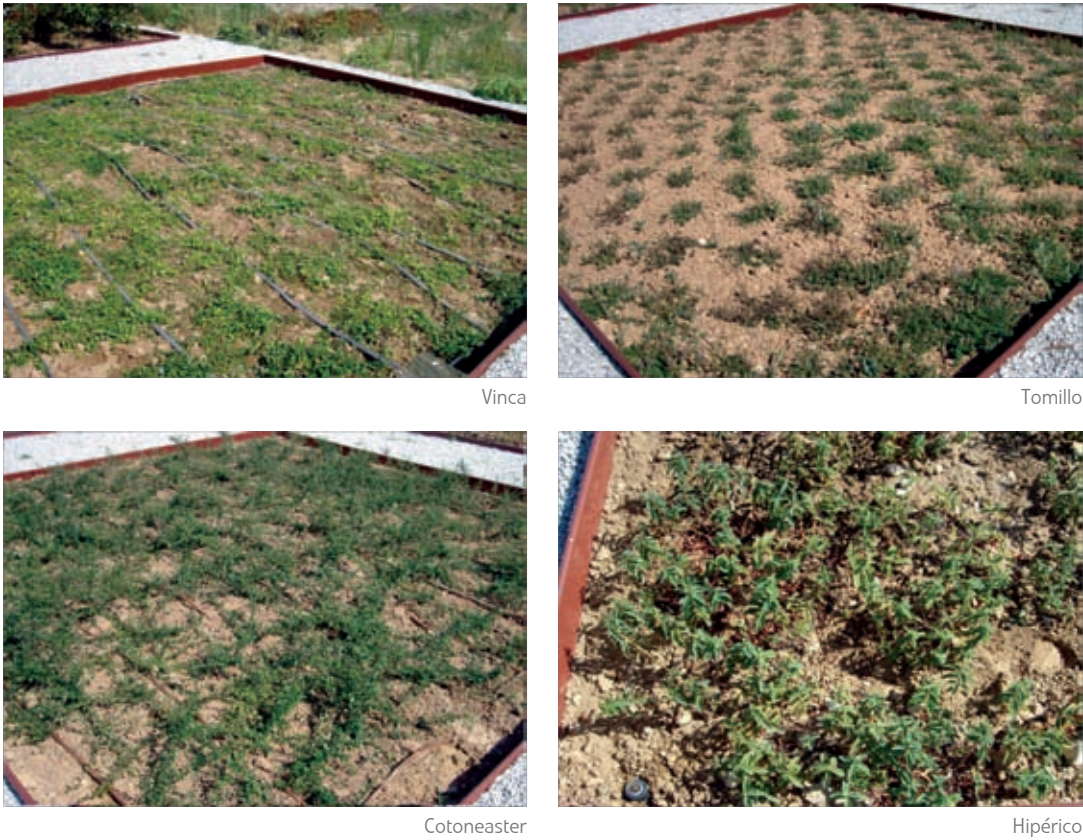
Según los resultados, con el tomillo se puede conseguir un ahorro de casi el 50 por ciento de agua respecto de la vinca, teniendo en cuenta además que es muy resistente a periodos de escasez de riegos.

El hipérico y el cotoneaster también pueden ser otras posibles alternativas ahorradoras.

Tabla 21. Datos obtenidos para las tapizantes

Tapizante	Kc	CC	PM
Vinca	0,45	36 %	20 %
Timus	0,25	36 %	12 %
Potencial ahorro		44 %	
Cotoneaster	0,40	38 %	20 %
Potencial ahorro		12 %	
Hipérico	0,30	35 %	17 %
Potencial ahorro		30 %	

Figura 18. Resultados: Vinca, tomillo, cotoneaster e hipérico



Flor

Se han estudiado por un lado tajetes y por otro, petunias. Sin embargo, no hay mucha diferencia entre ambos tipos de cultivo. Estas parcelas han sufrido especialmente las incidencias en el parque, principalmente el ataque de los conejos. Por este motivo es posible que las conclusiones extraídas no sean muy relevantes.

Tabla 22. Datos obtenidos para las plantas de flor

Flor	Kc	CC	PM
Tajete	0,55	30 %	15 %
Petunia	0,55	33 %	16 %
Potencial ahorro		0 %	

Figura 19. Resultados plantas de flor: Petunias y tajetes



Árbol

No es posible comparar estas parcelas porque no se han plantado distintos tipos de árboles. Sin embargo, en la tabla 23, se muestran los resultados obtenidos de eficiencia.

Tabla 23. Datos obtenidos para los árboles

Árbol	Kc	CC	PM
Árbol	0,50	35 %	22 %

Figura 20. Resultados árboles: Plátano



4.8.2. Análisis de los sistemas de riego

Entre los sistemas de riego utilizados es preciso distinguir primeramente entre sistemas localizados, cuyos emisores riegan zonas muy pequeñas donde se encuentran una o unas pocas plantas, de los sistemas no localizados que distribuyen el riego sobre áreas extensas con muchas plantas. Las características de cada uno de los sistemas hacen que sea más idónea para un tipo de cultivo u otro.

Los coeficientes obtenidos de eficiencia de riego, para cada uno de los sistemas de riego, se reflejan en la tabla 24.

Tabla 24. Eficiencia de los sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia
Aspersión	0,75
Difusor	0,75
Borboteador	0,85
RWS	0,95
Goteo	0,90
Goteo enterrado	0,95
Cinta exudante	0,90
Manual con manguera	0,95

Como era razonable pensar, los sistemas de riego localizado son más eficientes que los otros. Esto es debido a que no existen pérdidas por evaporación en la caída de la gota hasta el suelo ni pérdidas por el arrastre del viento.

El goteo enterrado mejora la eficiencia del goteo en superficie, aunque en el caso particular de este parque ha presentado ciertos problemas, dada la escasa permeabilidad del suelo. Al cabo de pocos minutos de riego, el agua emergía a la superficie haciendo que toda la eficiencia generada por evitar la evaporación del agua al no salir a la atmósfera se perdiera. Para combatirlo se fraccionaron los riegos, evitando así que el agua emergiera a la superficie. Este punto habrá que tenerlo en cuenta a la hora de usar este sistema de riego.

Figura 21. Césped con goteo enterrado



A la hora de usar los sistemas de riego localizado existen ciertas limitaciones. Sin embargo, el caso del goteo enterrado en césped es un buen ejemplo de cómo estos sistemas sí son una buena opción, incluso en céspedes. Se ha conseguido mantener dos parcelas, una con Sahara y otra con Classic, y ambas han dado muy buenos resultados, no mostrando zonas más secas que otras parcelas regadas por difusión o aspersión.

El uso de borboteadores presenta una buena eficiencia pero su elevado caudal puede generar charcos alrededor de los emisores o favorecer la escorrentía, por lo que no es fácil repartir el agua uniformemente en la parcela. Por ello, a pesar de su eficiencia, puede incrementar el tiempo de mantenimiento, necesitando una gran cantidad de horas por parte de los jardineros para allanar el terreno y evitar la escorrentía.

Por otro lado, los sistemas de riego por aspersión o difusión son menos eficientes y reparten peor el agua en la superficie de la parcela, generando zonas de distinta dotación de riego. Este reparto está siempre muy influenciado por el viento, que evapora el agua reduciendo la eficiencia y provoca irregularidad temporal en los riegos. Los días de viento el agua que alcanza el suelo de algunas zonas puede reducirse drásticamente.

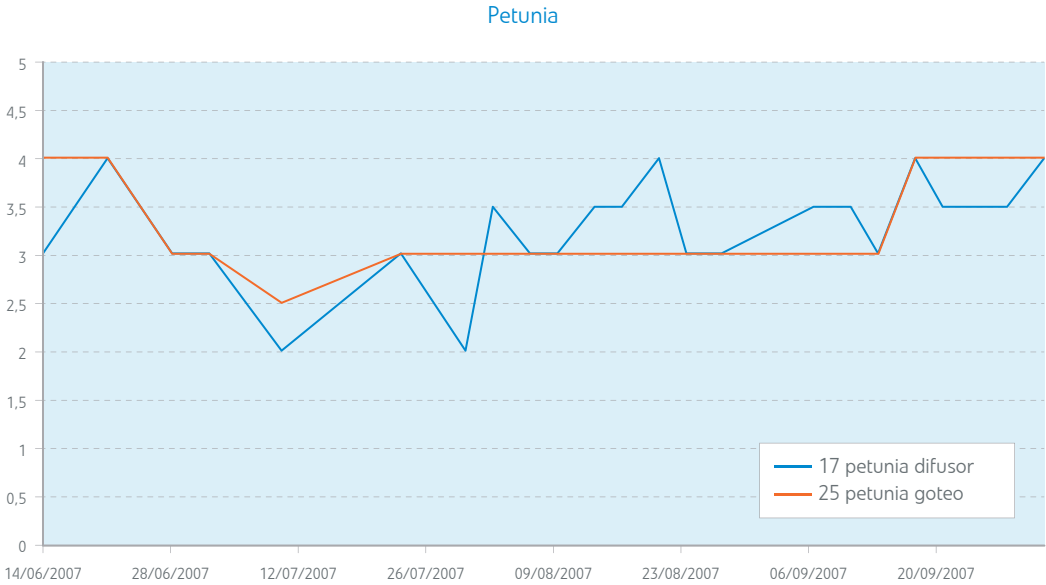
Durante la ejecución del ensayo, el riego manual con manguera ha sido el que menos agua ha consumido frente a los demás sistemas. Las ventajas de una monitorización continua por parte de un jardinero cualificado

se hacen patentes, aunque en la práctica es difícilmente aplicable ya que el coste en mano de obra por metro cúbico ahorrado sería muy elevado.

Respecto a la calidad del riego hay que destacar los sistemas de riego localizado. Estudiando los índices jardineros, que miden el aspecto ornamental de la planta y de la parcela, se observa cómo con ellos se consigue mejorar el estado paisajístico de las plantaciones y su estabilidad en el tiempo, además de precisar menores volúmenes de agua por metro cuadrado que otros sistemas.

Este hecho queda reflejado en la figura 22, en la que se muestran las parcelas de petunias. Estas dos parcelas eran idénticas en todo, a excepción del tipo de riego; una, regada por goteo y otra, por difusión. Se aprecia como los valores del IJ son más estables en el caso de la parcela con goteo.

Figura 22. Evolución del IJ en parcelas de petunias



4.8.3. Estudio según las diferentes técnicas jardineras

Además de las variables tipo de cultivo y sistema de riego se aplicaron sobre las parcelas distintas técnicas jardineras como por ejemplo el mulching, fraccionamiento de riego, diferente altura de siega y otras.

Durante la experimentación en la planta piloto se han extraído los siguientes coeficientes de eficiencia.

Tabla 25. Mejora de eficiencia de las técnicas ensayadas

Técnica	Mejora de la eficiencia
Reciclador y altura de siega	0,80
Fraccionamiento del riego	0,95
Micorrizas	0,80
Retenedor	0,80
Acolchado 1: Cortezas de pino	0,80
Acolchado 2: Geotextil + Grava	0,75
Acolchado 3: Arena + Cortezas de pino	0,70

El fraccionamiento de riegos mejora la eficiencia en el uso de agua. Esto ocurre especialmente, en suelos como el del parque, muy poco permeable o en terrenos con pendiente. De este modo, se evitan encharcamientos superficiales o escorrentías que provocan mayores pérdidas de agua.

El uso de retenedor de agua mezclado con el terreno o de acolchados o mulching genera, además de un ahorro de agua, una estabilidad en la humedad del suelo muy conveniente para el desarrollo de las plantas, lo que se ha traducido durante el ensayo en unos valores muy estables del índice jardinero. De esta manera es más fácil controlar las dotaciones de riego.

Si se estudian por ejemplo las parcelas de fotínea con mulching, todas ellas mantienen los índices jardinero muy regulares y dentro del punto deseable. De este modo, el empleo de mulching tiene varias ventajas como son la mayor homogeneidad en la humedad del suelo y un menor consumo por la reducción de las pérdidas por evaporación.

4.8.4. Estudio de dispositivos de automatización y control del riego

La programación de los riegos recorta los costes de mano de obra y puede suponer un ahorro de agua frente al riego con los dispositivos conocidos como “pajaritos” controlados manualmente. Aunque el riego a mano, con manguera, se ha demostrado eficiente en el uso del agua, sus costes hacen que sea de dudosa aplicabilidad, salvo en pequeños jardines particulares.

Las necesidades de agua de las plantas provocadas por el clima, medidas con la ETo, son la mitad en los meses de abril y septiembre que las de julio y agosto. Además, dentro de un mismo mes las fluctuaciones también pueden ser importantes. También localmente, como ha ocurrido con la ubicación en una zona ventosa del parque piloto, el clima puede generar necesidades bastante diferentes en puntos no demasiado distantes.

Por eso, si se fija un tiempo de riego sin tener en cuenta la situación meteorológica como habitualmente se hace en jardinería pública, en ocasiones el riego será menor que las necesidades y en otras se derrochará. Por eso, la monitorización del clima para determinar las dotaciones de riego puede mejorar el aspecto ornamental o reducir el consumo de agua, si el riego es deficitario o excesivo respectivamente.

Además de los tipos de cultivo, sistemas de riego y técnicas jardineras se han implantado en el parque una serie de herramientas para controlar y automatizar el riego y hacerlo más eficiente, evitando regar cuando no es necesario. El desglose figura a continuación.

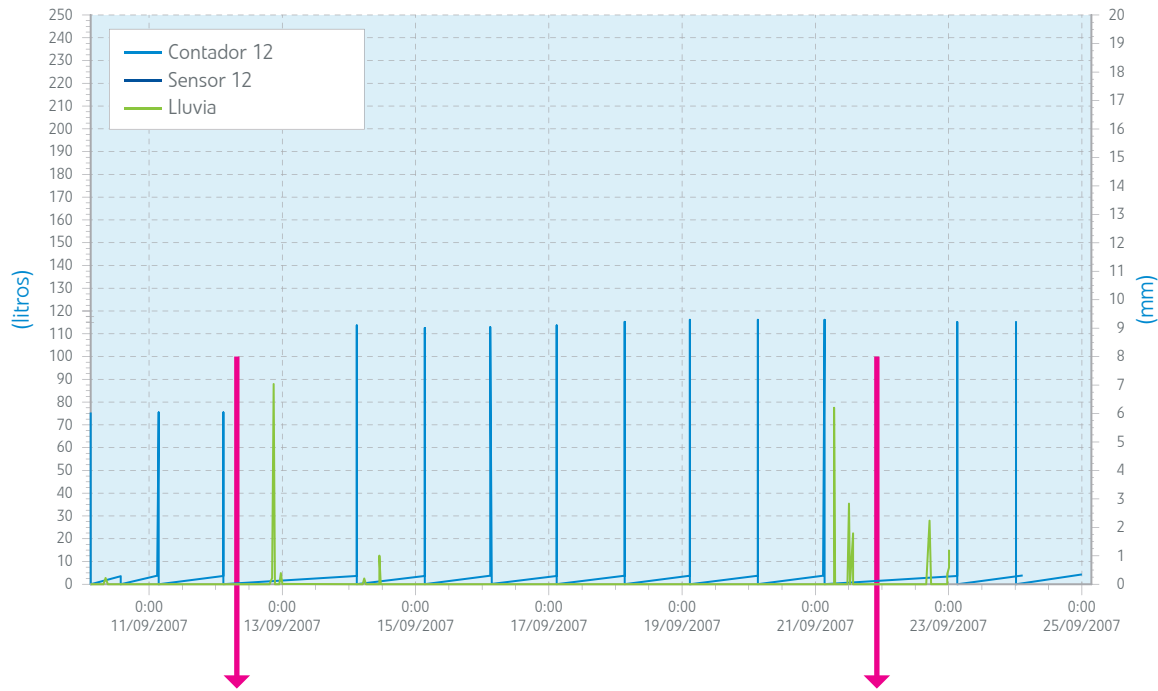
Pluviómetro - Interruptor por lluvia

Este es un dispositivo pasivo, es decir no toma ninguna decisión. Sencillamente, interrumpe el riego o lo permite en función de si ha llovido o no ha llovido. Lo que sí se puede hacer es modificar el valor de precipitación que hace que se interrumpa el riego. Sin embargo, el valor de la precipitación efectiva es un valor que depende de las condiciones de evaporación y desecación y, por lo tanto, variable.

Este dispositivo impide regar las parcelas durante o inmediatamente después de producirse una precipitación, sin embargo no inhibe los riegos si las lluvias no coinciden con los momentos en los cuales se producen los riegos. En cualquier caso, al día siguiente al de la finalización de las precipitaciones dejará de interrumpir los riegos. Aún contando con esta problemática, el empleo del pluviómetro-interruptor por lluvia permitió un ahorro de agua significativo, anulando el riego de los días 13 y 22 de septiembre, tras dos lluvias mayores de 10 milímetros en los días 12 y 21. En el caso del día 23, donde el riego no se anuló tras una precipitación de 5 milímetros el día 22, el cálculo de la precipitación efectiva nos indica que sólo 2,5 milímetros llegaron a penetrar en el terreno por lo que el sensor hubiera errado de haber impedido el riego. El intervalo de interrupción puede observarse en la gráfica de la figura 23 procedente del sistema de monitorización.

Figura 23. Riegos y lluvias en una parcela con interruptor por lluvia

Parcela 12 -Vinca - Difusor



En el periodo 1970 a 2000, entre abril y septiembre, se ha registrado en Madrid una media de 26 precipitaciones superiores a 1 milímetro. Si el interruptor por lluvia cortase el riego por la existencia de precipitaciones en 9 ocasiones, en los 180 días de campaña anual se ahorraría un 5 por ciento (suponiendo dotaciones constantes). Así, en un parque tipo de una hectárea, con una dotación media de 2,5 l/m² y día, el ahorro ascendería a 225 m³ anuales, cuyo importe económico estaría alrededor de los 540 euros al año. Un precio orientativo para un dispositivo sencillo de este tipo sería 100 euros.

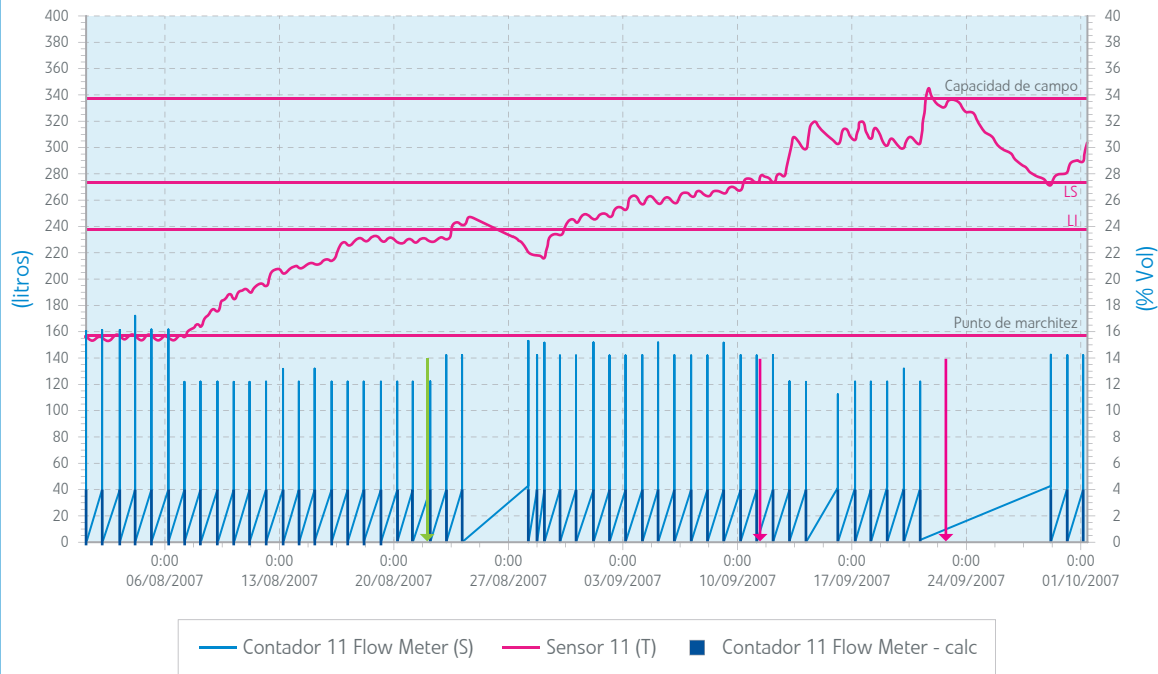
Interruptor basado en la humedad del suelo

Este dispositivo permite fijar un valor de humedad del suelo por encima del cual se inhiben todos los riegos. Este sensor puede ser un buen aliado que permitiría impedir las dosis de riego a aplicar, basándose en el estado real del suelo en el momento de ser ejecutado.

La dificultad de uso reside en la calibración del sensor, que, si bien figura convenientemente explicada en el manual de instrucciones del dispositivo, no es todo lo sencilla que indica al no considerarse la presencia de elementos gruesos en el suelo y la posibilidad de existencia de horizontes impermeables, problemas estos, por otro lado, que afectan a todos los sensores de medición de agua en el suelo. Además, la calibración se realiza en valores absolutos, lo cual hace difícil elegir los valores límites más apropiados (que dependen tanto del suelo, como del cultivo).

Figura 24. Riegos y lluvias en una parcela con interruptor basado en la humedad del suelo

Parcela 11 Classic - Difusor (Sensor humedad independiente)



En el gráfico de la figura 24 se observan los riegos realizados entre el 1 de agosto y el 1 de octubre de 2007. La flecha verde indica una ausencia de datos, debido a un corte de electricidad, por tanto, no debido a la actuación del interruptor de humedad en suelo. Las flechas rojas, muestran la actuación del interruptor al superarse el umbral de humedad programado (30 por ciento en la escala del sensor).

De este gráfico podemos concluir que el sensor funciona, y lo hace con relativo éxito, impidiendo los riegos cuando la humedad del suelo es adecuada para mantener el estado óptimo del cultivo sin aportes externos y permitiéndolos en caso contrario.

La comparación del funcionamiento entre ambos dispositivos, a partir de las lluvias de los días 21 y 23 de septiembre de 2007, refleja muy bien las respectivas prestaciones.

