

Manual de Riego de Jardines



Consejería de Agricultura y Pesca

Manual de Riego de Jardines



Coordinación

Ricardo Ávila Alabarces¹

Autores:

Antonio Martín Rodríguez¹
Ricardo Ávila Alabarces¹
M^a del Carmen Yruela Morillo²
Rafael Plaza Zarza²
Ángel Navas Quesada²
Rafael Fernández Gómez²

Colaboradores:

Javier Prieto-Puga de la Matta (†)
Juan Carlos García-Verdugo Rodríguez²

¹ Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

² Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero

MANUAL DE RIEGO DE JARDINES

© Edita: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca.

Publica:	VICECONSEJERÍA. Servicio de Publicaciones y Divulgación.
Colección:	FORMACIÓN AGRARIA
Serie:	CURSOS MODULARES
Coordinación:	Ricardo Ávila Alabarces
Autores:	Antonio Martín Rodríguez, Ricardo Ávila Alabarces, M ^a del Carmen Yruela Morillo, Rafael Plaza Zarza, Ángel Navas Quesada, Rafael Fernández Gómez
Colaboradores:	Javier Prieto-Puga de la Matta (†) y Juan Carlos García-Verdugo Rodríguez
Depósito Legal:	SE - 1905 - 2003
I.S.B.N.:	84 - 8474 - 104 - 4
Diseño y Maquetación:	Ediciones Ilustres S.L. (Córdoba)
Imprime:	Gráficas Monterreina, S.A. (Sevilla)

PRESENTACIÓN

En el contexto del Plan de Modernización de la agricultura andaluza, la Consejería de Agricultura y Pesca concede una especial relevancia a las acciones orientadas a la optimización del uso y la gestión del agua de riego, haciendo un uso eficiente de la misma. De igual forma, también se es consciente de la necesidad de cubrir la demanda de formación con vistas a conseguir una adecuada capacitación de los recursos humanos en un mundo cambiante, que requiere adaptarse a las nuevas tecnologías, procedimientos, actitudes y preocupaciones.

Recientemente, la Dirección General de Investigación y Formación Agraria ha elaborado un "Manual de Riego para Agricultores", con el que se cubre la demanda de material didáctico y de consulta para el manejo del riego en el ámbito agrícola, con un diseño y contenidos muy al alcance de los regantes.

Pero también constituye un motivo de preocupación el incremento de la demanda de agua ocasionado por el consumo urbano y la industria turística, siendo esta última un pilar fundamental en el sostenimiento de la economía de nuestra Comunidad Autónoma. En ambos casos, uno de los factores que inciden en esta demanda creciente es el incremento de las superficies ajardinadas públicas y privadas, que en regiones áridas y semiáridas como la que nos encontramos, necesitan aporte de agua de riego.

Paralelamente al incremento de la superficie y, en consecuencia, de la demanda de agua, existe un gran desconocimiento en la determinación de las necesidades hídricas reales de las plantas de jardín, en los criterios de diseño de las instalaciones y en el manejo de los propios riegos, lo que contribuye a realizar riegos poco eficientes y con excesivo consumo de agua que suele desembocar en alarma social. Esta situación frecuente se agrava aún más en periodos de sequía y restricciones en los cuales se limitan los riegos en los jardines, donde por un deficiente diseño, las plantas no pueden resistir situaciones de falta de agua y se llega a situaciones irreversibles.

Así pues, es muy importante que los profesionales dedicados al diseño y mantenimiento de los jardines públicos y privados conozcan las prácticas racionales del riego, necesidades de agua de las plantas del jardín, instalaciones de riego, calidad del agua y manejo de los riegos, de manera que en un futuro no lejano se pueda afirmar que los jardines no son derrochadores de agua, e incluso que de forma generalizada usan agua no apta para el consumo humano. Sólo de esta forma se puede convencer a la ciudadanía que los jardines no compiten por el agua sino que realizan un uso plenamente eficiente de esta.

Este material didáctico, "Manual de Riego de Jardines", consta de un documento técnico que incluye Ejercicios, un Guión Didáctico para el Profesorado, un CD-ROM multimedia y un CD-ROM con imágenes de apoyo para el profesorado, que pretende ser un material de referencia para la formación de personal relacionado con la jardinería y el riego, así como constituir una herramienta útil e innovadora tanto para el alumnado como para el profesorado.

Paulino Plata Cánovas
Consejero de Agricultura y Pesca

ÍNDICE

Unidad didáctica 1

EL JARDÍN COMO CONSUMIDOR DE AGUA

1.1. Introducción	9
1.2. El agua y la jardinería	9
1.3. Diseño de jardines eficientes en el uso del agua. Hidrozonas	12
1.4. Plantas poco exigentes de agua	15
1.5. Uso de aguas residuales depuradas para el riego de jardines	17
1.6. Suelos y enmiendas	24
1.7. Resumen	29
Autoevaluación	30

Unidad didáctica 2

NECESIDADES HÍDRICAS DEL JARDÍN

2.1. Introducción	31
2.2. Necesidades de agua de las plantas de jardín	31
2.3. Necesidades de riego de jardín	41
2.4. Elaboración de un plan de riego. Ejemplo	47
2.6. Resumen	51
Autoevaluación	52

Unidad didáctica 3

CONCEPTOS BÁSICOS DEL RIEGO A PRESIÓN. SISTEMAS DE BOMBEO

3.1. Introducción	53
3.2. Caudal	54
3.3. Presión	56
3.4. Pérdidas de carga	58
3.5. Riego con presión y caudal fijos	62
3.6. Elevación del agua	65
3.7. Tipo de bombas	68
3.8. Potencia del motor que acciona una bomba	71
3.9. Criterios básicos de selección e instalación de un grupo de bombeo	73
3.10. Resumen	75
Autoevaluación	76

Unidad didáctica 4

TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

4.1. Introducción	77
4.2. Riego localizado	77
4.3. Riego por aspersión y difusión	83
4.4. Cabezal de riego: sistemas de filtrado y fertirrigación	87
4.5. Red de distribución y drenaje	94
4.6. Elementos singulares	100
4.7. Emisores	103
4.8. Dispositivos antivandálicos y arquetas encastradas	110
4.9. Resumen	112
Autoevaluación	113

Unidad didáctica 5

AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO

5.1. Introducción	115
5.2. Ventajas e inconvenientes de la automatización de los riegos. Sistemas de automatización	116
5.3. Elementos utilizados en los sistemas de automatización	118
5.4. Cálculo de la sección del cable de conexión	125



5.5. Sistemas sin hilo	127
5.6. Programación integral del riego	129
5.7. Resumen	131
Autoevaluación	132

Unidad didáctica 6

DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE RIEGO DE JARDINES

6.1. Introducción	133
6.2. Número, caudal y disposición de los emisores de riego localizado	133
6.3. Marco de los aspersores y difusores	137
6.4. Frecuencia y tiempo de riego	140
6.5. Sectorización del riego	144
6.6. Diseño hidráulico de la instalación de riego	148