El pluviómetro–interruptor por lluvia canceló el riego del día 22. Por su parte, el interruptor por humedad inhibió los riegos entre los días 22 y 28, ya que durante toda esa semana la humedad del suelo en la parcela superó el límite fijado.

Las ventajas del interruptor basado en la humedad del suelo son tres:

- En primer lugar, responde a información directa de las condiciones existentes en cada momento en el entorno de la planta.
- Los efectos de las lluvias primaverales y otoñales, periodos en los que la **ETo** suele ser moderada, a partir de los 20 centímetros de profundidad (zona donde deben situarse estos dispositivos) son mucho más persistentes porque esa zona está más protegida de la evaporación y desecación que en el caso del pluviómetro que está expuesto a la atmósfera, por lo que permite cancelar muchos más riegos innecesarios.
- Además de responder a las precipitaciones, permite detectar riegos excesivos y encharcamientos producidos por roturas y averías.

En función de la precisión del valor de actuación, este dispositivo impedirá un número mayor o menor de riegos. El coste de este dispositivo es mayor que el anterior, alrededor de los 350 euros.

4.8.5. Análisis del ratio coste/eficiencia

El objetivo del estudio de costes de cada alternativa, es aportar elementos de juicio al propietario del jardín para aplicar distintas opciones, calculando los costes del periodo de vida de las distintas soluciones y relacionándolos con el consumo de agua. En esta línea es importante destacar que una buena alternativa será aquella que durante su vida útil tenga un coste global menor de implantación, mantenimiento y agua consumida. El análisis demuestra que las alternativas más eficientes en el uso del agua son también las más rentables económicamente. Esto es así porque las importantes diferencias de consumos de agua, a lo largo de los diez años que se han calculado, generan facturas de agua muy dispares. También, las especies más consumidoras tienden a un mayor crecimiento vegetativo, lo que implica que sus costes de mantenimiento sean superiores.

Para este estudio se ha desarrollado un ratio coste/eficiencia que permite hacer una comparación rápida de las distintas alternativas. Este parámetro es un indicador que integra la eficiencia en el uso del agua y el coste a lo largo de diez años de un jardín con una combinación determinada de planta, sistema de riego y técnica jardinera.

Dentro de estos costes se han incluido los costes de las replantaciones necesarias (lo que encarece mucho las alternativas de flor de temporada), los costes de mantenimiento de las plantas (que penaliza las praderas por las frecuentes siegas que hay que realizar) y los costes de mantenimiento de los sistemas de riego. También se han incluido los costes de agua. Para comparar unas con otras se ha tomado como referencia la más barata, de modo que ésta tiene un coste de 1. Las alternativas más caras tendrán un coste relativo respecto de la más barata, de 2, 3, etc., sucediéndose así hasta alcanzar 21, que es el caso de la parcela más cara.

Por otro lado se encuentra la eficiencia en el uso del agua. Se ha tomado como referencia la **ETo**. Contra esta dotación se han comparado los posibles ahorros de cada una de las alternativas, bien provenientes del tipo de cultivo, del sistema de riego o de la técnica jardinera aplicada, a partir de las dotaciones de uso eficiente. La **ETo** considerada ha sido de 5,01 l/m²día.

El ratio coste/eficiencia es adimensional. El valor resultante de dividir eficiencia y consumo se da en base logarítmica (Log10) con el objetivo de mostrar más claramente las diferencias de coste/eficiencia, entre unas alternativas y otras, además de servir de apoyo a la toma de decisiones.

Un valor bajo del ratio coste/eficiencia reflejará un bajo coste global y una alta eficiencia hídrica. Los valores obtenidos para este ratio se encuentran dentro del intervalo 0,22 a 2,04. Dentro de este intervalo se podrán encontrar distintas alternativas que satisfagan las necesidades del usuario.

Parece intuitivo pensar que las alternativas con sistemas más eficientes o cultivos más ahorradores serán más caras, pero no siempre es así. En la tabla 26 puede verse la comparación entre las especies arbustivas atriplex y fotínea.

Tabla 26. Ratio coste/eficiencia fotínea y atriplex

Cultivo		Porcentaje ahorrado respecto a la ETo	Costes globales a los 10 años por m²	Relación con más barata	Ratio coste / eficiencia (base log)
Sistema de riego	Sistema antidesecación				
Atriplex / Goteo		72,22 %	32,13	2,16	0,48
Fotínea / Goteo		55,56 %	36,65	2,46	0,65

Contabilizando los costes completos a diez años, se observa como el atriplex es una especie más ahorradora y además, más barata que la fotínea.

En la tabla 27 se presentan los valores de algunas comparaciones entre las alternativas de praderas de césped.

Tabla 27. Ratio coste/eficiencia para praderas de césped

Cultivo		Porcentaje ahorrado respecto a la ETo	Costes globales a los 10 años por m²	Relación con más barata	Ratio coste / eficiencia (base log)
Sistema de riego	Sistema antidesecación				
Sahara / Goteo enterrado		31,58 %	100,71	6,76	1,33
Classic / Goteo enterrado		26,32 %	101,82	6,83	1,41
Classic / Difusor / Altura de siega		25,33 %	103,65	6,96	1,44
Classic / Difusor / Micorriza		25,33 %	104,10	6,99	1,44
Sahara / Aspersión		13,33 %	101,22	6,79	1,71
Sahara / Difusor		13,33 %	106,28	7,13	1,73
Classic / Difusor / Fraccionar riegos		11,33 %	106,68	7,16	1,80
Classic / Aspersión		6,67 %	102,63	6,89	2,01
Classic / Difusor		6,67 %	107,69	7,23	2,04

De los datos vertidos en la tabla 27 se desprende que las alternativas clásicas de praderas regadas por difusión o aspersión, mejoran claramente adoptando sistemas de riego más eficientes, como el goteo enterrado o técnicas de jardinería ahorradora, como incrementar la altura de corte o introducir micorrizas (hongos que favorecen el desarrollo de las raíces y su capacidad para captar agua) en los sistemas radicales. Una reducción de 2,04 a 1,41 es el reflejo de estos cambios en el ratio.

La sustitución de césped por otro tipo de plantas tapizantes también puede ser una solución interesante por el importante ahorro de agua y la reducción de costes, según se puede observar en los datos de la tabla 28.

Tabla 28. Ratio coste/eficiencia del céped, frente a otras especies tapizantes

Cultivo				
Sistema de riego	Porcentaje ahorrado respecto a la ETo	Costes globales a los 10 años por m²	Relación con más barata	Ratio coste / eficiencia (base log)
Sistema antidesecación				
Cotoneaster / Goteo	72,22 %	31,59	2,12	0,47
Cotoneaster / Difusor	66,67 %	42,23	2,83	0,63
Hipérico / Difusor	60,00 %	43,19	2,90	0,68
Tomillo / Difusor	46,67 %	45,64	3,06	0,82
Vinca / Difusor	40,00 %	46,15	3,10	0,89
Classic / Difusor	6,67 %	107,69	7,23	2,04

Se observa claramente como las alternativas propuestas son además de más baratas, más ahorradoras. Hay que tener en cuenta el uso que se pretenda hacer de la parcela, pero en caso de no ser sitio de paso cualquiera de las alternativas propuestas parece una buena solución.

El uso de métodos antidesecación, como acolchados (mulching), goteo enterrado y otros sistemas de ahorro de agua también puede aportar ventajas en eficiencia que se manifiestan en valores del ratio inferiores o muy próximos a la unidad. Los valores obtenidos se reflejan en la tabla 29.

Tabla 29. Ratio coste/eficiencia de sistemas antidesecación en arbustos y setos

Cultivo				
Sistema de riego	Porcentaje ahorrado respecto a la ETo	Costes globales a los 10 años por m²	Relación con más barata	Ratio coste / eficiencia (base log)
Sistema antidesecación				
Fotínea / Goteo / Hidrorretenedor	64,44%	36,15	2,43	0,58
Fotínea / Goteo / Pino + arena	68,89%	42,66	2,86	0,62
Fotínea / Goteo	55,56%	36,65	2,46	0,65
Fotínea / Goteo / Grava + geotextil	64,44%	44,49	2,99	0,67
Fotínea / Goteo-enterrado	57,89%	43,96	2,95	0,71
Aligustre / Goteo + Corteza de pino	50,00%	82,16	5,51	1,04
Aligustre / Goteo enterrado	36,84%	86,92	5,83	1,20
Aligustre / Goteo	33,33%	79,86	5,36	1,21

Según se desprende de estos datos, tanto fotínea, como aligustre, con goteo-enterrado, presentan un ligero ahorro de agua, frente a las mismas especies regadas con goteo normal. Sin embargo, al conllevar un coste de instalación ligeramente superior resulta en una diferencia global mínima entre ambas alternativas. La introducción de acolchados también hace que la mejora de la eficiencia obtenida compense el coste extra, resultando ratios parecidos. Esto sucede porque es más costosa la instalación pero consigue un ahorro de agua del 20 por ciento o superior.

4.8.6.Análisis del método de cálculo de las dotaciones de riego

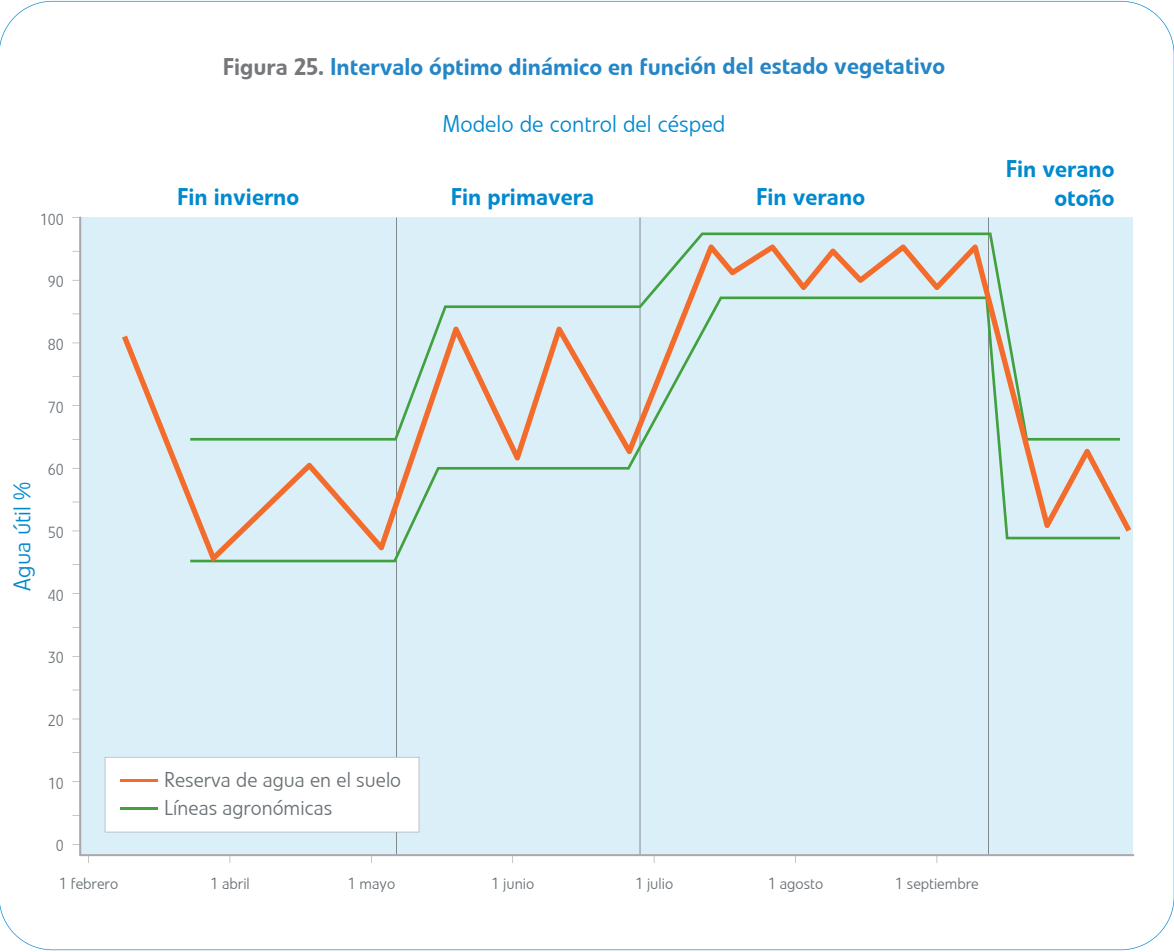
Los coeficientes de eficiencia obtenidos en el presente proyecto permitirían calcular, por el método indirecto de Costello, las dotaciones de riego de cualquier parque o jardín de la Comunidad de Madrid, conocida la **ETo** del lugar donde se asienta.

La monitorización de la humedad del suelo del parque piloto, y el índice jardinero han proporcionado información directa del impacto que el clima y las dotaciones de riego aplicadas han tenido sobre la evolución de las reservas de agua disponibles para la planta. Esto permite comprobar la precisión de las dotaciones calculadas y la correcta calibración de los coeficientes de eficiencia.

Sin embargo, se ha comprobado durante la ejecución del proyecto que esta forma de calcular las dotaciones de riego presenta tres problemas derivados de la ausencia de información directa de la respuesta de la planta, salvo la proporcionada por el índice jardinero:

- La medida directa del parámetro de planta monitorizado, el índice jardinero, era discreta y dependiente de la apreciación visual. Existen otros parámetros que pueden ser monitorizados con instrumentación específica, como el diámetro del tronco o la temperatura de hoja. Los coeficientes de cultivo son dinámicos y dependientes del momento vegetativo como se muestra en la figura 25, por lo que una monitorización precisa y continua ayudaría a precisar mejor su valor.

- No existe una caracterización del aspecto ornamental o paisajístico de las plantas de jardinería ni de su relación con los parámetros medidos de suelo y planta.
- Por otra parte, la extrapolación de las recomendaciones de riego a otros parques y jardines se ve dificultada porque las condiciones particulares del jardín: la extensión de sombras, la topografía, el tipo de suelo y las condiciones microclimáticas y de vientos locales producen diferencias en las necesidades evapotranspirativas y en la dinámica del agua en el suelo.



5

Conclusiones

5.1. Eficiencia en el uso del agua de plantas, sistemas de riego y técnicas de jardinería

Los coeficientes de eficiencia, presentados a continuación, son los resultados del proyecto de investigación y permiten comparar la eficiencia en el uso del agua de las distintas alternativas de plantas (**Kc**), sistemas de riego (**Kr**) y técnicas de jardinería (**Kt**).

Es posible calcular los coeficientes de eficiencia mediante métodos directos, monitorizando la humedad del suelo y el aspecto ornamental de las plantas para determinar el riego deficitario controlado o las necesidades hídricas eficientes, aquellas dotaciones mínimas que mantienen un estado paisajístico adecuado.

Los coeficientes de eficiencia relacionan las necesidades hídricas eficientes con la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia **ETo**. Una vez calculados, estos coeficientes se pueden utilizar para calcular las dotaciones de riego (**N_r**) por métodos indirectos, monitorizando el clima reciente, expresado en la **ETo** mediante la fórmula siguiente:

$$N_r = ETo \times Kc \times 1/Kr \times Kt$$

5.1.1. Coeficientes de eficiencia de los cultivos

La relación entre el consumo real (la evapotranspiración de la planta, sin tener en cuenta el agua perdida por el riego) de cada cultivo y la **ETo** da como resultado los **Kc** estimados en el parque piloto. Estos coeficientes presentan, en casi todos los casos, diferencias con respecto a la bibliografía consultada y se hacen explícitos en la tabla 30.

Tabla 30. Eficiencia de plantas de jardinería

Cultivo	Valor Kc
Césped ANH - Classic	0,70
Césped BNH - Sahara	0,65
Árbol - Falso plátano	0,50
Arbusto grande ANH - Fotínea	0,40
Arbusto grande BNH - Cornus	0,35
Seto ANH - Aligustre	0,60
Seto BNH - Leilandi	0,60
Arbusto pequeño ANH - Hebe	0,50
Arbusto pequeño BNH - Atriplex	0,25
Tapizante ANH - Vinca	0,45
Tapizante BNH - Romero rastrero	0,25
Tapizante BNH - Tomillo	0,40
Tapizante BNH - Hipérico	0,30
Flor ANH - Tajete	0,55
Flor BNH - Petunia	0,55

No se han constatado grandes diferencias entre los **Kc** estimados entre las especies elegidas para la experimentación en función de sus distintas necesidades hídricas (producto de su distinta eficiencia en el uso del agua) para las categorías de seto, arbusto grande y flor.

Sin embargo, análogamente a lo ocurrido en césped, tapizantes y pequeños arbustos donde esta diferencia sí ha existido, es muy probable que fuese posible encontrar variedades con eficiencia más dispar.

Aún en los casos en que los **Kc** no demostraban grandes mejoras de eficiencia al comparar especies de bajas y altas necesidades hídricas, es decir, su consumo en condiciones normales no difería demasiado, se han calculado puntos de marchitez inferiores entre las plantas catalogadas como de bajas necesidades hídricas, por lo que su resistencia al estrés hídrico durante los períodos de sequía será mayor.

5.1.2. Coeficientes de eficiencia de los sistemas de riego

Los sistemas de riego con mayor eficiencia y menores consumos para aportar la misma dosis teórica de riego han sido, tal y como se esperaba, los riegos localizados basados en goteo en sus versiones de superficie y enterrado, cinta exudante y RWS⁴. Igual que en el caso de los **Kc** la experiencia de trabajo provocó algunas variaciones en el valor de estos coeficientes para ajustarlos más a la realidad.

Tabla 31. Eficiencia de sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia (definitivos)
Aspersión	0,75
Difusor	0,75
Borboteador	0,85
RWS	0,95
Goteo	0,90
Goteo enterrado	0,95
Cinta exudante	0,90
Manual con manguera	0,95

Se ha comprobado que los caudales reales de los emisores presentan una significativa dispersión frente a las especificaciones técnicas de los fabricantes, especialmente los difusores.

El goteo ha demostrado ser un sistema que, aparte de su eficiencia, permite mantener las plantaciones con un aspecto ornamental mejor, más estable y homogéneo espacialmente, gracias a su uniforme distribución de agua en la parcela y su independencia frente al viento.

⁴ RWS: Root Watering System – Sistema de riego radicular

El goteo enterrado y el sistema RWS aportan un incremento adicional de eficiencia debido a la prácticamente nula pérdida de agua por evaporación y, en el caso de cultivos discontinuos, a la menor aparición de malas yerbas.

En el caso del césped, el goteo-enterrado ha demostrado comportarse correctamente, no apareciendo problemas zonales de falta de riego. Este sistema aparece como una interesante alternativa a considerar por las ventajas que conlleva de mayor eficiencia, mayor duración, menor riesgo de vandalismo, disminución de la mano de obra en escardas, posibilidad de empleo de agua reciclada, riego en cualquier horario, facilidad para automatizar y regar sectores pequeños entre caminos o en medianas y posibilidad de regar en pendiente sin pérdida por escorrentía.

Los posibles problemas que el goteo enterrado puede tener, en especial la dificultad en la resolución de averías, se pueden limitar empleando un material de calidad que disponga de goteo antisifón, sistema antirraíces que impida que éstas penetren en su interior bloqueándolo⁵ y sistema de dosificación que compense las diferencias de presión y asegure un funcionamiento estable durante años.

Los difusores han tenido un comportamiento malo, con eficiencias ligeramente peores que las inicialmente previstas. Esta baja eficiencia se ha podido ver influida por la exposición del parque piloto al viento.

Durante los ensayos, el riego manual con manguera ha sido el que menos agua ha consumido. Las ventajas de una monitorización continua por parte de un empleado cualificado se hacen patentes, aunque en la práctica es difícilmente aplicable, ya que el coste en mano de obra por metro cúbico ahorrado sería muy elevado.

5.1.3. Coeficientes de las técnicas jardineras

Las técnicas jardineras empleadas modificaron las necesidades hídricas de los jardines experimentales. La mejora de la eficiencia se plasmó en un coeficiente que reducía las dosis de riego aportadas. El detalle aparece recogido en la tabla 32.

El acolchado o “mulching” ha demostrado provocar una reducción del consumo de agua en la parcela y permite mejorar la calidad y estabilidad ornamental de las plantas.

En cuanto a las demás técnicas, los resultados obtenidos también apuntan a una reducción en las dotaciones de riego, si bien sería conveniente continuar con las investigaciones de cara a conseguir resultados más concluyentes.

⁵ Sistemas que impidan el bloqueo del dispositivo, no por medios químicos, (la Trifluoralina está prohibida).

Tabla 32. Eficiencia de técnicas jardineras

Técnica jardinera	Coeficiente aplicado
Reciclador y altura de siega	0,80
Fraccionamiento del riego	0,95
Micorrizas	0,80
Retenedor	0,80
Acolchado 1: Geotextil + Cortezas de pino	0,80
Acolchado 2: Geotextil + Grava	0,75
Acolchado 3: Geotextil + Grava + Cortezas de pino	0,70

Por último, los sistemas sencillos de control automático del riego –como el pluviómetro/interruptor por lluvia y el interruptor basado en la humedad de suelo- pueden aportar ahorros significativos a un coste amortizable rápidamente en parques medianos o grandes. Estos automatismos son especialmente útiles cuando la gestión del riego no va ligada a la existencia de instrumentación que permita el cálculo de las dosis de riego a partir de medidas directas de suelo y planta o medidas indirectas de **ETo** y precipitación efectiva.

5.1.4. Alternativas de jardín: combinación de coeficientes

Para calcular la eficiencia en el uso del agua de los jardines hay que tener en cuenta las plantas, los sistemas de riego y las técnicas de jardinería aplicadas.

A continuación, en la tabla 33 se muestran los coeficientes resultantes de eficiencia del jardín de algunas alternativas, calculando también el porcentaje de ahorro en la Comunidad de Madrid, respecto a la pradera de césped regada por aspersión o difusión.

Tabla 33. Eficiencia del jardín y ahorro resultante

Alternativa	Coeficiente de jardín	Ahorro de agua (respecto al césped Classic con difusor)
Classic / Difusor	0,93	0 %
Classic / Difusor / Fraccionar riegos	0,89	5 %
Classic / Difusor / Altura de siega	0,75	20 %
Classic / Difusor / Micorriza	0,75	20 %
Classic / Goteo enterrado	0,74	21 %
Sahara / Goteo enterrado	0,68	27 %
Sahara / Difusor	0,87	7 %
Vinca / Difusor	0,60	36 %
Vinca / Goteo	0,50	46 %
Petunia / Difusor	0,73	21 %
Cotoneaster / Goteo	0,28	70 %
Hebe / Goteo	0,56	40 %
Fotínea / Goteo	0,44	52 %
Fotínea / Goteo + Grava + Geotextil	0,36	62 %
Fotínea / Goteo / Corteza de pino + Arena	0,31	67 %
Atriplex / Borboteo	0,29	68 %
Atriplex / Goteo	0,28	70 %

5.2. Ratio coste/eficiencia

Al objeto de destacar que las alternativas eficientes en el uso del agua permiten ahorrar en la economía del usuario se ha definido este ratio coste/eficiencia. Este ratio adimensional puede ser una herramienta aplicada para la toma de decisiones en el diseño de zonas verdes, con un enfoque de coste de vida útil y desde el punto de vista de la sostenibilidad económica y de recursos.

Las variables que se utilizan para calcular el ratio son:

- Los costes de cada alternativa, incluyendo los de mantenimiento, agua, jardinería y reposiciones.
- La eficiencia en el uso del agua. Este parámetro se computa como el ahorro en el consumo de cada alternativa frente a una **ETo** media de la Comunidad de Madrid, suponiendo una campaña de riego de seis meses, desde abril hasta septiembre.

El análisis de costes-eficiencia refleja, casi siempre, que la alternativa más barata es además, la más económica. No hay que olvidar que hay otros factores no contemplados en este ratio, como son el valor ornamental o el uso que se pretenda del cultivo y la zona verde. Este ratio puede ser el factor decisivo, una vez que se hayan fijado los otros parámetros.

5.2.1. Alternativas

A la vista de los resultados obtenidos de este ratio se puede destacar las siguientes alternativas:

- **Goteo enterrado en césped.** Con este sistema se consigue un ahorro de agua por la alta eficiencia del sistema de riego, a un coste razonable. Es válido para cualquier extensión, pero especialmente, en zonas estrechas e irregulares como medianas, aceras, esquinas y bordes de caminos.
- **Acolchado** o “mulching” en el uso de setos y arbustos. El acolchado permite reducir las tareas de jardinería por no ser necesaria la eliminación de las malas hierbas. Con la protección que ofrece disminuye la desecación del suelo, manteniendo su humedad. Por ello es una buena alternativa.
- **Alternativas para sustitución de césped.** Algunas plantas como las rastreras, o tapizantes pueden ser una buena opción para sustituir el césped. Las praderas de césped son caras de mantener, además de consumir mucha agua. Algunas posibilidades son el tomillo rastrero, la vinca y el cotoneaster.

Se puede calcular el ratio de cualquier combinación de variables disponibles de planta, sistema de riego y técnica de jardinería.

5.3. Metodología para el cálculo y aplicación de las dotaciones de riego en parques y jardines

El objetivo del proyecto era evaluar el ahorro potencial de agua, calculando la eficiencia en el uso del agua de las distintas alternativas cuyas conclusiones se han presentado. La comparación de la eficiencia refleja cómo utilizan el agua plantas y sistemas de riego y permite apoyar las decisiones de implantación, remodelación y mantenimiento de zonas verdes, respondiendo al qué y al cómo regar.

Una vez determinado el potencial de ahorro alcanzable por la aplicación de las alternativas más eficaces, el siguiente paso debería ser desarrollar herramientas y proporcionar la información necesaria para que las alternativas puedan ser aplicadas y gestionadas por los usuarios siguiendo criterios de eficiencia, que respondan a las cuestiones de cuándo y cuánto regar.

Para ello, sería interesante disponer de una metodología de cálculo e implementación de las dotaciones de riego para proporcionar recomendaciones, o proveer las herramientas e información necesaria para que sean calculadas por el usuario.

El cálculo de las dotaciones hídricas eficientes, del cual se han deducido los coeficientes, se ha realizado durante el proyecto aplicando la metodología basada en medidas directas de suelo y planta descrita en este cuaderno de I+D+i.

La eficiencia global calculada de la combinación planta, sistema de riego y técnica se ha desagregado para cada variable, concretada en un coeficiente, lo que permite calcular por métodos indirectos las dotaciones de riego de cualquier combinación de variables de planta, sistema de riego y técnica jardinera de un jardín de la Comunidad de Madrid, proporcionando al usuario los datos de la **ETo** de la estación meteorológica más próxima al jardín.

En el análisis de resultados se han expuesto los problemas de esta metodología indirecta (porque no utiliza información de lo que ocurre en las plantas y suelos del jardín) de cálculo para determinar las dotaciones de riego y para su extrapolación: la dificultad de definir un coeficiente de planta que es dinámico y cambia con el momento vegetativo y el desconocimiento de las condiciones locales del parque para extrapolar los cálculos.

Las condiciones locales de los parques sólo pueden conocerse monitorizando el suelo, las plantas y el clima del mismo. Sin embargo, alguno de los factores locales, como el suelo, podrían caracterizarse en una ubicación y extrapolarse con un aceptable grado de aproximación a cualquier parque con ese tipo de suelo. Otra alternativa, que puede ser complementaria con la anterior, utilizada en agricultura para extrapolar las recomendaciones de riego es la teledetección mediante el tratamiento y análisis de imágenes aéreas o de satélite.

Frente a los métodos indirectos, la monitorización *in situ* de parámetros fisiológicos de la planta y de la humedad del suelo permite comprobar, en tiempo real, el impacto sobre la planta de las variables que no controlamos, fundamentalmente el clima y de las que controlamos, principalmente el riego aplicado. Esto evitaría la necesidad de estimar coeficientes que están afectados por otros factores como la composición, textura y dinámica hídrica del suelo y las condiciones microclimáticas del jardín.

Una de las conclusiones del proyecto es que los métodos directos de cálculo de las dotaciones de riego basados en medidas directas de lo que ocurre en la planta y el suelo, además de la información climática, son aplicables técnicamente y permiten mejorar la eficiencia de la gestión hídrica de las zonas verdes respondiendo a las preguntas de cuándo y cuánto es necesario regar para mantener el estado paisajístico con el mínimo consumo de agua.

Actualmente existen limitaciones para la aplicación de la metodología a gran escala que están siendo abordadas por equipos de investigación y empresas.

Los elementos que necesita el sistema incluyen la instrumentación para obtener la información, los equipos de telemetría para reunir los datos, un software con inteligencia para procesarlos y calcular los riegos y un telemando para automatizar la programación y ejecución de los riegos.

La instrumentación necesaria para obtener las mediciones de suelo, planta y clima en tiempo real sería: una **estación meteorológica completa**, capaz de medir los parámetros climáticos necesarios para calcular la **ETo**; **sondas de humedad** para medir la disponibilidad de recursos hídricos en el suelo y **sensores** para monitorizar parámetros fisiológicos de las plantas, que pueden ser dendrómetros para medir las dilataciones o contracciones del tronco, medidores de temperatura de la hoja, donde se produce la fotosíntesis y el agua es consumida como refrigerante, el potencial hídrico foliar u otros. Esta instrumentación está comercializada y contrastada. Requieren el cableado hasta los equipos de telemetría lo que encarece y complica su instalación.

Los equipos de telemetría funcionan con distintas tecnologías de comunicación: cable, radio, GSM y GPRS. Presentan limitaciones en la cantidad de sensores e información transmitida y no son reversibles para ordenar los riegos.

Para procesar y analizar, de forma rápida, un volumen tan grande de información y obtener como salida la dotación de riego recomendable para ese cultivo, no existe software con prestaciones adecuadas para automatizar los procesos. Sería necesario desarrollar un sistema experto dotado de inteligencia artificial que aprenda de la experiencia. El conocimiento inicial que debe incorporar el sistema experto tendría que incluir los modelos de comportamiento de las plantas de jardinería para distintas gestiones hídricas (como balance de clima y riego), su relación con la humedad del suelo y con la representación en imágenes aéreas o de satélite para evaluar la teledetección. También es necesaria una caracterización paisajística para cada momento del

ciclo vegetativo de las plantas, que relacione los parámetros fisiológicos con su aspecto ornamental. El proceso de ajuste o aprendizaje se realizaría estudiando el impacto que determinados valores de clima, planta y suelo y del riego aplicado producen sobre el rendimiento esperado del cultivo, lo que en jardinería es su aspecto ornamental, añadiendo el condicionante de minimizar el consumo de agua. Identificar esta trazabilidad de causa y resultado permitiría aprender de la experiencia y ajustar el sistema experto.

Los **retos** principales a afrontar pasarían por:

- El conocimiento básico de la caracterización ornamental y su relación con la gestión hídrica producto de los datos de planta, clima y suelo.
- El software inteligente que automatice el cálculo de dotaciones.

Además, parece necesario el desarrollo de la instrumentación inalámbrica y la mejora de las prestaciones de las plataformas de telemetría para proporcionar autonomía energética, universalidad de la instrumentación, eliminación del cableado y posibilidad de telemando.

[A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III.](#)

University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources. August 2000. Costello y Jones.

[Clasificación de especies de jardín según sus necesidades hídricas para la región de Murcia.](#)

Fulgencio Contreras López. Revisión en abril de 2006.

[Xeriscape Conversion Study. Final Report.](#)

Sovocool, K. y Morgan. 2005, Southtern Nevada Water Authority.

[Xerojardinería. Bures S.](#)

Ediciones Horticultura, 1993.

<http://www.denverwater.org> Conservation Xeriscape

7

Índice de figuras

[Figura 1.](#) Vista general del parque piloto - [pág. 13](#)

[Figura 2.](#) Consumo de agua por especie y tecnología, comparado con 10.000 hectáreas de césped regado con difusor/aspersor - [pág. 18](#)

[Figura 3.](#) Estación meteorológica completa - [pág. 26](#)

[Figura 4.](#) Metodología Césped, arbusto, seto, tapizante, flores y árboles - [pág. 32](#)

[Figura 5.](#) Metodología, difusor, goteo, borboteador, cinta exudante y RWS - [pág. 34](#)

[Figura 6.](#) Programador, pluviómetro e interruptor por humedad - [pág. 35](#)

[Figura 7.](#) Metodología, mulching 1, 2 y 3 - [pág. 37](#)

[Figura 8.](#) Vista general parcelas - [pág. 39](#)

[Figura 9.](#) Gráfico de zonas de humedad en el suelo - [pág. 45](#)

[Figura 10.](#) Calibración de coeficientes de eficiencia - [pág. 53](#)

[Figura 11.](#) Datos de lluvia, HR y temperatura en los periodos de calibración (13/08/07 - 23/08/07 y 05/09/07 - 12/09/07) - [pág. 59](#)

[Figura 12.](#) Gráfico de humedad mostrando las líneas agronómicas - [pág. 63](#)

[Figura 13.](#) Resultados atriplex - [pág. 65](#)

[Figura 14.](#) Riego localizado con cinta exudante - [pág. 66](#)

[Figura 15.](#) Resultados según el tipo de césped: Classic y Sahara - [pág. 73](#)

[Figura 16.](#) Resultados: Fotínea, cornus, hebe, atriplex - [pág. 74](#)

[Figura 17.](#) Resultados: Aligustre y leilandi - [pág. 75](#)

[Figura 18.](#) Resultados: Vinca, tomillo, cotoneaster e hipérico - [pág. 77](#)

[Figura 19.](#) Resultados plantas de flor: Petunias y tajetes - [pág. 78](#)

[Figura 20.](#) Resultados árboles: Plátano - [pág. 79](#)

[Figura 21.](#) Césped con goteo enterrado - [pág. 80](#)

[Figura 22.](#) Evolución del IJ en parcelas de petunias - [pág. 81](#)

[Figura 23.](#) Riegos y lluvias en una parcela con interruptor por lluvia - [pág. 84](#)

[Figura 24.](#) Riegos y lluvias en una parcela con interruptor basado en la humedad del suelo - [pág. 85](#)

[Figura 25.](#) Intervalo óptimo dinámico en función del estado vegetativo - [pág. 90](#)

[Figura 26.](#) Instalación de sensor de humedad - [pág. 125](#)

[Figura 27.](#) Imagen de una arqueta tras la colocación - [pág. 129](#)

[Figura 28.](#) Póster presentado en conferencia Internacional Water Association 2008, Viena - [pág. 132](#)

[Tabla 1.](#) Eficiencia sistemas de riego - [pág. 14](#)

[Tabla 2.](#) Eficiencia técnicas jardineras - [pág. 14](#)

[Tabla 3.](#) Eficiencia plantas - [pág. 15](#)

[Tabla 4.](#) Ratio coste-eficiencia - [pág. 16](#)

[Tabla 5.](#) Costes, incremento de la eficiencia y volumen ahorrado - [pág. 17](#)

[Tabla 6.](#) Sistemas de riego aplicados según categoría de cultivo - [pág. 33](#)

[Tabla 7.](#) Lista de cultivos implantados en el parque piloto - [pág. 38](#)

[Tabla 8.](#) Alternativas ensayadas en el parque piloto - [pág. 40](#)

[Tabla 9.](#) Intervalo recomendable de humedad según las necesidades hídricas (NH) - [pág. 51](#)

[Tabla 10.](#) Combinación de variables para el diseño de alternativas - [pág. 56](#)

[Tabla 11.](#) Líneas agronómicas de todas las parcelas en el periodo de estudio - [pág. 61](#)

[Tabla 12.](#) Estudio estadístico de los valores de CC y PM - [pág. 62](#)

[Tabla 13.](#) Valores de las constantes de cultivo iniciales y definitivas - [pág. 64](#)

[Tabla 14.](#) Valores de los coeficientes de eficiencia de los distintos sistemas de riego - [pág. 65](#)

[Tabla 15.](#) Coeficientes de las técnicas jardineras - [pág. 66](#)

[Tabla 16.](#) Índice jardinero de todas las parcelas en el periodo de calibración - [pág. 67](#)

[Tabla 17.](#) Costes de cada alternativa y dotación eficiente - [pág. 70](#)

[Tabla 18.](#) Datos obtenidos para el césped - [pág. 73](#)

[Tabla 19.](#) Datos obtenidos para los arbustos - [pág. 74](#)

[Tabla 20.](#) Datos obtenidos para los setos - [pág. 75](#)

[Tabla 21.](#) Datos obtenidos para las tapizantes - [pág. 76](#)

[Tabla 22.](#) Datos obtenidos para las plantas de flor - [pág. 78](#)

[Tabla 23.](#) Datos obtenidos para los árboles - [pág. 78](#)

[Tabla 24.](#) Eficiencia de los sistemas de riego - [pág. 79](#)

[Tabla 25.](#) Mejora de eficiencia de las técnicas ensayadas - [pág. 82](#)

[Tabla 26.](#) Ratio coste/eficiencia fotínea y atriplex - [pág. 87](#)

[Tabla 27.](#) Ratio coste/eficiencia para praderas de césped - [pág. 87](#)

[Tabla 28.](#) Ratio coste/eficiencia del césped frente a otras especies tapizantes - [pág. 88](#)

[Tabla 29.](#) Ratio coste/eficiencia de sistemas antidesecación en arbustos y setos - [pág. 89](#)

[Tabla 30.](#) Eficiencia de plantas de jardinería - [pág. 94](#)

[Tabla 31.](#) Eficiencia de sistemas de riego - [pág. 95](#)

[Tabla 32.](#) Eficiencia de técnicas jardineras - [pág. 97](#)

[Tabla 33.](#) Eficiencia del jardín y ahorro resultante - [pág. 98](#)

[Tabla 34.](#) Esquema de posibles combinaciones y alternativas - [pág. 117](#)

[Tabla 35.](#) Esquema de costes de implantación y mantenimiento. Alternativas - [pág. 118](#)

[Tabla 36.](#) Especificaciones de los sistemas de riego utilizados - [pág. 117](#)

9

Anexos

9.1. ANEXO 1. Cálculo de las dotaciones de riego y costes

Las dotaciones eficientes de riego se calculan a partir de las necesidades hídricas del cultivo de referencia generadas por el clima (**ETo**), e incorporando la eficiencia en el uso del agua de la planta, el sistema de riego utilizado y las técnicas de jardinería empleadas, que se expresan en los coeficientes de eficiencia, de cada alternativa de zona verde.

Las necesidades de riego se calculan con esta fórmula; K_j representa la eficiencia del jardín:

$$N_r = ETo \times Kc \times 1/Kr \times Kt = ETo \times K_j$$

Según se observa en el esquema de la tabla 34 se pueden combinar distintos cultivos con los diferentes sistemas de riego y las técnicas jardineras. De este modo, se pueden hacer todas las composiciones imaginables, deseadas. Sin embargo, hay que tener presente la factibilidad de las mismas de cara a su posible implantación. Por ejemplo, el uso del difusor para árboles no es recomendable; igualmente, existen otros ejemplos inviables.

Por otro lado está el cálculo de costes. En la misma línea que el anterior se puede proponer un esquema, aunque algo más complejo. Cada cultivo implica, intrínsecamente, unos costes de implantación, mantenimiento, reposición, jardinería y necesidades de riego.

Lo mismo ocurre con los sistemas de riego, que llevan asociados unos costes de implantación y mantenimiento o con las técnicas jardineras.

Los costes de agua dependen de los coeficientes de eficiencia, razón por la que no se incluyen en la tabla 35. Dichos costes se calculan a partir del coeficiente de eficiencia del jardín del esquema anterior. Con este coeficiente se obtiene la dotación eficiente que multiplicando por los días de riego al año (que se han estimado en 180); por el numero de años (se ha propuesto 10 años, que parece un tiempo razonable como vida útil del jardín) y el precio del agua (se ha adoptado un precio medio de 2,4€/m³), se obtiene el coste en agua de esa alternativa, en los 10 años.

La suma de todos estos costes será el resultado del coste total de la alternativa.

Tabla 34. Esquema de posibles combinaciones y alternativas

Categoría		Riego		Técnicas	
Césped ANH	0,70	→	Aspersión 0,75 Difusor 0,75 Borboteador 0,85 RWS 0,95 Goteo 0,90 Goteo enterrado 0,95 Cinta exudante 0,90	→	Reciclador y altura de siega 0,80 Fraccionamiento del riesgo 0,95 Micorrizas 0,80 Retenedor 0,80 Acolchado 1 0,80 Acolchado 2 0,75 Acolchado 3 0,70
Césped BNH	0,65				
Árbol	0,50				
Arbusto grande ANH	0,40				
Arbusto grande BNH	0,35				
Seto ANH	0,60				
Seto BNH	0,60				
Arbusto pequeño ANH	0,50				
Arbusto pequeño BNH	0,25				
Tapizante ANH	0,45				
Tapizante BNH	0,25				
Tapizante BNH - Tomillo	0,40				
Tapizante BNH - Hipérico	0,30				
Flor ANH	0,55				
Flor BNH	0,55				

Tabla 35. Esquema de costes de implantación y mantenimiento. Alternativas

Cultivo	Implantación euros / m²	Mantenimiento euros / m²
Césped ANH	3,27	6,69
Césped BNH	3,30	6,69
Árbol	1,69	0,10
Arbusto grande ANH	4,53	1,46
Arbusto grande BNH	8,27	0,83
Seto ANH	36,53	2,10
Seto BNH	32,80	2,26
Arbusto pequeño ANH	4,04	0,95
Arbusto pequeño BNH	3,82	1,44
Tapizante ANH	3,27	0,79
Tapizante BNH	4,84	1,29
Tapizante BNH - Tomillo	4,64	1,21
Tapizante BNH - Hipérico	5,04	1,22
Flor ANH	25,50	26,14
Flor BNH	24,25	24,89

↓

Sistema de riego	Implantación euros / m²	Mantenimiento euros / m²
Aspersión	6,13	0,61
Difusor	8,66	0,87
Borboteador	10,43	1,04
RWS	2,67	0,27
Goteo	3,94	0,39
Goteo enterrado	7,85	0,79
Cinta exudante	7,24	0,72

↓

Técnica jardinera	Implantación euros / m²	Mantenimiento euros / m²
Reciclador y altura siega	0	0
Fraccionamiento riego	0	0
Micorrizas	0,45	0
Retenedor	1,42	0
Acolchado 1	4,88	0,30
Acolchado 2	4,45	0,49
Acolchado 3	2,95	0,44

9.2. ANEXO 2. Sistemas de riego

Tabla 36. Especificaciones de los sistemas de riego utilizados

Sistemas de riego	Especificaciones
	Difusor alto Difusor alto emergente 30 cm de 12". Se colocó en las parcelas con arbustos de porte grande que son regadas mediante difusión. Dimensiones: • Altura total: SRS-12 - 39 cm (15 ¼"). • Conexión: hembra ½". • Diámetro expuesto: 5 cm. Especificaciones: • Intervalo de presiones recomendada: 1,0 a 4,8 bares; 103 a 482 kPa (15 a 70 PSI). • Junta autolimpiante: Por debajo de 0,7 bares; 68 kPa (10 PSI) el flujo de agua que sale por la junta autolimpiante es limitado a 0,02 m³/hr; 0,4 l/min (0,1 GPM). Por encima de 0,7 bares; 68 kPa (10 PSI) el flujo de agua de salida de la junta autolimpiante es cero (estanco). • Tasa de precipitación: aproximadamente 38 mm (1,5") por hora.
	Difusor bajo Difusor bajo de 10 cm: se instala en las demás parcelas con difusión. Dimensiones: • Entrada hembra roscada NPT (15/21) de ½". • Altura del cuerpo: US-400: 5 ⅞" (14,9 cm). • Diámetro de la superficie expuesta: 1 ¼" (3,2 cm). Especificaciones: • Pérdida de agua: 0 GPM a 10 PSI (0,75 bares) o más; de lo contrario 0,20 GPM (0,04 m³/h; 0,01 l/s).

Continúa en página siguiente...

Tabla 36. Continuación

Sistemas de riego	Especificaciones
	Aspersor El aspersor solamente se instaló en las tres parcelas de 100m². Dimensiones: Altura de emergencia (desde la tapa de la carcasa al centro de la tobera) 5000-Plus: 10 cm. • Altura total del cuerpo (aspersor cerrado): 5000-Plus: 18,5 cm. • Diámetro expuesto: 4,5 cm. Especificaciones: • Alcance: de 7,6 a 15,2 m. • Alcance con tornillo reductor de alcance: 5,7 m. • Presión: de 1,7 a 4,5 bar. • Caudales: de 0,17 a 2,19 m³/h. • Ángulo de trayectoria: - Ángulo estándar "Uniformidad+": 5°. - Ángulo bajo "Uniformidad+": 10°. • Toma roscada hembra de ¾" (20/27).
	Goteo Goteo autocompensado, con goteros a 30 cm: Se instala en todas las parcelas cuyo riego sea por goteo, tanto superficiales, como subterráneo. • Su caudal es de 2 l/h.

Continúa en página siguiente...

Tabla 36. Continuación

Sistemas de riego	Especificaciones
	Cinta exudante Parcela de vinca donde se ha colocado la cinta de exudación.
	Borboteador Todas las parcelas arbustivas que se riegan mediante borboteador, utilizan este sistema. • Caudal máximo de 25 l/h.
	RWS. Root Watering System Borboteador de profundidad. • Se empleó, exclusivamente, en dos parcelas: - Una en las parcelas arbóreas, la número 37 (uno, por cada ejemplar). - Otro en la número 32, cubierta por fotínea. • El caudal que emite es de 25 l/h.

Continúa en página siguiente...

Tabla 36. Continuación

Sistemas de riego	Especificaciones
	Electroválvulas Dimensiones: • Altura: 4 ½" (11,4 cm). • Altura (ángulo): 5 ½" (14 cm). • Longitud: 4 ¾" (11,1 cm). - Longitud (ángulo): 3 ¾" (9,5 cm). - Longitud (MM): 5 ¾" (13,6 cm). - Longitud (MB): 5 ¾" (14,6 cm). • Ancho: 3 ½" (8,4 cm). Especificaciones: • Presión: 15 a 150 PSI (1,03 a 10,34 bares). • Caudal de 075-DV: 0,2 a 22,0 GPM. (0,05 a 5,00 m³/ h; 0,01 a 1,39 l/s). Para caudales por debajo de 3 GPM (0,68 m³/h; 0,19 l/s) o cualquier aplicación Xerigation®, utilice el filtro RBY-075-200MX instalado corriente arriba. • Caudal de 100-DV: 0,2 a 40,0 GPM. (0,05 a 9,08 m³/ h; 0,01 a 2,52 l/s). Para caudales por debajo de 3 GPM (0,68 m³/h; 0,19 l/s) o cualquier aplicación Xerigation®, utilice el filtro RBY-100-200MX instalado corriente arriba. • Temperatura del agua: hasta 110°F (43°C). • Temperatura del ambiente: hasta 125°F (52°C). Parcela de vinca donde se ha colacado la cinta de exudación.

9.3. ANEXO 3. Sensores de humedad del suelo. Protocolo de instalación

9.3.1. La ubicación en distintas profundidades de los sensores

Los sensores de humedad del suelo se colocaron a distintas profundidades dependiendo del tipo de plantas de cada parcela.

El objetivo fue optimizar la medición de los sensores ubicándolos en la zona de mayor masa de raíces del cultivo. Para ello, en las parcelas de arbustos se colocaron los sensores a 20 centímetros de profundidad, mientras que en céspedes y tapizantes se situaron a 10 centímetros de la superficie.

Finalmente, en las parcelas de árboles se colocaron los sensores de forma vertical, para que la humedad recogida representara más volumen de raíces, ya que en los árboles las raíces son más profundas.

Motivos técnicos

La razón para situar los sensores a una profundidad de 10 centímetros, en las parcelas de césped y tapizantes y no más arriba, es que el volumen que estos exploran es de 5 centímetros alrededor de las varillas que conforman la parte activa de éste. Situarlos más arriba podría causar que las lecturas se viesen influidas por la irregularidad de la superficie. Sin embargo, podemos estar seguros de que los movimientos de agua en las capas superiores son detectados por el sensor, aunque la totalidad del agua no llegue completamente a la zona que explora. Por otro lado, situar el sensor más abajo podría ocasionar que en riegos de alta frecuencia, con poco caudal por riego, el agua no llegase a alcanzar a la zona explorada por el sensor.

Motivos agronómicos

Considerando los **Kc** manejados (entre 0,1 mínimo y 0,8 máximo) y las **ETo** usuales en la zona donde está el ensayo en períodos de máxima evapotranspiración (entre 5 y 7 milímetros por día) se puede concluir que el volumen de agua a regar oscila entre los 3 y 10 milímetros por día (considerando rendimientos del sistema).

Por esta razón, y para evaluar el impacto de diferentes estrategias de riego, entre otras aquellas donde se efectúen riegos diarios de poca duración, es importante situar el sensor lo más cerca posible de la superficie, puesto que es en la parte superior del suelo donde se producen los movimientos del agua. Es preciso considerar que en un día de alta demanda evapotranspirativa regando 10 milímetros es muy posible que ni siquiera una pequeña fracción de esta agua alcance una profundidad superior a los 10 centímetros.

9.3.2. Protocolo de trabajo planteado

Objetivos a conseguir

El objetivo del protocolo de instalación de los sensores fue obtener una buena medida de la humedad, en el menor tiempo posible.

Para instalar los sensores hay que realizar una excavación que provoca:

- Variaciones de la densidad aparente (que varía el número de microporos y en especial el de macroporos).
- Rotura de la estructura, que variará la permeabilidad natural del terreno.
- Creación de fisuras que actúan de camino preferente en el movimiento del agua.
- Aparición de bolsas de aire o irregularidades, (producidas por el mal contacto entre el sensor y el suelo).

En el caso del parque piloto, el suelo no tenía apenas estructura por lo que en la instalación hubo que centrarse en asegurar el contacto suelo-sensor e intentar, en la medida de lo posible, que la densidad aparente del suelo en el lugar donde se instalaba el sensor fuera la misma que la media y evitar la aparición de fisuras.

Para disminuir el efecto de estos problemas y reducir al máximo el período de consolidación se diseñó el siguiente protocolo de trabajo al realizar la instalación de sensores.

Procedimiento

Material necesario

- Agua.
- Cubo.
- Tamiz de 1-2 milímetros de luz (no es imprescindible, aunque ayuda).
- Plásticos para verter tierra sobre ellos, en su defecto bolsas de plástico o cubos.
- Material para mover la tierra.

Localización inicial del sensor

La recomendación general al realizar instalaciones en suelo agrícola es afectar lo menos posible al terreno circundante. Por ello, se tomarán las medidas necesarias para abrir zanjas del tamaño más pequeño dentro de lo posible (han de permitir la realización de trabajos en ellas). Se recomienda que una persona marque la posición teórica del sensor antes de realizar la zanja y que su tamaño se reduzca al mínimo imprescindible.

Apertura de la zanja

El trabajo ha de ser cuidadoso, ya que se corre un riesgo elevado de rotura de cables. Es preferible disminuir la velocidad de trabajo y asegurar la calidad de este. Cuando sea posible, se extraerá un “tepe” con la totalidad de las raíces de las plantas. De esa manera no originaremos una discontinuidad sin cultivo.

La tierra que esté por debajo del “tepe” se extraerá y se situará sobre un plástico⁶. Durante este proceso se harán varios montones, en cada montón se verterá la tierra procedente de 5 centímetros de extracción.

Elaboración de “barrillo”

Con una pequeña parte de la tierra extraída se elaborará barrillo. Para ello, en un cubo se añadirán aproximadamente tres partes de arena cribada y una parte de agua. Esta mezcla se agitará hasta conseguir una buena homogeneidad, es necesario homogeneizar siempre antes de cada uso. La pasta ha de ser viscosa, para que cumpla los objetivos perseguidos.

Instalación del sensor

Lo más apropiado es colocar el sensor sobre el fondo de la zanja y después rellenarla hasta la altura deseada, siguiendo el procedimiento descrito seguidamente.

Una vez instalado el sensor se recubrirá con una capa de barrillo; no es necesaria una gran cantidad sólo hay que asegurar que el sensor está recubierto con barro y que al añadir tierra esta quedará ligada a él. También se ha de asegurar que el barrillo penetra por las posibles fisuras que se hayan podido crear en el relleno (laterales de la zanja por ejemplo).

Figura 26. Instalación de sensor de humedad



⁶ Se pueden usar también cubos o cualquier otro recipiente, el objetivo de extraer la tierra de esta manera es que, al reponerla, se reponga en el mismo lugar, la misma cantidad y en la misma posición.

Relleno de la zanja

Este es el proceso más importante de todo este procedimiento. Al rellenar hay que cerciorarse de que la misma tierra que salió y fue separada por estratos de 5 centímetros, entra y ocupa el mismo lugar.

Para ello, se vierte la tierra en el interior de la zanja en el mismo orden que se sacó y se compacta suavemente (pisándola con cuidado con el pie o con la parte posterior de la azada) estrato a estrato.

Si se hubiese obtenido un “tepe” por la parte superior de este ha de verterse una pequeña cantidad de barrillo para que actúe de “sellantes”. Es importante que el barrillo esté repartido homogéneamente por toda la superficie. Si se ha realizado bien el procedimiento, el “tepe” quedará a la misma altura que el resto de la parcela.

Si recurriendo a un pisado ligero no se logra alcanzar la compactación necesaria se mojará, ligeramente, el estrato con una pequeña cantidad de agua distribuida homogéneamente; compactando posteriormente. Este es un último recurso al que hay que evitar acudir.

Acciones posteriores

Para terminar, una vez tapado el agujero, se recomienda verter el barrillo sobrante por las fisuras de los laterales de la zanja. Así mismo, se aconseja realizar un riego con una cantidad de agua mayor que la necesaria para facilitar el asentamiento del terreno.

9.4. ANEXO 4. Incidencias

Cualquier ensayo experimental siempre sufre algunos contratiempos debido a incidencias inesperadas. Dadas las características de este ensayo en particular, el cual no se realiza en atmósfera controlada por razones obvias, hace que exista mayor variabilidad que en otro tipo de ensayo en el cual las condiciones del ensayo están controladas.

Algunas de las incidencias a las que se ha hecho frente a lo largo de la duración del ensayo han sido:

Viento

El ensayo está situado en una zona ventosa donde, además, los patrones de dirección del viento entre día-noche difieren aproximadamente 180°. Este hecho provoca una mayor **ET_o**, así como un menor rendimiento de los sistemas de riego no localizado. En principio, los aspersores al regar una mayor superficie por punto de riego deberían haberse visto más desfavorecidos, sin embargo, han sido los difusores los que, al tener un tamaño de gota menor, han sufrido mayores problemas.

A la vista de los datos de viento recogidos por la estación meteorológica las medidas tomadas para minimizar este problema fueron varias:

- Se centró la programación de riegos en las horas donde, estadísticamente, la velocidad de viento era menor. Sin embargo no todos los riegos, de todas las parcelas, podían ser introducidos en esta zona horaria (debido a los múltiples riegos a programar los cuales no podían solaparse en el tiempo por restricciones del programador).

- Para estudiar el reparto de los sistemas de riego no localizado se recurrió a la instalación de pluviómetros. Se repartieron por toda la parcela de tal forma que se podía ver la influencia del viento en el riego destacando las zonas con mayor aportación real frente a las que quedaban más escasas. Las medidas se tomaban siempre a primera hora de la mañana para evitar errores por evaporación. El hecho de los cambios de patrón del viento indujo a dificultades en la interpretación de los resultados.

- A raíz de estos análisis de la distribución de agua en la parcela se decidió, en primer lugar, reducir al mínimo la altura de los difusores y aspersores y como segunda solución, cambiar la boca de los difusores, pasando de una inicial, de una única salida y apertura regulable (lo que introducía una variabilidad adicional) a otra opción, de doble ángulo respecto del suelo de salida (para cubrir mejor el área cercana al difusor) y una apertura fija de 90°. Al estar los sensores ubicados más próximos a los bordes de la parcelas, el cambio de las boquillas de los emisores redujo considerablemente la variabilidad de la pluviometría, en función de donde estaba el sensor.

Suelo

Debido a las características del terreno donde se instaló el parque piloto, que era una zona de echadizo y por tanto muy irregular, se decidió aportar una capa homogénea de tierra vegetal. Esta capa alcanzó una profundidad media de entre 20 y 25 centímetros, una vez compactada.

El terreno de aporte ha resultado ser muy poco permeable debido a distintos factores como el excesivo porcentaje de arenas finas, limos y arcillas o la escasa estructura del mismo.

Para evitar los problemas que este tipo de suelo ha generado se han llevado a cabo las siguientes medidas:

- Mantenimiento de la superficie que incluía la rotura de la costra superficial.
- Instalación de una serie de drenajes que permitirían una evacuación rápida del agua de lluvia, una vez que llegaba a la profundidad donde se encontraba la interfaz entre el suelo de aporte y el original.

Adicionalmente a los problemas descritos y muy favorecido por la poca permeabilidad del terreno, se observó que pequeñas variaciones de nivel, (4-5 centímetros) influían significativamente en la dinámica de la escorrentía del agua de riego sobre el terreno, incluyéndose, en ocasiones, la pérdida de agua por los laterales de cada parcela. Este hecho hacía que la humedad que mostraba el sensor no fuese representativa de la parcela, ya que dependía mucho de su ubicación en la misma. Para evitar esta situación se incidió en las labores de rotura de la costra superficial que trataban además, de eliminar las pendientes en las parcelas. Adicionalmente, se instalaron unas chapas metálicas en los laterales de la parcela lo que ha permitido reducir las pérdidas por escorrentía.

Programador

Se han encontrado los siguientes problemas:

Al ser el NMC-64 un programador de uso comercial y no diseñado específicamente para su empleo en ensayos no se ha podido realizar un ajuste fino, por ejemplo en el riego fraccionado, al no poder dar riegos con tiempo en fracciones de minuto.

El número de parcelas que componen el ensayo y la complejidad del mismo. El riego diferente para cada una de ellas no se adapta, al cien por cien, con las capacidades del programador.

Para solucionar estos problemas se adoptaron las medidas que se describen seguidamente.

- Los riegos eran siempre enteros, en minutos. En ningún caso, el error cometido por este motivo superó el 25 por ciento (sólo en riegos muy cortos). Para evitar, en la medida de lo posible, este problema sólo se fraccionaban riegos relativamente largos.
- En las ocasiones en que se tuvieron que agrupar los riegos, para que no quedasen programas libres, se hizo siempre asegurándose de que el error máximo era inferior al 2 por ciento.

Sensores de humedad de suelo - GROPOINT-

Estos sensores son de gran sensibilidad, por lo que fue necesario instalarlos con un protocolo diseñado al efecto de forma que se redujese al mínimo el tiempo de asentamiento necesario para obtener buenas medidas. Este protocolo se ha detallado en el anexo 3. *Sensores de humedad del suelo. Protocolo de instalación.*

Tras una primera etapa, donde los sensores tuvieron comportamientos erráticos, se reinstalaron con éxito siguiendo este protocolo y a profundidades acorde con la profundidad de las raíces desarrolladas por el cultivo en cuestión, entre 10 ó 20 centímetros, según el caso.

9.5. ANEXO 5. Materiales y equipos del proyecto de investigación

9.5.1. Preparación de la finca para implantación del parque

Al ser un terreno con ligera pendiente, una zona de la finca quedó en desmonte y la otra de relleno. Sobre este terreno se extendió una capa de terreno de aporte que, tras la compactación, alcanzó un espesor de unos 20 ó 25 centímetros, según la zona. Se realizó un análisis posterior del terreno para conocer su estructura y composición. A la vista de estos resultados se puede decir que el suelo se componía, principalmente, de arenas finas y limosas, limos y arcillas.

Una vez finalizada la preparación del terreno, se procedió a la distribución de las 60 parcelas de riego. Se diseñaron de forma cuadrada, y separadas por viales de 2 metros de ancho, para evitar la contaminación de unos ensayos con otros. El tamaño de las parcelas elegido fue de 5 x 5 metros, exceptuando tres destinadas al riego por aspersión, cuyas dimensiones debían ser mayores, alcanzando los 100 m² (10 x 10 m).

La instalación de riego consistió en dotar, a cada una de las 60 parcelas, de una llave de esfera, un contador individual con emisor de pulsos, una electroválvula y, en caso de ser parcela de goteo, un regulador de presión.

Figura 27. Imagen de una arqueta tras la colocación



9.5.2. Implantación del sistema de adquisición de datos

Los datos que había que recopilar eran la humedad del suelo, el caudal emitido en cada riego y la situación atmosférica en cada momento. Esto se consiguió por medio de un SCADA, que transmite las señales a la instrumentación por medio de ondas de radio. Éstas se almacenaron en un ordenador, el cual, gestionaba toda la información con los programas informáticos de IrriWise.

IrriwiseTM se componía de tres partes básicas, cuyas características se detallan seguidamente.

El sistema de recepción

Compuesto por receptor, con su correspondiente antena, que se conecta a un ordenador. En el ordenador se instala el software Irriwise Manager el cual gestiona las comunicaciones, recopila, almacena y procesa la información recibida; ofrece representaciones de los datos (gráficos, tablas) y tiene un sistema de alarmas que alertan de problemas en la instalación o bien, entre los valores de un sensor y los umbrales de seguridad previamente programados. Cabe destacar que el ordenador debe estar continuamente encendido recibiendo datos, por lo que se dispuso un SAI, que suministraba electricidad a los equipos en el caso de que se produjesen subidas o bajadas de tensión, o incluso, apagones eléctricos.

Sistema de telemetría

Compuesto por los transmisores (y si fuera necesario por distancia de los emisores al punto de recepción de datos, equipos repetidores, que no fueron precisos en esta instalación), que se encargan de transferir, vía radio en frecuencia libre, la información recogida por los sensores, hasta el equipo receptor, asegurando que los datos son recibidos en tiempo real. En el parque se disponía de tres tipos de transmisores, correspondiendo con los tres tipos de sensor.

De estación climática. Diseñado especialmente para la gestión del alto caudal de datos que genera la estación climática (temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar, velocidad y dirección de viento, pluviometría y **ETo** por el método de Penman).

De sensor Gro-Point. Con capacidad para instalar hasta 3 sensores por cada emisor (con 10 metros de longitud de cable). Envía la información recogida por los sensores de humedad del suelo.

De caudalímetro. Diseñados específicamente para efectuar informes de riego (tiempo y caudal) de un solo contador de pulsos. Siendo necesario uno por contador.

Sensores

En el parque piloto se instalaron sensores de clima, de humedad del suelo e hidráulicos. Cada uno de ellos mide los datos apropiados y aporta la información más fiable al productor/consultor para la toma de decisiones.

Sensor climático. Se trata de un diseño compacto que incluye los cinco sensores básicos que permiten el cálculo de la evapotranspiración de referencia (**ETo**). Estos miden la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, pluviometría y velocidad del viento. Adicionalmente, se instaló el sensor de dirección del viento.

Gracias a un procesador interno, la estación climática realiza los cálculos de la **ETo** -método Penman-, punto de rocío y máxima ráfaga, trasmitiéndolos conjuntamente a los demás datos.

Sensores de humedad en el suelo Gro-Point. Está basado en la tecnología **TDT** (Time Domain Transmissometry). Este sensor aporta la lectura del contenido volumétrico de agua en el suelo (porcentaje de m³ agua /m³ en suelo), a través de la medición de la conductividad eléctrica del suelo. La conductividad no es un valor constante sino que varía, fundamentalmente y dentro del rango de temperaturas usuales en el medio, en función del contenido de agua.

El sensor contiene un emisor que lanza una onda de frecuencia conocida, esta onda se deforma en función de la conductividad del terreno, la onda deformada es recogida por un sistema receptor. Midiendo las diferencias de frecuencia entre la onda emitida y la onda recibida es posible calcular la constante dieléctrica del terreno. A partir de la constante dieléctrica es posible obtener un valor de humedad en el suelo a través de una fórmula del tipo:

% vol = aKb + c

Donde

% vol el volumen de agua en el suelo.

K la constante dieléctrica del terreno.

a, b y c constantes que dependen del tipo de suelo.

El Gro-Point realiza la medición de la humedad en un área de 10 centímetros de radio desde el cilindro central y a lo largo de toda su longitud (12 centímetros). Esto implica que el volumen explorado es de aproximadamente 4 litros.

Sensor hidráulico. El sensor es un contador de media pulgada al que se le conecta un medidor de pulsos. Es posible incluir contadores de diferente diámetro y capacidad para ajustarse a las necesidades buscadas. El modo de funcionamiento del transmisor es el siguiente: el transmisor no recoge pulsos -está en hibernación- hasta que no se producen, al menos, 4 pulsos en un período inferior a 120 segundos, una vez que esto sucede el transmisor entra en modo riego recogiendo el número de pulsos cada 10 minutos hasta que el riego finaliza (menos de 4 pulsos en un período de tiempo de 120 segundos). Este número de pulsos, por períodos de 10 minutos, son almacenados por el transmisor y enviados al sistema central, donde se procesa la información. El proceso de la información es simplemente multiplicar el número de pulsos producidos por la cantidad de agua/pulso.

9.5.3. Sistemas de riego

En función de los diferentes cultivos se instalaron los pertinentes sistemas de riego. Por un lado, se seleccionó el sistema de riego más asiduamente usado según el tipo de cultivo; además, se introdujo como alternativa otro sistema de riego más eficiente.

Los diferentes equipos utilizados fueron los siguientes:

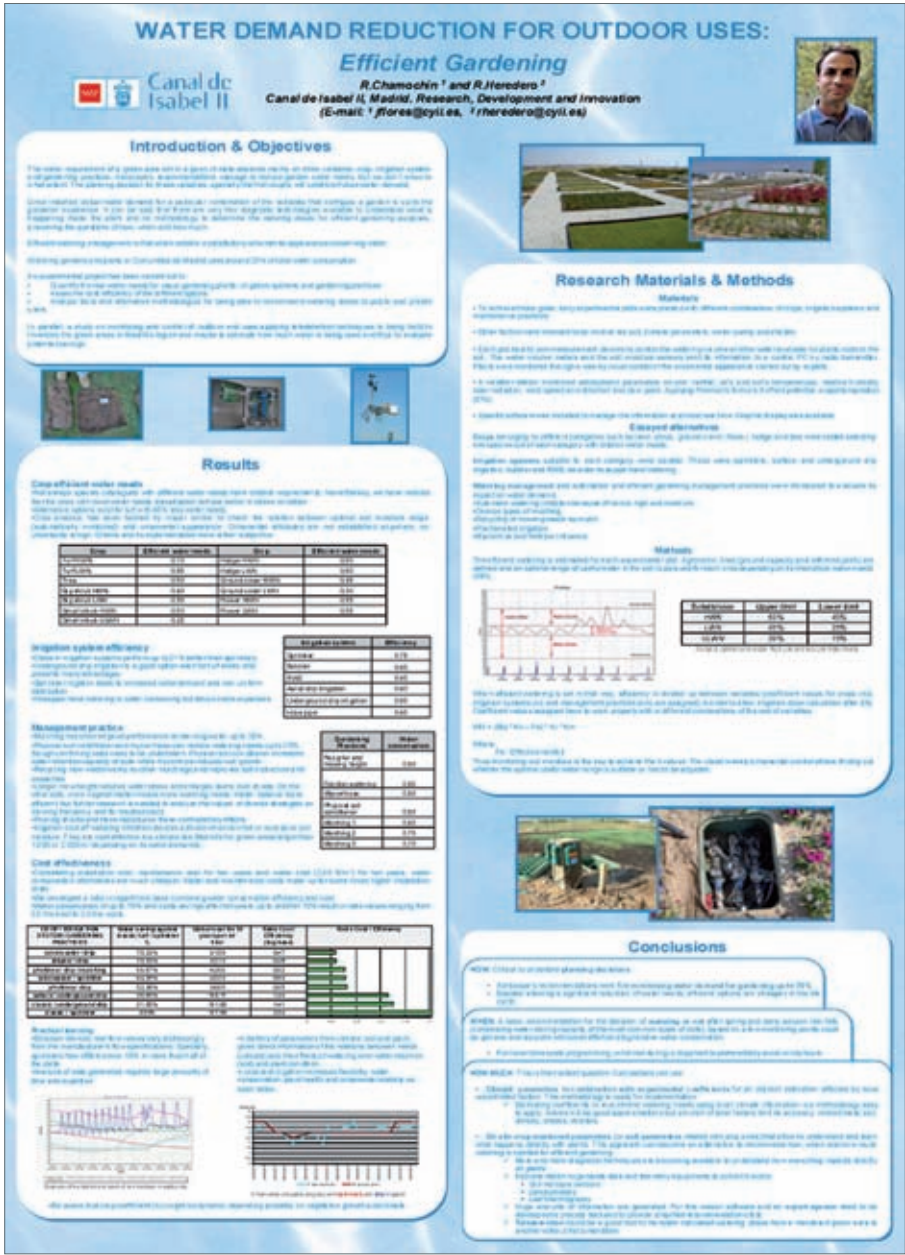
- Difusor alto.
- Difusor bajo.
- Goteo autocompensado.
- Cinta exudante.
- Aspersor.
- Borboteador.
- RWS (Root Water System).

Aparte de estos sistemas de riego, se instalaron electroválvulas tele-comandadas por el programador, de forma que se podían controlar los riegos.

La información en detalle se encuentra recogida en el anexo 2.- “Sistemas de riego”.

9.6. ANEXO 6. Publicaciones

Figura 28. Póster presentado en conferencia International Water Association 2008, Viena





10

Apéndice

Guía de jardinería eficiente



ÍNDICE DE CONTENIDOS - APÉNDICE

1. INTRODUCCIÓN página 138

- 1.1. El agua en la Comunidad de Madrid
- 1.2. Consumo de agua según tipología de vivienda

2. DISEÑO ADECUADO página 144

- 2.1. Tener en cuenta la orografía del terreno
- 2.2. Microclimas
- 2.3. Agrupar las plantaciones según necesidades hídricas similares
- 2.4. Cambio de mentalidad, ejemplos a visitar

3. ANÁLISIS Y MEJORA DEL SUELO página 156

- 3.1. Textura de los suelos
- 3.2. Profundidad de los suelos
- 3.3. pH de los suelos
- 3.4. Salinidad, alcalinidad, falta de algún elemento químico en los suelos

4. ABONOS página 164

- 4.1. Abonos orgánicos
- 4.2. Abonos minerales
- 4.3. Estación de aplicación y periodicidad
- 4.4. Efectos sobre el consumo de agua

5. RIEGO EFICIENTE página 172

- 5.1. Sistemas de riego y elementos
- 5.2. Buena planificación. A cada zona su riego
- 5.3. Práctica de riego. Cómo regar gastando menos agua
- 5.4. Dispositivos para mejorar la eficiencia del riego
- 5.5. Un riego correctamente diseñado. Pautas de aprovechamiento de agua
- 5.6. Mantenimiento del sistema de riego

6. SELECCIÓN DE ESPECIES página 188

- 6.1. Especies de bajo consumo para la Comunidad de Madrid
- 6.2. Las plantas autóctonas
- 6.3. A cada planta su lugar
- 6.4. El endurecimiento
- 6.5. El problema del césped

7. BUENAS PRÁCTICAS JARDINERAS Y DE MANTENIMIENTO página 208

8. ÍNDICE DE FIGURAS - Apéndice - página 212

9. ÍNDICE DE TABLAS - Apéndice - página 216

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ESPECÍFICAS página 220

Apéndice

1

Introducción

Esta guía está dirigida fundamentalmente a pequeños propietarios de jardines, comunidades de vecinos, responsables de jardinería, tanto en el ámbito público como privado, y por supuesto, a jardineros.

Pretende ofrecer unas nociones básicas sobre la jardinería de bajo consumo de agua, servir como herramienta para la toma de decisiones de implantación, renovación o mantenimiento de zonas verdes y sensibilizar a la sociedad sobre la problemática del agua en la Comunidad de Madrid.

Para completar la información presentada en esta guía, se indica cierta bibliografía al final del documento.

Canal de Isabel II edita esta guía con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso del agua en jardinería. Esta guía está enmarcada en el abanico de iniciativas como el parque piloto experimental de eficiencia de riego, el sistema inteligente de riego o la campaña “Hoy no hace falta regar”.

1.1. El agua en la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid constituye un ámbito geográfico de eminente carácter urbano; esta circunstancia ha marcado considerablemente el modelo de consumo de agua que se diferencia bastante de la media nacional.

Si bien en nuestro país los grandes consumidores del líquido elemento son los agricultores, en Madrid es el consumo urbano el que mayor demanda genera. Un gasto que no solo consiste en el agua para beber sino que también incluye aquella que necesitamos para la limpieza, baldeo de calles, industrias, comercios, riego de áreas verdes o piscinas.

Tabla A. Distribución del uso del agua en la Comunidad de Madrid

Uso	Porcentaje
Viviendas plurifamiliares	53 %
Viviendas unifamiliares	14 %
Industrial	8 %
Comercial	11 %
Institucional	6 %
Riegos	3 %
Otros	5 %

El agua se captaba antiguamente de manantiales, ríos no regulados y “viajes de agua”, túneles horadados que drenaban el agua del subsuelo y la dirigían hacia las fuentes. Este modelo ha experimentado un cambio trascendental en los últimos doscientos años y el aumento del consumo de agua ha sido exponencial, pasándose de un gasto de 80 litros por persona y día, en la pasada centuria, a 255 litros por persona y día en la actualidad. Esta circunstancia ha obligado a explotar todos los recursos hídricos del territorio, sobre todo cauces de los ríos y, en las últimas décadas, también los acuíferos subterráneos. Estas captaciones son fundamentales para el desarrollo de nuestra sociedad pero no son gratuitas y tienen un importante impacto ambiental ya que los ríos tienen que ser regulados mediante embalses, perdiendo gran parte de su naturalidad y dejando de comportarse como ecosistemas independientes de la acción humana.

Figura A. Embalse de El Atazar, Comunidad de Madrid



Las perspectivas de futuro indican que el consumo tiende a seguir aumentando debido a nuestra forma de vida, tal y como la concebimos, no reparando lo suficiente en que el agua es un recurso escaso y debe ser consumida con racionalidad. Por otra parte, cabe resaltar que en los últimos años la población en Madrid ha aumentado en un millón de personas.

1.2. Consumo de agua según tipología de vivienda

No todos los madrileños consumen la misma cantidad de agua; existe una relación muy clara entre tipología de vivienda y gasto. Así, las casas con jardín llegan a consumir de dos a cuatro veces y media más que una vivienda sin jardín. Evidentemente, esto se debe al agua empleada en el riego de las plantas. Sobre todo porque el modelo imperante en el diseño de jardines se basa en el empleo de plantas de altas necesidades hídricas, en concreto el césped y en una muy ineficiente manera de regar. Además, la proliferación de piscinas y la mala gestión del agua que necesitan agravan todavía más el problema, sobre todo en periodos de sequía.

Afortunadamente, existen muchas alternativas a estos problemas, de manera que podamos seguir disfrutando de nuestros vergeles, sin malgastar el agua.

Para ello, vamos a reparar en una serie de técnicas que, no solo van a permitir importantes ahorros de agua, sino también una mejor gestión del recurso. Estas técnicas conforman lo que se ha llamado **xerojardinería** o jardinería de bajo consumo de agua, que como se va a explicar, no consiste en tener un jardín de cactus, sino en la utilización de una serie de procedimientos que ayudan a ahorrar agua en el jardín.

Brevemente se resumen en los siguientes conceptos algunas de estas técnicas:

- Diseño adecuado del jardín.
- Estudio y mejora del suelo.
- Selección de las especies vegetales adecuadas.
- El césped y otras alternativas para cubrir el terreno.
- Buenas prácticas de mantenimiento.
- Riego eficiente.

Basándose en estas premisas, la **xerojardinería** no sólo pretende reducir el consumo de agua, sino que también tiene un sentido ecológico, buscando los jardines de mínimo mantenimiento y mínimo uso de productos fitosanitarios.

Apéndice

2

Diseño adecuado

Un aspecto fundamental, a la hora de que nuestro jardín sea poco consumidor de agua, es planificar adecuadamente la distribución de las especies que lo van a componer. En esta planificación deberemos considerar una serie de elementos que se van a presentar a continuación.

2.1. Tener en cuenta la orografía del terreno

Se procurará evitar la implantación de céspedes o especies que se rieguen por aspersión o difusión en zonas en pendiente, ya que al regar, la mayor parte del agua escurrirá y se perderá por los caminos o fuera de la parcela. Para estos casos lo ideal será el riego por goteo o por microaspersión.

Figura B. Césped en ladera



Una buena medida para las zonas en pendiente es formar bancales de tierra, de superficie horizontal, que se sujetarán con muros de ladrillo o piedra, o por medio de taludes cubiertos preferentemente de especies tapizantes.

Esta solución en bancales es más cara, en principio, pero nos evita escorrentías y facilita a la larga el mantenimiento del jardín.

Un ejemplo de ajardinamiento en bancales se puede ver en la figura C.

Figura C. Jardín con terrazas o bancales



2.2. Microclimas

De manera natural, todos buscamos la sombra de los árboles cuando tenemos calor y nos protegemos de los vientos fríos al abrigo de muros o setos. Este mismo principio llevado a la jardinería, nos aconseja la creación en nuestro jardín de zonas de sombra, mediante la plantación de árboles, o mediante la formación de pérgolas o emparrados. De esa manera conseguiremos reducir las necesidades de agua de las plantas que se encuentren bajo la influencia de ese espacio protector.

Tampoco hay que olvidar, a la hora de planificar nuestro jardín, el adecuar la disposición de las especies a las condiciones de sol, sombra, semisombra, y tolerancia a los vientos que les son propias. Por ejemplo, las **hortensias** deberán plantarse en zona de sombra, y las **plantas aromáticas** en lugares soleados.

Figura D. Jardín de sombras acogedoras



En el caso del viento, diremos que es un factor doblemente negativo ya que por una parte, evapora el agua de las plantas y praderas y por otra, deseca los suelos -sobre todo los suelos desnudos-, provocando el endurecimiento y la formación de costras superficiales en algunos de ellos.

Para limitar los efectos negativos del viento lo ideal es la formación de setos cortavientos en aquellas orientaciones donde sopla con intensidad. Estos cortavientos serán permeables al aire, ya que lo deseado es que reduzcan su fuerza, pero sin formar una pantalla totalmente cerrada, que crearía turbulencias y nos privaría de la brisa beneficiosa en verano. Se pueden realizar de distintas formas, pero lo ideal es la combinación de masas de arbustos y árboles en los límites de nuestra parcela, la mayor parte deberán de ser de hoja perenne, para cumplir su función en todas las estaciones del año.

Figura E. Seto variado



Como especies adecuadas a estos propósitos se pueden incluir las que, además de protegernos del viento, poseen frutos atractivos y son refugio para los pájaros. Con la selección de este tipo de especies conseguimos una doble ventaja, gracias a lo beneficiosas que resultan las aves insectívoras para eliminar plagas del jardín.

Algunas especies apropiadas y poco consumidoras de agua, clasificadas según su tipo de hoja serían las citadas aquí, a modo de ejemplo:

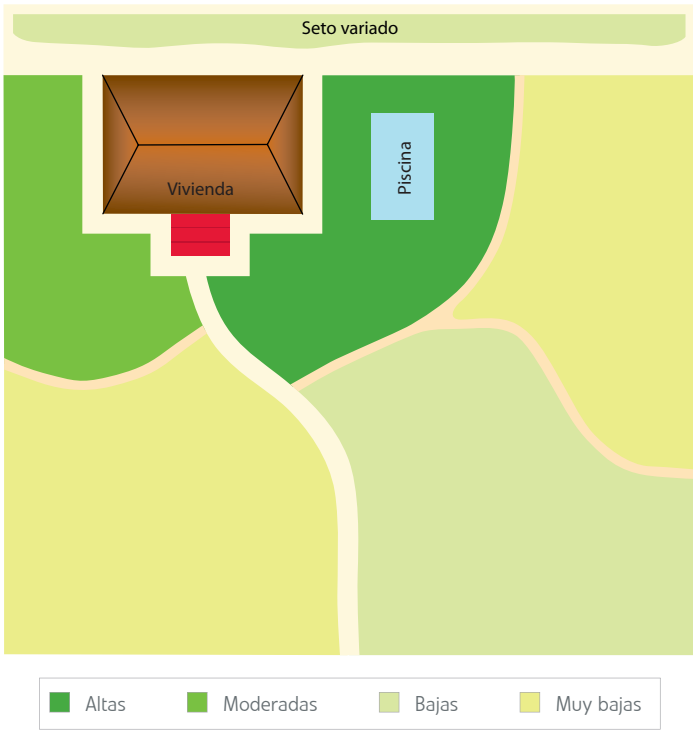
- **De hoja perenne:** Madroño, laurel, durillo, mirto, adelfa, retama, romero, tejo, algunas variedades de coníferas, pitosporo, eleagnus, algunos cotoneaster, árbol del paraíso.
- **De hoja caduca:** Lantana, majuelo, hibisco, endrino, rosál silvestre, amelanchier, algunas variedades de crataegus, fresno, roble, almez, taray.

Si nuestro jardín es pequeño, o posee un cerramiento de valla metálica podemos utilizar rollos de brezo o cañizo, no muy densos, para que "filtren" el aire y reduzcan su velocidad, o bien, utilizar plantas trepadoras que cubran la valla. En los dos casos es conveniente reforzar los postes de la valla para evitar que sea tumbada en caso de vientos muy fuertes.

Figura F. Cerramiento de brezo



Figura G. Plano de xerojardín, con sus distintas zonas de consumo de agua



2.3. Agrupar las plantaciones según necesidades hídricas similares

Lo que se conoce en xerojardinería como **zonificación** es el diseño eficiente del jardín situando las plantas de manera que se agrupen, en la misma zona, especies con idénticas características en cuanto a consumo de agua. No por ello es necesario que sean grupos de la misma planta, se pueden mezclar distintos géneros, aunque respetando el principio de una cierta homogeneidad en cuanto a sus necesidades de agua.

En xerojardinería, se clasifican las plantas en cuatro grupos, atendiendo a sus requerimientos de agua. **Necesidades altas, moderadas, bajas y muy bajas.** Es conveniente disponer las plantas de necesidades altas en los bordes del césped, para que aprovechen el agua que deriva de los elementos de riego.

Un ejemplo de lo que no se debe hacer, que a menudo se observa en jardines, es colocar una plantación de aromáticas, de bajo consumo, en medio de una pradera de césped, ya que al regar todo el conjunto según las necesidades del elemento de mayor consumo, en este caso el césped, no se ahorraría nada de agua, perjudicando a las aromáticas además, por el aporte excesivo. En el capítulo 6 se incluye una relación de plantas clasificadas según sus necesidades hídricas.

2.4. Cambio de mentalidad, ejemplos a visitar

Desde hace bastante tiempo se ha venido abusando en nuestro país de un diseño de parques públicos y jardines privados de alto consumo de agua. Este modelo está basado, casi exclusivamente, en un tipo de jardín cuya base principal corresponde a extensas praderas de césped, salpicadas con mayor o menor acierto estético, por grupos de árboles y arbustos. Esta clase de jardín se ha visto propiciado, en cierta medida por las empresas de jardinería y los gestores, ya que su establecimiento es rápido, su mantenimiento relativamente sencillo y el césped o “verde” estéticamente, es apreciado por la mayor parte del público.

Figura H. Parque típico de modelo anglosajón



En los últimos años, ya sea a causa de la escasez puntual de agua o a una deseable toma de conciencia, este modelo va siendo cuestionado y, gracias a ello, ya se puede apreciar la realización de jardines públicos y privados con un diseño más racional.

Sin tener que renunciar totalmente al césped, que tiene indudables ventajas en ciertas zonas del jardín, debemos retomar un modelo más acorde a nuestro clima, a la disponibilidad de agua, y a nuestra tradición jardinera, muy rica y variada.

En pequeños jardines del tipo de chalets adosados, o viviendas unifamiliares con reducidas parcelas, una alternativa a recuperar sería la implantación del tradicional patio, con su pequeño árbol de hoja caduca, que nos proporciona sombra y frescor en verano y permite pasar los rayos solares en invierno. En los contornos y otros lugares del jardín, plantas en maceta o directamente en la tierra.

En parcelas de mayor extensión, ya correspondan a un único propietario, ya sea una comunidad de vecinos o urbanización, se puede reservar el césped para zonas cercanas a las viviendas y en el resto de la parcela establecer otro tipo de plantaciones, de menor consumo hídrico, en las que además, pueden incluirse zonas de arena que servirán para juego y esparcimiento de niños y mayores.

Figura I. Jardín tipo patio: Museo Sorolla en Madrid



En la ciudad de Madrid se dispone de magníficos modelos de parques y jardines de bajo consumo de agua, que pueden visitarse y servir de ejemplo y disfrute.

Sirvan como muestra de lo anterior los jardines del Museo Sorolla, El Retiro, los Jardines de Sabatini, La Quinta de Los Molinos, La Casita del Príncipe, los jardines del Palacio de Anglona, El Capricho, los jardines urbanos de la zona del complejo Azca, el parque de Santander.

Figura J. Jardines de la Casita del Príncipe



Apéndice

3

Análisis y mejora del suelo

Antes de proceder al establecimiento de las plantas en nuestro jardín, debemos conocer las características del suelo sobre el que van a vivir. Características estas, tanto físicas (textura, capacidad de drenaje, profundidad), como químicas (pH, salinidad, elementos nutritivos). Todos estos factores van a influir sobre el crecimiento, salud y aspecto vegetativo de las plantas, de manera que si adecuamos las mismas a las características del suelo, las exigencias de agua serán menores.

3.1. Textura de los suelos

La textura del suelo depende del tamaño de los materiales que lo componen y de la proporción en que se encuentran mezclados. Atendiendo a su tamaño, y de mayor a menor grosor, estos elementos se denominan: arena, limo y arcilla.

En los suelos llamados “arenosos” predominan los elementos más gruesos, lo que les confiere una rápida penetración de agua y alta capacidad de drenaje, pero por el contrario, poseen una baja capacidad de retención de agua y pérdida de la misma al subsuelo.

En los suelos “arcillosos”, en los que predominan los elementos finos, se darían las características contrarias, esto es lenta penetración del agua y por tanto, mayor escorrentía con pérdida de agua de lluvia y de riego y dificultad de drenaje. A su favor cuenta la alta capacidad de retención del agua. Esta capacidad de retención se ha cuantificado en agricultura obteniéndose unas cifras que aproximadamente, triplican la capacidad de retención de un suelo arenoso.

No solo la capacidad de retención depende de la textura, sino que también es muy importante el contenido de materia orgánica. Los suelos ideales se denominan en agricultura “francos”, y en ellos se da una proporción ideal de arcilla, limo y arena, por lo que son capaces de retener agua y a la vez drenar el exceso de la misma.

Aunque lo más aconsejable es adecuar las plantas al suelo que disponemos, podemos mejorar sus propiedades físicas de diversas formas. Tanto para suelos arenosos, como para suelos arcillosos es interesante realizar un aporte de materia orgánica, ya sea en forma de **estiércol**, **compost**, o **humus de lombriz**, antes de realizar las plantaciones, ya que se mejora su textura y su riqueza en elementos nutritivos. Una sencilla manera de favorecer la absorción de estos elementos nutritivos por las raíces de las plantas, consiste en la aportación al suelo de **micorrizas**. Las **micorrizas** son hongos que se asociarán simbióticamente con las raíces, favoreciendo su alimentación y desarrollo y que se pueden adquirir directamente en los centros de jardinería.

En los suelos arcillosos se puede además aportar arena de río, en una cantidad de 2 a 3 metros cúbicos por cada 100 metros cuadrados, mezclándola con la tierra, para mejorar su capacidad de drenaje. En este tipo de suelos con arcilla es indispensable la realización de drenajes, que consistirán en la apertura de zanjas, a mano o a máquina. En el fondo de la zanja se colocan tubos de drenaje y posteriormente se rellena el hueco abierto con arena y grava. La justificación de estas maniobras es la sensibilidad de las plantas de bajas necesidades hídricas al exceso de humedad.

Figura K. Realización de drenajes en el parque piloto



3.2. Profundidad de los suelos

Es sobradamente conocido que cuanto mayor sea la profundidad de un suelo, mayor será su capacidad para almacenar agua y nutrientes y ponerlos a disposición de las plantas cuando éstas lo necesiten.

Otro beneficio muy importante a tener en cuenta es que, en el caso de los árboles, un suelo de esta clase les va a permitir desarrollar un sistema radicular mucho más extenso y profundo, siendo, por tanto, mucho más resistentes a periodos de sequía y a fuertes vientos.

Las medidas de profundidad mínima del suelo, estarán condicionadas por el tipo de cultivo que se va a asentar en él.

Como valores mínimos aproximados de profundidad de suelo se aportan los valores siguientes:

- Césped, se necesitan unos 20 centímetros.
- Arbustos y plantas, necesitan unos 40 centímetros.
- Árboles, el suelo mínimo deseable sería de un metro de profundidad.

Si no se dispone de estas profundidades y se tiene que aportar suelo, lo ideal es encargar al vivero una mezcla formada por tierra vegetal, de buena calidad, con arena de río y mantillo o compost.

Pudiera darse la existencia en nuestro suelo de algún tipo de compactación del mismo, a una determinada profundidad. En la medida de lo posible es deseable la rotura de esta “suela”, ya sea en el momento de realizar los hoyos de plantación, o por medio de maquinaria adecuada (subsolador) en toda la parcela.

3.3. pH de los suelos

Se define el pH como el grado de acidez o alcalinidad de un suelo.

En jardinería se dispone de plantas adaptadas a los distintos grados de pH y de plantas que son indiferentes a él, por lo que interesa conocerlo para así realizar una selección adecuada de especies.

En el capítulo 6, que presenta una selección de especies, se señalan las limitaciones de las mismas en cuanto a los valores de tolerancia del pH.

El valor del pH de nuestro suelo se puede conocer con bastante aproximación. En centros de jardinería especializada se distribuyen pequeños equipos, con tiras reactivas y una escala de colores, que permitirá determinarlo fácilmente.

Figura L. Aparato medidor del pH



3.4. Salinidad, alcalinidad, falta de algún elemento químico en los suelos

Como en los apartados anteriores, siempre es preferible adaptar las plantas a las condiciones de partida, sin embargo, se pueden contrarrestar parcialmente sus efectos negativos. En el caso de la salinidad, por medio de la realización de un drenaje eficaz. En suelos alcalinos, aportando sustratos ácidos, o mucho mejor, agrupando las plantas acidófilas de tipo de las camelias, brezos, azaleas, rododendros, etc., en una zona común, en la que se creará un suelo apropiado a sus necesidades.

En los casos en que se produzca la falta de algún elemento químico, se solucionará aportando productos ricos en él, como se verá al hablar de los abonos.

Figura M. Hoja de fotínea mostrando falta de hierro



Apéndice

4

Abonos

En su medio natural las plantas no necesitan ser abonadas, sin embargo en un jardín se están creando unas condiciones de competencia que hacen que, para que las plantas y árboles se puedan desarrollar, se precise alimentarlas con una cierta periodicidad, por medio de abonados. Se distinguen dos tipos de abonos, según sea su origen.

4.1. Abonos orgánicos

Son de procedencia vegetal o animal. Entre ellos se encuentran los siguientes.

- **Estiércol y mantillos.** Proceden de las deyecciones de animales como vacas, caballos, aves. Pueden ir mezclados con restos vegetales. Es importante que el estiércol esté bien “hecho”, ya que de lo contrario dará lugar a la aparición de muchas malas hierbas en nuestro jardín, debido a las semillas que porta consigo.
- **Compost.** Es el abono obtenido mediante un proceso de compostaje de restos vegetales y orgánicos. En el mercado tenemos una variada oferta de compostadores, que son unos recipientes, generalmente de plástico, que nos permiten realizar este proceso. Algunos ayuntamientos disponen de centros de recogida de restos vegetales, que posteriormente trituran y compostan. Una vez finalizado el proceso, el **compost** es repartido entre los vecinos. Este método nos parece muy acertado, ya que evita el desperdicio de toneladas de materia orgánica que, en la mayoría de los casos, se quema contaminando el aire. El compostaje es una solución muy adecuada a la hora de encontrar aprovechamiento a muchos restos vegetales de nuestro jardín y a parte de las basuras domésticas.

4.1.1. Cómo hacer compost

El compost surge de la fermentación aeróbica (en presencia de oxígeno) de la materia orgánica. En este proceso se originan diferentes materiales que siempre nos serán útiles en el jardín.

Iniciaremos el proceso haciendo un montón con la materia orgánica recolectada en el jardín. Este montón comenzará a fermentar debido a la actividad microbiana. La temperatura irá subiendo hasta los 50-60°C a lo largo de la primera semana. Posteriormente la temperatura va bajando, poco a poco, durante uno a dos meses, y el montón se va compactando reduciéndose en volumen. Esto es lo que llamamos **compost joven**. Lo podemos utilizar esparciéndolo por el suelo, pero sin mezclarlo con la tierra, se trata de un material muy apto para hacer acolchados.

Si dejamos evolucionar el montón observaremos como la temperatura sigue descendiendo hasta llegar a la temperatura ambiente. Este proceso puede durar de 6 a 9 meses, formando lo que se llama **compost maduro**, que podemos utilizar como abono, esparciéndolo por el suelo y mezclándolo muy someramente con la tierra. Es el material ideal, con un “olor a bosque” y en el que los materiales de origen no se pueden distinguir.

Si se deja evolucionar el montón, aún más tiempo, conseguiremos el **compost viejo**, un material que ha perdido muchos nutrientes y que se puede utilizar como sustrato para semilleros y macetas.

Para conseguir **humus** con los restos orgánicos del jardín, se pueden utilizar muchos materiales, tales como restos de podas, césped de siega, hojas etc., pero deben ser mezclados en una correcta proporción.

Los materiales “**húmedos**” como pueden ser el césped, poseen mucho nitrógeno, lo que hace que la fermentación sea muy rápida. En ocasiones se producen fermentaciones sin oxígeno, el montón huele mal y perdemos nutrientes.

Los materiales “**secos**” como restos de poda, hojas, etc., poseen mucho carbono en forma de celulosas y ligninas, lo que provoca que el compostaje sea excesivamente lento.

Por ello, se deben mezclar materiales secos y húmedos, de manera que equilibremos la relación carbono/ nitrógeno. En general cuanto más variados sean los materiales mejor. Además, se tiene que conseguir una humedad adecuada, pues un montón excesivamente seco no “arrancará” y uno empapado fermentará anaeróbicamente.

Es muy fácil controlar la humedad. Al coger un puñado de compost se tendrá que notar húmedo al tacto y al apretarlo no desprenderá agua. Si está seco, se regará y si está húmedo se volteará con una horca, añadiendo materia seca (como hojas secas) durante el volteo.

La aireación es importante, pues las bacterias que fermentan la materia orgánica necesitan oxígeno. Si notamos que el montón huele mal lo voltearemos. De esta manera incorporamos oxígeno al proceso.

Los materiales deben estar finamente triturados, no dejando partículas superiores a 5 centímetros. En cuanto a los materiales, se puede utilizar casi de todo, aunque debemos evitar cáscaras de cítricos, carne y algunos restos de poda provenientes de cupresáceas ya que acidifican.

Describiremos dos maneras de hacer **compost**.

Método del montón

- Necesitaremos un montón de restos de, al menos, un metro cúbico.
- Mezclaremos los materiales “secos” y “húmedos” Elegiremos un emplazamiento alejado de la casa, con agua y en contacto directo con la tierra. El montón medirá 160 centímetros de ancho por 150 centímetros de alto y todo lo largo que se quiera.
- La primera capa será de materiales gruesos.
- Haremos capas de 20 centímetros, que iremos regando.
- Esperaremos a que “arranque” la fermentación. Si vemos que no fermenta, podemos estimular el proceso añadiendo productos específicos, ya preparados, o dejando un día compost maduro en agua y regando a continuación.

Método del compostadero

- Consiste en realizar el proceso dentro de un recipiente que podemos hacer nosotros o comprarlo. En ambos casos debe ser de, al menos, un metro cúbico de capacidad.
- Se carga por arriba y se descarga por abajo. Puede, pues, funcionar de manera continua.
- La primera capa será de materiales gruesos. Iremos acumulando materiales, mezclaremos los materiales “secos” y “húmedos”, de vez en cuando añadiremos un puñado de compost maduro.
- Si hay problemas, como exceso de humedad, fermentaciones o ausencia de oxígeno abriremos el compostadero y voltearemos el montón.
- Regaremos si hace falta.
- Obtendremos compost en un tiempo estimado entre 4 y 6 meses.
- Se puede descargar por abajo e ir añadiendo materiales por arriba. Los materiales de abajo deben estar en contacto con la tierra.

La figura N ilustra un compostador casero realizado con palets de madera.

Figura N. Compostador realizado con palets de madera



Cómo reconocer un buen compost

Un compost bien evolucionado huele a bosque. Si no huele es que es demasiado viejo. La textura tiene que ser suelta y granulosa y los materiales de color oscuro.

Problemas y soluciones

- **Mal olor.** Hay exceso de agua o mala ventilación. Voltearemos el montón y añadiremos materiales secos.
- **Color blanquecino** (como harina). Está demasiado seco. Regaremos.
- **Compactación con mal olor.** Se removerá enérgicamente; voltearemos y añadiremos elementos fibrosos.
- **Mosquitos.** Aunque resulten molestos, para la fermentación son positivos. Si producen inconvenientes, evitaremos utilizar materiales acuosos. Si el montón está empapado, lo voltearemos y añadiremos materiales secos.
- **Roedores.** No se dan en compostadores cerrados.

4.2. Abonos minerales

Proceden de minerales y se utilizan directamente machacados o después de procesos de refinado industrial. Existe una amplia variedad:

- **Abonos minerales comunes:** Como el triple 15, la urea, etc. Se caracterizan por ser de acción muy rápida. Hay que tener cuidado de no sobrepasar la dosis, ya que se pueden “quemar” las plantas al aplicarlos.
- **Abonos de liberación lenta:** Se venden bajo diversos nombres comerciales: Nitrophoska, Osmocote, Floranid. Son más caros que los anteriores, pero su ventaja es que van liberando lentamente los elementos nutritivos, llegando a ser eficaces durante varios meses, lo que les hace muy recomendables para el jardín.
- **Abonos líquidos:** Se pueden utilizar junto con el riego, ya sea con regadera o mezclándolos con el riego por goteo y también por medio de pulverizaciones foliares. Son muy interesantes para el riego de macetas y jardineras y también en zonas de grava y acolchados.
- **Abonos correctores de carencias:** Son los empleados para corregir carencias de algún elemento. Sirvan como ejemplo los quelatos, para la falta de hierro.
- **Abonos organominerales:** Se comercializan generalmente en forma de “pellets” o gránulos. Consisten en una mezcla de abonos orgánicos, generalmente procedentes de granjas animales, junto con algún abono mineral que lo complementa aumentando su contenido en nitrógeno. Es muy adecuado para el abonado de céspedes, ya que se puede repartir con sembradora centrífuga y está libre de malas hierbas. No es tan adecuado para plantas, ya que se arrastra sin querer con la escoba, al hacer la limpieza de hojas y restos.

4.3. Estación de aplicación y periodicidad

En el caso de los abonados de fondo, éstos se realizarán antes de la plantación de las especies del jardín. Para el resto de los abonados tendremos en cuenta una serie de medidas, según el cultivo al que van dirigidos.

Céspedes

Realizaremos el abonado orgánico preferentemente a la salida del invierno, aproximadamente en el mes de marzo; no conviene adelantarse mucho a esta fecha debido a un posible lavado por lluvias del nitrógeno contenido en los abonos y para no forzar la brotación del césped, en una época en la que son frecuentes todavía las heladas fuertes.

Posteriormente, sobre principios de junio aportaremos un abonado mineral, preferentemente de liberación lenta, que será suficiente para el resto de la temporada.

Plantas y arbustos

Al igual que el césped, se realizará el primer abonado a la salida del invierno, con abono orgánico y aportes posteriores con abono mineral de liberación lenta.

En zonas de grava o acolchados podemos utilizar abonos líquidos, pero teniendo en cuenta que demandan mayor número de aplicaciones a lo largo de la temporada vegetativa (de una a dos veces al mes).

Macetas y jardineras

Lo ideal es la utilización de abonos líquidos, con una frecuencia aproximada de dos veces al mes. También podemos echar por encima del sustrato unas bolitas de abono de liberación lenta, que al regar se irá descomponiendo poco a poco.

4.4. Efectos sobre el consumo de agua

Tanto en el abonado, como en el riego, es mejor quedarse corto que pasarse. Un exceso de nitrógeno puesto a disposición de las plantas hace que estas se desarrollen muy deprisa y que consuman más agua.

Un desarrollo forzado tiene, además, otro efecto negativo ya que las plantas son más grandes pero más débiles y propensas a contraer enfermedades, y ser atacadas por insectos, debido a que sus hojas y tejidos son mas tiernos. Así, es fácil observar cómo los pulgones, por ejemplo, atacan preferentemente los brotes nuevos de las plantas.

Apéndice

5

Riego eficiente

5.1. Sistemas de riego y elementos

Según la forma en que el agua llega a las plantas, distinguimos dos tipos de riegos: localizados y no localizados.

En los **riegos localizados** se aporta el agua directamente a la zona del suelo en que se encuentran las raíces o en su cercanía. Por ejemplo, en el riego por goteo y también en el riego manual de alcorques con manguera.

En los **riegos no localizados** se moja toda la superficie del terreno sobre el que se encuentran las plantas. Una muestra sería el riego por aspersión, y el riego por inundación de eras.

Haremos primero una breve descripción de los elementos que componen un sistema de riego.

Mangueras

En general para **riegos automáticos**, se utilizan sobre todo las de polietileno (de color negro), son más caras que las de PVC rígido pero tienen varias ventajas sobre ellas, como por ejemplo su flexibilidad, lo que hace que no se rompan si se hiela el agua en su interior, o si alguna raíz las presiona, y la facilidad a la hora de reparar cualquier eventual rotura.

Para el **riego manual** con manguera elegiremos las de PVC flexibles y de buena calidad para evitar que se doblen y corten el flujo de agua.

Programadores

Son aparatos electrónicos que se pueden programar para que hagan funcionar el sistema de riego, a la hora y el tiempo que consideremos conveniente. Para pequeños jardines existen modelos a pilas que funcionan sin problemas, si tenemos la precaución de guardarlos dentro de la casa en invierno para que no se hielan.

Electroválvulas

Son los mecanismos encargados de abrir y cerrar el paso de agua cuando reciben la orden del programador.

Aspersores

Aparatos de riego que emiten el agua por una tobera, formando un chorro que va describiendo el arco que nosotros fijemos. Elegiremos el caudal de la tobera en función del arco o superficie que queremos cubrir. El alcance de los aspersores cubre a partir de 5 metros.

Difusores

En estos aparatos el agua sale en forma de “lluvia”. Normalmente se utilizan de tobera graduable en la que se puede ajustar el arco de riego girando una pieza de la misma. El difusor aumenta por sí solo proporcionalmente el caudal de agua, a medida que aumentamos la superficie a regar. Su alcance llega como máximo a los 5 metros.

Figura Ñ. **Aspersor y difusor**



Microaspersores y microdifusores

Pequeños dispositivos de plástico que se pinchan en las tuberías de goteo o se enroscan al final de un tubo vertical para que rieguen por encima de las plantas. Dejan salir el agua en forma de pequeños chorros o de lluvia fina y su alcance puede llegar a los 5 metros.

Trabajan a menos presión que difusores y aspersores y su pluviometría es inferior, por lo que se pueden usar en zonas en pendiente en las que por alguna razón no queremos usar goteo.

Goteros

Son elementos de plástico, que pueden ir integrados en la propia tubería de goteo o pinchados sobre ésta, con un pequeño laberinto en su interior que frena la salida de agua y la obliga a salir en forma de gotas.

Borboteadores

Son unas boquillas pequeñas, en las que el agua sale en forma de chorros que bajan por la caña de montaje o en cortina en forma de paraguas. Emiten bastante caudal por unidad de tiempo.

Tuberías de exudación

Son tuberías porosas en las que el agua sale en forma de gotas en toda su superficie. Trabajan a muy baja presión y aún así emiten bastante caudal. Solo funcionan bien en terrenos llanos y con buena permeabilidad.

Figura O. Microaspersor, gotero y borboteador



A continuación se expone en la tabla B un resumen de los sistemas de riego más comunes.

Tabla B. Sistemas de riego más comunes

Sistema de riego y coeficiente de eficiencia C	Adecuado	Ventajas	Inconvenientes
Aspersión y difusión C = 0,75	Céspedes	Se puede automatizar. Buena distribución de agua	Escoorrentía en laderas, evaporación y deriva por viento
Microaspersión y microdifusión	Laderas, parterres de arbustos y flores	Baja pluviometría Se puede automatizar	Se mojan las hojas y toda la superficie del suelo
Goteo superficial C = 0,90	Todo tipo de zonas, excepto céspedes	Baja pluviometría. Se moja poco suelo. Aparecen malas hierbas	Laborioso de instalar. Las tuberías estorban. Poco estéticos
Goteo enterrado C = 0,95	Todo tipo de zonas	Mismas que el goteo normal. Antivandálico al estar enterrado. No afea el jardín	Instalación aún más laboriosa que el goteo superficial. Tecnología algo complicada
Manguera	Riego de alcorques. Apoyo en plantaciones recientes	Barato, gasta poco si se usa bien. Sin averías	No se puede automatizar. Lleva mucho tiempo regar en jardín grande

5.2. Buena planificación. A cada zona su riego

Un riego eficiente, tanto manual como automático, debe cumplir la premisa de ser capaz de aportar el agua a las distintas zonas, según sus necesidades hídricas y además, mantener una uniformidad de riego dentro de cada zona.

Si se ha hecho un diseño correcto del jardín, se habrán agrupado las plantas de similares necesidades de agua por zonas. Por tanto, los tiempos de riego y el sistema empleado deben adecuarse a ese diseño.

- Las zonas con mayor demanda de agua serán las de césped y plantas de altas necesidades hídricas para las que, generalmente, se utilizan **aspersores o difusores**. Se regarán siempre a la vez, o consecutivamente, si no disponemos de caudal suficiente.

- Para el resto de las zonas, lo ideal es utilizar el goteo, ya que es el sistema que menos consume y con el que tendremos que quitar menos malas hierbas al mojarse menos superficie de tierra. Si tal como se esta aconsejando, se utiliza el goteo para el resto del jardín, se tendrá que jugar con los tiempos de riego o su periodicidad (diaria, cada dos días, cada semana, etc..) para adecuar el sistema a las necesidades de las distintas zonas.

En la tabla B, se señalaba como un inconveniente, la baja estética del goteo superficial, ya que, sobre todo en plantaciones recientes se aprecia casi más tubería que planta. Una solución muy adecuada, si se van a usar geotextiles y acolchados es colocar las tuberías de goteo encima del geotextil, teniendo la precaución de sujetarla al suelo mediante clavos curvados en su extremo, para posteriormente, repartir encima el acolchado. Así, el conjunto quedará estético y funcional.

En caso de que en el jardín se tengan zonas de muy bajas o prácticamente nulas necesidades de agua, como pueden ser árboles, arbustos y determinadas plantaciones, es perfectamente válido el riego con manguera, si disponemos de alcorques en estas plantas. Para minimizar la evaporación y evitar la formación de costras en la tierra de los alcorques, es conveniente la realización de acolchados en los mismos.

Figura P. Plantación con acolchado de corteza de pino



5.3. Práctica de riego. Cómo regar gastando menos agua

La dotación de riego necesaria para el sustento de los jardines depende, principalmente, de la interacción que se da entre los elementos **planta-clima-suelo-riego**, y cuyos parámetros más importantes son:

- Las altas, moderadas, bajas, o muy bajas necesidades hídricas de la plantación.
- El momento vegetativo de las plantas (brotación, floración, podas realizadas, etc.).
- Las condiciones climáticas del momento (temperatura, viento, lluvias recientes, etc.).
- La capacidad de almacenamiento del suelo.
- La eficiencia del sistema de riego.

Canal de Isabel II desarrolla actualmente una serie de acciones encaminadas a conseguir un **uso eficiente del agua en jardines**. Entre ellas podemos citar la iniciativa “**Hoy no hace falta regar**”, y el proyecto de investigación “**Parque Piloto. Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid**”.

En relación con una práctica correcta y ahorradora de agua en el riego, se señalan en este texto una serie de medidas encaminadas a conseguir este fin, sin que por ello se vean perjudicados el valor ornamental, ni la salud de las plantas.

No se debe regar siguiendo un calendario o unas pautas fijas de tiempo establecidas. Aunque para empezar, si no se tiene experiencia, se podrán considerar unos tiempos aproximados. Con un poco de experiencia se será más receptivo a las condiciones climáticas y a las necesidades del momento de nuestras plantas y, por tanto, se irá adquiriendo la sensibilidad necesaria para decidir cuándo y cuánto se tiene que regar.

Unos consejos sencillos facilitarán la tarea:

- En el caso del **césped** un indicador de falta de agua, es que al pisarlo la hierba no vuelve a levantarse. En caso contrario, el exceso de agua se notará si al pisar, se marca la huella en el terreno, o si las ruedas de la segadora se hunden al cortarlo.
- Para las **plantas**, el indicador son sus hojas. Cuando éstas se curvan o “abarquillan” señalan falta de agua. El exceso de agua es más difícil de valorar en las plantas, a no ser que el suelo esté desnudo y se aprecie claramente en él.
- Es importante no confundir los síntomas producidos por plagas o enfermedades y achacarlos a carencias o excesos de agua. Servirá de ayuda, en este caso, el llevar una muestra de las hojas a algún centro de jardinería, vivero, o tienda de productos fitosanitarios, donde nos aconsejarán debidamente.
- Si el jardín ya lleva tiempo implantado podemos ir “acostumbrándolo” a consumir menos agua, cambiando, paulatinamente, la manera de regar. Se procederá a regular los riegos de la siguiente forma, en vez de regar todos los días, se empezará eliminando un riego semanal. Posteriormente se eliminarán dos, luego tres, de manera que se obligue, poco a poco, a las plantas a profundizar y ramificar sus raíces.

Simultáneamente, se puede ayudar incrementando algo los tiempos de riego para mojar el suelo más profundamente. Habrá que prestar especial atención para no pasarse por defecto, llevando las plantas a un estrés hídrico que pueda ser irreversible.

- Se trata de “endurecer” la planta, no de matarla de sed. Como ya se dijo anteriormente, sin que se pierda el valor ornamental y estético de la planta.
- Según sea la composición y capacidad de retención del suelo, así se deberá regar. Con más frecuencia y menos cantidad en suelo arenoso. Este tipo de suelo no es capaz de retener el agua, por lo que los riegos más largos tienen más pérdidas por infiltración profunda. Sin embargo, los suelos arcillosos retendrán más el agua y los riegos pueden ser más copiosos y espaciados en el tiempo.
- Si se hubiesen colocado plantas o árboles en medio de una pradera de césped, se deben realizar riegos de apoyo, por lo menos los dos primeros años, por medio de una manguera. Previamente, se habrá hecho su correspondiente alcorque acolchado. A este respecto hay que decir que no es conveniente la plantación de árboles en zonas de césped, debido a que desarrollan muy superficialmente sus raíces.
- Es mejor regar en las primeras horas del día o en las últimas, para reducir la evaporación. Si se dispone de programador, se podrá regar durante la noche.
- Se cuidará no mojar las hojas de las plantas, evitando así, enfermedades producidas por hongos y pérdidas por evaporación.
- Se podrá considerar, si se tiene suficiente espacio, la instalación de albercas o aljibes, a fin de recoger el agua de lluvia y utilizarla para el riego. En el apartado de bibliografía se puede consultar más información.
- También hay que recomendar la utilización de aguas depuradas o regeneradas para el riego de jardines. Es un despilfarro la utilización de aguas potabilizadas para este fin. Canal de Isabel II está desarrollando el plan *Madrid dpura* al objeto de regar parques, jardines y cultivos con agua regenerada.
- En las zonas de césped, se considera que se evapora menos agua al segar a mayor altura. Se considera óptima entre 6 y 10 centímetros. También se recomienda la realización, al menos anual, de escarificados para eliminar el “fieltro” de materia seca que impide que el agua penetre en el suelo. Adicionalmente se aconseja el empleo de cortacéspedes “recicladores”, que trituran finamente la hierba y la depositan entre las hojas del césped.

5.4. Dispositivos para mejorar la eficiencia del riego

En las líneas siguientes se resaltan las características de algunos dispositivos encaminados al ahorro de agua en los sistemas automáticos de riego.

- **Programadores.** Se elegirán programadores que tengan, al menos 3 programas, para adecuar las periodicidades de riego a las distintas zonas. También es interesante que dispongan de control de aporte de agua en tanto por ciento, y de entrada, para acoplar otros dispositivos que seguidamente se describen.

- **Pluviómetros / Interruptores por lluvia.** Son sistemas que cortan el riego en el caso de haberse producido una lluvia reciente. Generalmente constan de una pequeña cazoleta que se llena de agua, o de una pieza de un material que absorbe el agua de lluvia y en los dos casos, accionan el mecanismo de corte del riego. El tiempo durante el que se interrumpe el riego viene determinado por la velocidad con la que se evapora el agua. En el clima de la Comunidad de Madrid, en que las tormentas durante la época de riego son escasas no parece que tenga un efecto de ahorro importante. Sin embargo, durante la temporada de primavera y otoño sí permite interrumpir, de forma automática, el riego de algunos días lluviosos.
- **Interruptor basado en la humedad del suelo.** Sistema más complicado que el anterior, pero que permite mantener la humedad de las zonas regadas, según el grado de humedad que previamente se haya fijado. Consta de una sonda, que debe enterrarse en el terreno, en un sitio representativo de la zona sobre la que va a regir el riego. Se conectará a una caja de electroválvulas cercana y una unidad de control, ubicada dentro de la vivienda, al lado del programador de riego y conectada a él. En esta unidad de control se marcará la humedad máxima deseada y el sistema se encargará de cortar el riego cuando se alcance el límite fijado. Una vez que la humedad desciende por debajo del valor establecido, el sensor permite el siguiente riego normalmente. La marca de riego Nelson comercializa un modelo de esta sonda, que ha demostrado funcionar correctamente, asequible económicamente para jardines particulares y comunitarios.

Figura Q. Sonda de humedad marca “Nelson”

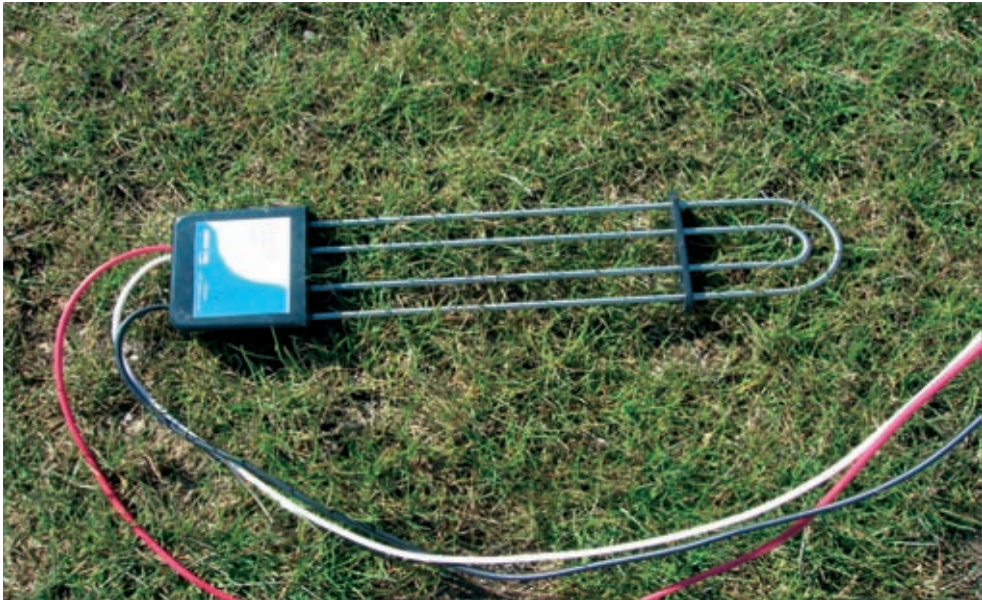


Figura R. Controlador marca "Nelson"



5.5. Un riego correctamente diseñado. Pautas de aprovechamiento de agua

Si se pretende acometer la instalación de un sistema de riego en nuestro jardín, es conveniente encargar la realización del mismo a una empresa o profesional del ramo con trabajadores cualificados. En muchos sistemas de riego actualmente en funcionamiento, se producen despilfarros importantes de agua debidos a una mala realización de los mismos.

En algunos centros de jardinería y casas de riegos, disponen de programas informáticos que calculan los parámetros necesarios sobre un plano previamente proporcionado del jardín, marcando el número y la posición de los aparatos y mecanismos necesarios. La casa Rain Bird dispone de un pequeño manual dirigido a particulares, titulado "Guía práctica de riego", donde se explica la realización de un sistema de riego. Se puede conseguir en tiendas de jardinería que distribuyan los productos de la marca.

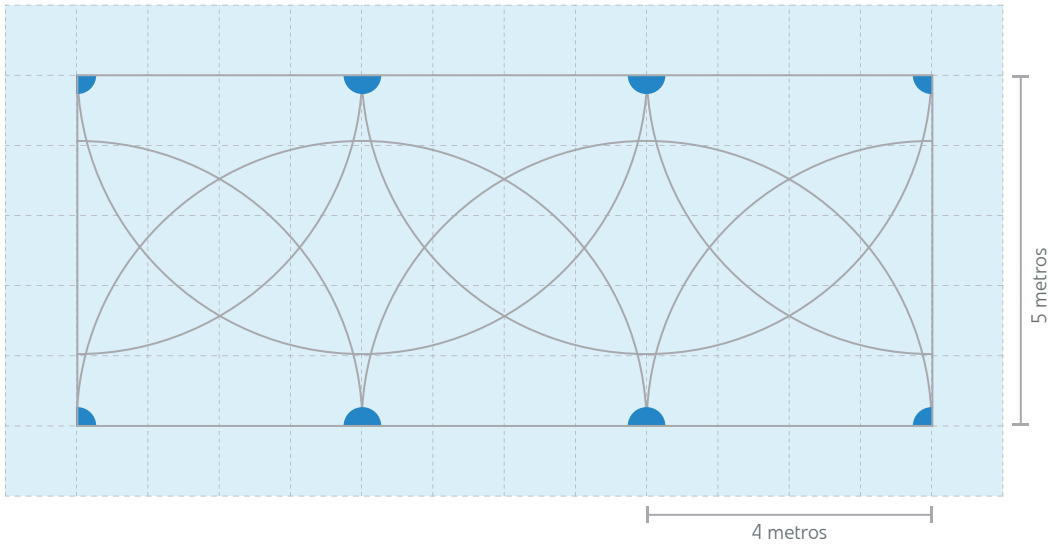
Si ya se tiene instalado un sistema de riego, la comprobación del cumplimiento de las pautas que se detallan seguidamente, permitirá conocer su eficacia, desde el punto de vista de un correcto aprovechamiento del agua.

- Es importante y cuesta muy poco dinero el disponer en la toma de agua de un filtro de malla o de anillas. En él quedarán depositadas todas las piedrecitas e impurezas que vienen con el agua, sobre todo después de haberse producido una avería en la red general. Algunas de esas impurezas podrían depositarse en la goma de cierre de las electroválvulas, impidiendo que cierren correctamente y produciendo una notable pérdida de agua.

- La distancia que deben mantener, tanto aspersores como difusores contiguos, es igual a su alcance. Esto quiere decir que siempre deben ser mojados por los que se encuentren a su alrededor. Si el alcance de un aspersor es de 10 metros, el siguiente aspersor debe encontrarse a esa distancia; de esa forma se garantiza un reparto homogéneo en toda la superficie. Debe aclararse que solo es necesario que se encuentren a esa distancia los aparatos de riego de la misma fila y que, respecto a la fila contigua, se permite de un 20 a un 30 por ciento más de distancia.
- Otro punto a cuidar es que tanto difusores como aspersores de tipo emergente no deben sobresalir del terreno cuando no riegan, de forma que se evite el que puedan ser golpeados o rotos con la cuchilla cuando se siega. Muchas veces no se percibe la avería hasta que no se ha despilfarrado una importante cantidad de agua.
- Nunca deben regar a la vez, en la misma fase de riego, difusores y aspersores. Esto es debido a que sus pluviometrías son diferentes, al ser también diferente la superficie que cubren. Así, los tiempos de riego en difusión son entre la mitad y un tercio que los tiempos de riego en aspersión. Por el mismo motivo las fases de riego con goteo y otros sistemas deben regar de forma independiente.

Figura S. Croquis de riego

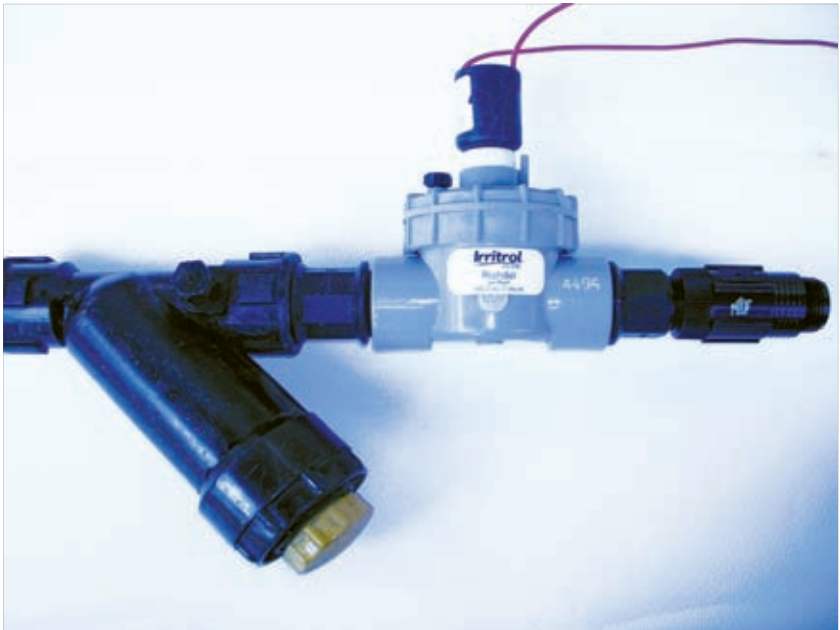
Riego con difusores



Alcance de difusores = 4 metros
Separación entre líneas = 5 metros

- Cada aspersor debe tener instalada una boquilla o tobera, con un caudal proporcional a la superficie a regar. Es muy común que se deje la tobera que viene puesta de fábrica, que suele corresponder a un ángulo de 180°. Un aspersor que describa un arco de 90°, regará la mitad de superficie que uno de 180° y la cuarta parte que uno que riegue 360°. El vendedor dispone de juegos de toberas codificadas por números. En el folleto de instrucciones se indica los caudales de las distintas toberas. Las distintas casas de riego disponen de toberas con el ángulo de salida más bajo, lo cual nos servirá en caso de querer reducir el alcance del aspersor manteniendo su caudal o también para reducir la deriva producida por el viento sobre el chorro de salida. En el caso de los difusores también han aparecido recientemente toberas con doble salida, que cubren más eficazmente la zona cercana al difusor.
- El sistema de goteo, que también tendrá su filtro de entrada y, obligatoriamente, su reductor de presión, deberá disponer de válvulas de drenaje en los puntos más bajos, y de válvulas de aire en los puntos más altos. Su función es realizar un lavado de las impurezas del sistema al empezar a funcionar el riego e impedir, cuando se vacía el circuito al cortar el riego, que los goteros tomen aire de sus proximidades y penetren elementos que puedan producir atascamientos. Es también importante que los goteros sean del tipo “autocompensante”, sobre todo si las líneas de goteo son largas o existen diferencias de nivel en el terreno. Elegir los goteros pinchables de buena calidad, ya que algunos modelos se desarmen solos con el frío, produciendo pérdidas de agua. A la hora de realizar los empalmes de las líneas de goteo, no se debe usar el fuego para calentar la tubería, ya que el material pierde propiedades y es más fácil que salte posteriormente la unión al regar. Es más adecuado usar agua caliente para esta tarea. También nos ayuda el elegir días con temperatura ambiente elevada, porque la tubería está menos rígida y la unión se realiza con menos esfuerzo.

Figura T. Sistema filtro-electroválvula-reductor de presión para goteo



- En el riego por goteo, cuando se quiere cubrir toda la superficie de la zona a regar, la distancia a la que deben estar los goteros entre sí en la línea, y la distancia de unas líneas de goteo con otras, dependerá, además de la densidad de la plantación, de las características físicas del suelo. En un suelo arenoso deberán estar más cerca. En un suelo arcilloso podrán alejarse más.

Como valores aproximados, para goteros de 4 litros por hora, se dan las siguientes separaciones:

- **Arbustos y setos:** 40 a 60 centímetros de distancia entre goteros y líneas.
- **Macizos de flores:** 30 centímetros de distancia entre goteros y líneas.
- **Árboles:** Se recomienda una línea de goteo de, al menos, 3 emisores alrededor del tronco y separada de él. Tanto la distancia al tronco, como el número de emisores de la línea, se puede ir aumentando a medida que crece el árbol. También se recomienda que el riego de árboles esté en una fase diferente del resto del goteo, para poder manejar tiempos de riego mayores. También se deberían regar aparte las zonas de flores, que demandan tiempos menores, al no ser necesario alcanzar profundidad en el riego, debido a su menor sistema radicular.

5.6. Mantenimiento del sistema de riego

Para que el riego funcione correctamente y no se produzcan pérdidas de agua, se debe realizar una vigilancia periódica de sus elementos. A modo de pequeña guía, se darán unos consejos que vendrán bien para este fin.

- Al menos una vez a la semana, se pondrán en funcionamiento las distintas zonas de riego para poder detectar posibles fallos.
- Se vigilará que todas las zonas de riego se ponen en funcionamiento y no se ha producido ningún fallo en las electroválvulas o en el cable que va del programador a ellas.
- Se revisarán difusores y aspersores viendo si el arco de riego es correcto o si se ha producido alguna rotura. Siendo previsores, se dispondrá de material de repuesto para arreglos rápidos.
- Se debe vigilar también que el crecimiento de la hierba o de alguna planta, no dificulta la salida del chorro de agua al regar.
- También se repasarán las líneas de goteo, a fin de verificar que no se ha saltado la unión de alguna tubería o no se ha abierto o saltado algún gotero pinchable. Si el sistema dispone de reductor de presión es raro que se produzcan estos fallos, de ahí la importancia de esta pieza.
- Los goteros se pueden llegar a obturar con el tiempo, sobre todo si las aguas de nuestra zona contienen cal. Se pueden desatascar en la salida con un alfiler o realizando lavados con ácido cítrico o con vinagre, ambos inocuos en su manejo.
- Algunas de las averías que se suelen producir en cables y tuberías son debidas a la presencia de roedores (conejos, ardillas, ratones, etc.). Si fueran frecuentes habría que tomar medidas.

- Algunos animales domésticos, como el caso del perro, son incompatibles con la mayor parte de las zonas del jardín. Debemos delimitar el espacio de uno y otro mediante barreras apropiadas.
- Se vigilarán microaspersores y microdifusores, ya que es corriente que algunos insectos al buscar agua obturen la salida del chorro. Un simple alfiler sirve para desatascarlos.
- Es interesante la colocación de un contador de agua a la entrada del sistema de riego. Si diariamente se realiza una lectura de consumo, enseguida se va a detectar si se ha producido alguna avería cuando se de un registro anormalmente elevado en la lectura.

Figura U. Contador de agua y electroválvula



Apéndice

6

Selección de especies

La selección de las plantas que se va a utilizar en el jardín constituye un recurso fundamental para el ahorro de agua. En la actualidad, se comercializan en nuestro país alrededor de 3.000 especies vegetales. De éstas son muchas las que, por sus características genéticas, poseen bajos requerimientos hídricos. Se deberá pues elegir las prioritariamente.

Vivimos en un clima de tipo mediterráneo; éste se caracteriza por largos periodos de sequía estival y por “ciclos” de sequía plurianuales que, de manera más o menos periódica, agravan el problema de disponibilidad del agua.

Afortunadamente, existen muchas plantas capaces de soportar periodos largos de sequía manteniendo unos niveles aceptables de belleza ornamental. Esto quiere decir que si bien hay plantas que podrían sobrevivir sin riego alguno, es preciso realizar pequeños aportes puntuales de agua, para mantener una estética aceptable.

El clima mediterráneo se distribuye por toda la cuenca del mar homónimo pero también por amplias áreas de Australia, Chile, California, Sudáfrica y China. Por tanto, existen un gran número de especies que se pueden utilizar.

No obstante, en el caso de Madrid, se debe tener en cuenta la especificidad de su clima continental, es decir con inviernos bastante fríos. Ello va a impedir utilizar aquellas especies que no soporten las heladas como cactáceas, muchas especies de palmeras y los cítricos.

Se quiere resaltar la inmensa variedad de elección de especies adaptadas a un riego mucho más moderado, de manera que se evite caer en la monotonía, que a veces se ha dado, al utilizar solamente plantas aromáticas.

6.1. Especies de bajo consumo para la Comunidad de Madrid

En la jardinería madrileña se han venido utilizando muchas plantas especialmente rústicas, con bastante éxito. Una selección de especies idóneas se ofrece en las tablas C, D y F.

Por su consumo de agua se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- ANH = Altas necesidades hídricas.
- MNH = Moderadas necesidades hídricas.
- BNH = Bajas necesidades hídricas.
- MBNH = Muy bajas necesidades hídricas.

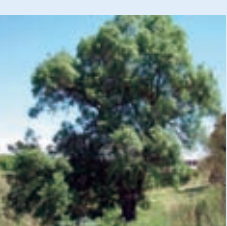
Tabla C. Selección de especies idóneas - Árboles

Nombre vulgar			
Nombre científico Origen	Imagen	Consumo	Características
Acebo <i>Ilex aquifolium L.</i> Autóctono		BNH ¹	• Prefiere suelos ácidos, bien drenados y ricos en materia orgánica. • Le gustan las exposiciones a pleno sol. • Sus frutos son alimento para la fauna. • Soporta las heladas.
Ailanto <i>Ailanthus altissima (Miller)</i> Alóctono		MBNH ²	• Todo tipo de suelos. • Prefiere exposiciones soleadas. • Especie muy invasora. Gran capacidad de rebrote de raíz. • Soporta las heladas.
Almendo <i>Prunus dulcis (Miller)</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos, prefiere los calizos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Existen numerosas variedades, en general dedicadas al cultivo de la almendra, pero muy interesantes para utilizar en los jardines.
Almez <i>Celtis Australis L.</i> Autóctono		BNH	• Soporta todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Resistente a las heladas. • Muy utilizado para hacer herramientas de agricultura.

Continúa en la página siguiente...

¹ BNH Bajas necesidades hídricas
² MBNH Muy bajas necesidades hídricas

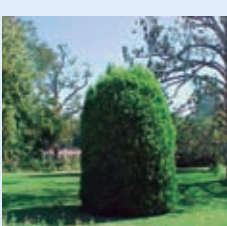
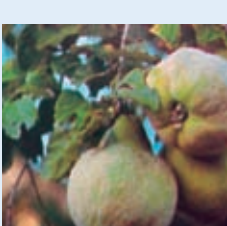
Tabla C. Continuación

Nombre vulgar			
<i>Nombre científico</i> Origen	Imagen	Consumo	Características
Árbol del amor <i>Cercis siliquastrum</i> Alóctono		BNH	• Necesita suelos fértiles, profundos y bien drenados. • Exposición soleada o semisombra. • Soporta las heladas. • Floración espectacular.
Enebro <i>Juniperus sp.</i> Autóctono y Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos, pero bien drenados. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Existen muchas especies, tanto de porte arbóreo, como tapizantes. Muy rústicas. • Muchas enfermedades fúngicas debidas al exceso de riesgo.
Acacia del Japón <i>Sophora japonica</i> Alóctono		BNH	• Tolera todo tipo de suelos. • Exposición soleada. • Soporta heladas. • Carece de espinas a diferencia de otras acacias.
Fresno <i>Fraxinus sp.</i> Autóctono		MNH ³	• Necesita suelos frescos con nivel freático elevado. • Exposición al sol o semisombra. Soporta las heladas. • Común en riberas de los ríos.

Continúa en la página siguiente...

³ MNH Moderadas necesidades hídricas

Tabla C. Continuación

Nombre vulgar			
<i>Nombre científico</i> Origen	Imagen	Consumo	Características
Ciprés <i>Cupressus sp.</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Soporta mal las heladas muy intensas. • Cultivado extensamente desde el tiempo de los fenicios. Apto para formar setos. • Utilizado intensamente en jardinería suntuaria y religiosa.
Encina <i>Quercus ilex</i> Autóctona		BNH	• Todo tipo de suelos. • Soporta las heladas. Exposición soleada. • Quizá sea el árbol más representativo de la Península Ibérica.
Higuera <i>Ficus carica</i> Autóctona		BNH	• Todo tipo de suelos, aunque le van mejor si son algo húmedos. • Exposición soleada. • Soporta mal las heladas, sobre todo cuando es joven.
Laurel <i>Laurus nobilis</i> Autóctono		BNH	• Suelos frescos y húmedos. • Exposición en semisombra. • Soporta mal las heladas. • Apto como arbolillo o incluso para arte topiario y setos.
Membrillero <i>Cydonia oblonga</i> Alóctono		MNH	• Suelos ligeros y frescos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Frutal muy productivo, con bonitos frutos utilizados para hacer dulce de membrillo.

Continúa en la página siguiente...

Tabla C. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Morera papelera <i>Broussonetia papyrifera</i> Alóctono		BNH	• Suelos calizos y secos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Un árbol ideal para crear zonas de sombra en verano.
Olivo <i>Olea europaea</i> Autóctono		MBNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta a duras penas las heladas. • Especie utilizada intensamente por su facilidad de trasplante.
Pinos <i>Pinus sp.</i> Autóctonos y alóctonos		BNH	• Suelos arenosos. • Exposición soleada. Soportan las heladas. • Existen muchas especies de gran porte arbóreo por lo que necesitan espacio.
Paraíso <i>Eleagnus angustifolia</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Produce unos frutos comestibles. • Sus hojas se han empleado para teñir.

Tabla D. Selección de especies idóneas – Arbustos y matorral

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Adelfa <i>Nerium oleander</i> Autóctona		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. • Soporta mal las heladas. • Rebrotan bien si es dañada por las bajas temperaturas.
Agracejo <i>Berberis sp.</i> Autóctono		BNH	• Suelos pedregosos y calizos, aunque tolera todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Produce unos frutillos muy interesantes para la fauna silvestre. Arbustillo con abundantes espinas aceradas. • Bonitos cambios de color en otoño.
Aladierno <i>Rhamnus alaternus</i> Autóctono		BNH	• Suelos frescos, húmedos y silíceos. • Exposición a pleno sol. Soporta las heladas. • Produce unos frutillos muy interesantes para la fauna silvestre.
Aligustre <i>Ligustrum vulgare</i> Autóctono <i>Ligustrum japonica</i> Alóctono		MNH	• Suelos frescos, preferiblemente calizos. • Exposición a semisombra. • Soporta las heladas. • El Aligustre japonés es de hoja perenne.
Boj <i>Buxus sempervirens</i> Autóctono		MNH	• Prefiere suelos calizos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Intensamente utilizado para arte topiario y setos. • Existen variedades de jardinería.

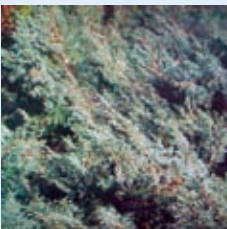
Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico Origen	Imagen	Consumo	Características
Bolina <i>Santolina chamaecyparissus</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Floración primaveral de color amarillo. • Apto para setos bajos.
Cornicabra <i>Pistacia terebinthus</i> Autóctono		MBNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Posee unas bonitas agallas producidas por la picadura de un insecto.
Celinda <i>Philadelphus coronarius</i> Alóctona		MNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición a semisombra. • Soporta las heladas. • Posee una bonita floración.
Coronilla <i>Coronilla valentina</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. • Soporta las heladas. • Floración abundante de un intenso color amarillo.
Durillo <i>Viburnum tinus</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Apto tanto por su floración como para la creación de setos.

Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico Origen	Imagen	Consumo	Características
Efedra <i>Efedra fragilis</i> Autóctono		MBNH	• Suelos básicos y yesosos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Especialmente indicada para suelos muy pobres.
Endrino <i>Prunus spinosa</i> Autóctono		MNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada o semisombra. • Soporta heladas. • Con sus frutos se elabora el pacharán.
Enebro rastrero <i>Juniperus sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Muy aptos para cubrir taludes y fijar suelos.
Espantalobos <i>Colutea arborescens</i> Autóctono		BNH	• Suelos calizos y yesosos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Frutos de gran originalidad.
Jara <i>Cistus sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Existen numerosas especies con floraciones de colores blancos y rosados.

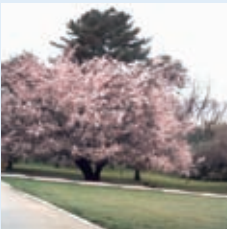
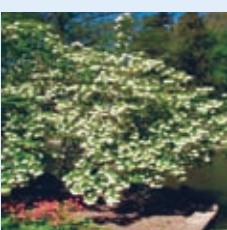
Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
<i>Nombre científico</i> Origen	Imagen	Consumo	Características
Lantana <i>Viburnum lantana</i> Autóctono		BNH	• Suelos calizos. Soporta a los silíceos. • Exposición a semisombra o a pleno sol. • Resiste las heladas. • Frutos interesantes para la fauna.
Lavanda <i>Lavanda sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Persistentes floraciones y agradable olor. • Su plantación en los bordes de los huertos elimina muchas plagas de insectos.
Lentisco <i>Pistacia lentiscos</i> Autóctono		BNH	• Suelos calizos. • Exposición soleada. Las heladas lo dañan. • Frutos interesantes para la fauna. • Planta apta para formar macizos.
Lilo <i>Syringa vulgaris</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta heladas. • Bonita floración. • Sensible al ataque de hongos.
Madroño <i>Arbutus unedo</i> Autóctono		BNH	• Suelos arenosos, muy bien drenados. • Exposición a sol o semisombra. • Soporta las heladas. • Coinciden flores y frutos al mismo tiempo.

Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
<i>Nombre científico</i> Origen	Imagen	Consumo	Características
Mahonia <i>Mahonia aquifolium</i> Alóctono		MNH	• Suelos frescos, ricos en materia orgánica, bien drenados. • Exposición a semisombra. • Soporta las heladas. • Bonita floración amarilla.
Majuelo <i>Crataegus monogyna</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. Exposición soleada. • Soporta heladas. • Soporta las podas repetidas por lo que es ideal para la formación de setos. • Espectacular floración primaveral. • Frutos interesantes para la fauna silvestre.
Manzano <i>Malus sp.</i> Autóctono		MNH	• Todo tipo de suelos. Exposición soleada. • Soporta heladas. • Espectacular floración primaveral. • Frutos interesantes para la fauna silvestre. • Existen variedades de jardinería con flores dobles y frutos pequeños.
Mundillo <i>Viburnum opulus</i> Autóctono		BNH	• Suelos frescos y ricos en materia orgánica. • Exposición a semisombra. • Soporta las heladas. • Floración blanca conspicua, a menudo es atacada por pulgones. • Frutos que ofrecen alimento a la fauna silvestre.
Olivilla <i>Phillyrea angustifolia</i> Autóctono		BNH	• Soporta todo tipo de suelos. • Exposición a pleno sol. • Soporta las heladas. • Su nombre hace referencia a sus hojas, parecidas a las del olivo.

Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Pitosporo <i>Pytosporum tobira</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. • Soporta las heladas. • Apto para formar masas.
Salado <i>Atriplex halimus</i> Autóctono		MBNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Especie apta para el arte topiario y para formar pequeños setos.
Retama <i>Retama sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Abundantes floraciones primaverales amarillas y blancas.
Romero <i>Rosmarinus</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Apto para formar masas y setos bajos. • Con el tiempo se revieja y pierde valor ornamental.
Rusco <i>Ruscus aculeatus</i> Autóctono		BNH	• Suelos ácidos y arenosos. • Exposiciones a semisombra. • Resiste las heladas. • Existen individuos machos y hembras.

Continúa en la página siguiente...

Tabla D. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Santolina <i>Santolina rosmarinifolia</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos, aunque prefiere los silíceos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Apta para pequeños setos y macizos.
Taray <i>Tamarix sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Apto para setos cortavientos. • Especie caduca. Floración primaveral espectacular.
Tomillo <i>Thymus sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Especies aromáticas, culinarias y medicinales.
Zumaque <i>Rhus typhina</i> Alóctono		MNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Planta que se cultivó ampliamente para curtir el cuero.

Tabla E. Selección de especies idóneas - Herbáceas y vivaces

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Acanto <i>Acanthus mollis</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición semisombra. Soporta las heladas poco intensas. • Utilizado intensamente en jardinería tradicional.
Clavelinas <i>Dianthus sp.</i>		BNH	• Todo tipo de suelo. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Abundantes y duraderas floraciones veraniegas.
Don Diego de noche <i>Myrabilis jarapa</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. No soporta heladas, pero rebrota sin problemas a la primavera siguiente. • En ocasiones puede ser invasivo.
Digital <i>Digitalis sp.</i> Autóctono		BNH	• Suelos silíceos, arenosos y pedregosos. • Exposición soleada. • Bonita floración veraniega. • Planta tóxica. Uso farmacológico, extracción de productos para tratamientos cardiacos.
Malvarrosa Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Muy rústica. Floración veraniega. • Fácil de reproducir por semillas.

Continúa en la página siguiente...

Tabla E. Continuación

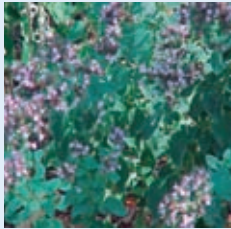
Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Milenrama <i>Achillea filipendulita</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Sus grandes grupos florales destacan en el estiaje del verano.
Orégano <i>Origanum vulgare</i> Autóctono		BNH	• Suelos calizos, aunque soporta los ácidos. • Exposición soleada. Planta anual. • Fácil de reproducir por semillas. • Planta culinaria y medicinal.
Siempreviva <i>Sedum sp.</i> Autóctono		MBNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Se utiliza para cubrir techos verdes y azoteas.

Tabla F. Selección de especies idóneas - Trepadoras y tapizantes

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Falsa viña <i>Parthenocissus quinquefolia</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Especie trepadora de rápido crecimiento, de hoja caduca y bello colorido otoñal.
Glicinia <i>Wisteria sinensis</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Especie trepadora de rápido crecimiento, de hoja caduca. • Agresiva con las construcciones.
Hiedra <i>Hedera helix</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición a semisombra o sombra. • Resiste las heladas pero le daña el sol directo. • Gran cubridora de suelos y paredes.
Hipérico <i>Hipericum calicinum</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición semisombra. • Soporta las heladas. • Le cuesta instalarse al principio. • Floración amarilla en verano.
Jazmín silvestre <i>Jasminum fruticans</i> Autóctono		BNH	• Suelos silíceos. • Exposición a pleno sol. • Soporta las heladas. • Especie trepadora. Precisa ayuda, al principio, mediante guías y tutores.

Continúa en la página siguiente...

Tabla F. Continuación

Nombre vulgar			
Nombre científico	Imagen	Consumo	Características
Origen			
Madreselva <i>Lonicera sp.</i> Autóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición semisombra. • Soporta las heladas. • Especie trepadora, apta para cubrir suelos y taludes.
Polígono <i>Polygonum sp.</i> Alóctono		BNH	• Todo tipo de suelos. • Exposición soleada. Soporta las heladas. • Podar intensamente cada pocos años.
Vinca <i>Vinca sp.</i> Alóctono		BNH	• Suelos bien drenados. • Exposición sombra. Soporta las heladas. • Le cuesta instalarse al principio. • Bonita floración primaveral de color lila.

6.2. Las plantas autóctonas

Dentro de las plantas propuestas destacan por naturaleza propia las especies **autóctonas**, que se definen como las plantas de ámbito peninsular y clima mediterráneo.

Las especies autóctonas poseen ciertas ventajas frente a las **alóctonas** como son su gran rusticidad, mejor adaptación al medio, menor sensibilidad a las plagas, además de servir de refugio y alimento a la fauna. Son especies de gran belleza ornamental que se deben requerir de los viveros ya que, en ocasiones, tienen poca difusión en los espacios de venta.

6.3. A cada planta su lugar

En las características de cada planta se encuentran detalladas las preferencias, en cuanto a hábitat, de cada especie vegetal. Este aspecto es de vital importancia ya que si se sitúa una planta de sol a la sombra, o una que requiere de suelos bien drenados, en uno arcilloso, estará en permanente estrés, siendo más proclive a contraer enfermedades y deficiencias nutricionales.

También es interesante tener en cuenta algunos consejos a la hora de realizar las plantaciones. Se deben evitar los periodos de heladas intensas o de mucho calor. Será preciso cavar buenos agujeros y mejorar el suelo con aportes de compost maduro si es necesario. En el caso de árboles grandes es importante la colocación de tutores que sujeten el tronco durante los primeros dos años.

6.4. El endurecimiento

Aunque genéticamente las plantas propuestas estén preparadas para soportar largos periodos de sequía, al principio puede ocurrir que alguna muera por falta de agua. Esto se debe a dos factores:

El primero, que durante el primer año los vegetales necesitan riegos de apoyo que garanticen su arraigo en el suelo. El segundo está relacionado con el modo de producción que se lleva en los viveros. El objetivo del viverista es conseguir plantas sanas y vigorosas en el menor tiempo posible, por lo que se aportan ingentes cantidades de agua y nutrientes. Así se darán unos plantones cuya fisiología no está adaptada a periodos de sequía.

Por lo explicado en los párrafos precedentes, se deberá acostumbrar paulatinamente a planta a la falta de riego, endureciéndola mediante cortes de riego periódicos. De esta manera se adaptan a los rigores del clima mediterráneo. También es importante la manera de regar. Los riegos serán más eficientes si se realizan en la horas de menor evaporación, concretamente a últimas horas de la madrugada. Riegos continuos pero de poco caudal promoverán sistemas radiculares superficiales. Al contrario de riegos más copiosos pero más espaciados en el tiempo. El agua, al alcanzar mayor profundidad, forzará a las raíces a buscarla y obtendremos plantas mejor adaptadas a periodos de sequías.

6.5. El problema del césped

En la jardinería de nuestro país el césped era prácticamente desconocido hasta los años 50 del pasado siglo. Su implantación se debe a la influencia cultural de las naciones anglosajonas y centroeuropeas, copiada, sin tener en cuenta su principal problema que es el gran empleo de agua que necesita para su mantenimiento.

Un césped de primera categoría necesita cerca de 2.000 litros de agua por metro cuadrado y año. Si se tiene en cuenta que en Madrid las precipitaciones locales son de unos 500 litros por metro cuadrado y año, el resto es agua tiene que ser aportada. Por ello, en un jardín de bajo consumo de agua la reducción de superficies con cobertura de césped será la forma más fácil para conseguir consumos menores.

No obstante, si se desean mantener pequeñas superficies de pradera se debería utilizar aquellas cespitosas menos exigentes en consumos como son las siguientes:

- **Cynodon dactylon**. Grama o hierba de las Bermudas. Muy resistente a la sequía. En invierno adquiere tonalidades amarillas, existen variedades de jardinería.
- **Stenotaphrum secundatum**. Forma céspedes bastante densos, se decolora en invierno.
- **Zoysia sp**. Muy resistente a la sequía. En invierno adquiere tonalidades amarillas.
- **Festuca arundinacea**. Resiste bien al frío, tolera razonablemente bien la falta de agua.

Sin embargo, tal y como se ha señalado, lo fundamental es sustituir superficies de césped por otro tipo de composiciones y técnicas como son los acolchados, utilización de tapizantes, arbustos de bajo porte, etc.

Apéndice

7

Buenas prácticas jardineras y
de mantenimiento

Un correcto mantenimiento es fundamental en el ahorro de agua. Realizar las labores en el momento idóneo y de forma sistemática facilitará la consecución del objetivo de ahorro.

Plantación de las especies

Para un correcto desarrollo del sistema radicular, es fundamental que la planta sea plantada en hoyos donde la tierra se trabaje y descompacte. Si es necesario, se aportará compost maduro.

El tamaño del hoyo dependerá del cepellón utilizado, siempre tendrá que ser más grande que éste, dándole mayor amplitud en cuanto al ancho del mismo, ya que es donde más van a crecer las raíces.

La mejor época para las plantaciones son primavera y otoño, siempre que las heladas no sean intensas.

Acolchados o “mulching”

Consiste en cubrir el suelo con elementos previniendo la evaporación. Pueden ser:

- **Orgánicos:** cortezas, triturados de restos de poda, etc.
- **Inorgánicos** como arenas y gravas.

Los beneficios del acolchado son evidentes, se limita la evaporación del suelo, los rayos solares no llegan a él y no se forman costras de desecación. Las plantas adventicias (malas hierbas) tienen mayores dificultades para crecer, sobre todo si se coloca bajo el acolchado un elemento geotextil (especie de lona semipermeable, que permite el paso del agua e impide la surgencia de malas hierbas). Las heladas no afectan tanto al suelo, y lo que es más importante, se consiguen ahorros de agua de hasta el 30 por ciento.

Manera de segar

También tiene su influencia en el ahorro de agua. La forma más eficiente consiste en dejar el césped más bien alto, de 6 a 10 centímetros y segar todas las semanas evitando siegas cortas y muy espaciadas en el tiempo.

Podas

Debemos evitar las podas severas en la época vegetativa, ya que fuerzan a la planta a producir mucha biomasa, lo que ocasiona mucho gasto de agua y nutrientes.

Cavas o escarificados

En el caso de suelos desnudos es aconsejable mantener éstos perfectamente mullidos mediante los escarificados, a fin de favorecer la infiltración del agua y minimizar de esta forma las pérdidas por escorrentía superficial, favoreciendo además, el intercambio gaseoso de las raíces con el exterior.

Plantas adventicias

De manera regular se eliminarán las plantas adventicias (malas hierbas), ya que compiten por el agua y los nutrientes. En general suelen ser especies de crecimiento rápido y vigoroso.

Si no se permite regar

Ante situaciones de sequía prolongada las administraciones promueven decretos que limitan el riego de parques y jardines.

En casos semejantes, se deberán seleccionar cuidadosamente las plantas que hay que salvar. Preferentemente las primeras a proteger serán los árboles, ya que constituyen la base del jardín y son los elementos vegetales de mayor valor económico y ecológico. Después irían los arbustos y trepadoras. Por último, las especies cespitosas.

Apéndice

8

Índice de figuras

Figura A. Embalse de El Atazar, Comunidad de Madrid - pág. 141

Figura B. Césped en ladera - pág. 146

Figura C. Jardín con terrazas o bancales - pág. 147

Figura D. Jardín de sombras acogedoras - pág. 148

Figura E. Seto variado - pág. 149

Figura F. Cerramiento de brezo - pág. 150

Figura G. Plano de xerojardín, con sus distintas zonas de consumo de agua - pág. 151

Figura H. Parque típico de modelo anglosajón - pág. 152

Figura I. Jardín tipo patio: Museo Sorolla en Madrid - pág. 153

Figura J. Jardines de la Casita del Príncipe - pág. 154

Figura K. Realización de drenajes en el parque piloto - pág. 159

Figura L. Aparato medidor del pH - pág. 161

Figura M. Hoja de Fotínea mostrando falta de hierro - pág. 162

Figura N. Compostador realizado con palets de madera - pág. 168

Figura Ñ. Aspersor y difusor - pág. 175

Figura O. Microaspersor, gotero y borboteador - pág. 176

Figura P. Plantación con acolchado de corteza de pino - pág. 178

Figura Q. Sonda de humedad marca “Nelson” - pág. 181

Figura R. Controlador marca “Nelson” - pág. 182

Figura S. Croquis de riego - pág. 183

Figura T. Sistema filtro-electroválvula-reductor de presión para goteo - pág. 184

Figura U. Contador de agua y electroválvula - pág. 186

Apéndice

9

Índice de tablas

Tabla A. Distribución del uso del agua en la Comunidad de Madrid - pág. 140

Tabla B. Sistemas de riego más comunes - pág. 177

Tabla C. Selección de especies idóneas – Árboles - pág. 191

Tabla D. Selección de especies idóneas – Arbustos y matorral - pág. 195

Tabla E. Selección de especies idóneas – Herbáceas y vivaces - pág. 202

Tabla F. Selección de especies idóneas – Trepadoras y tapizantes - pág. 204

Apéndice

10

Referencias bibliográficas específicas

Cómo aprovechar el agua de lluvia, Editorial TIKAL

Guía Práctica de Xerojardinería, Fundación Ecología y Desarrollo

Índice de Wucols

Jardinería con poca agua, www.lafertilidaddelatierra.com

Listado del IMIDA, www.imida.es

Manual para Horticultores Ecológicos, Mariano Bueno, www.compostadores.com

Manual de Jardinería Ecológica, Ecologistas en Acción

Manual de Xerojardinería, Ecologistas en Acción

Xerojardinería, Silvia Burés, Ediciones de Horticultura S.L.

Canal de Isabel II

www.cyii.es

Canal de Isabel II
Santa Engracia, 125. 28003 Madrid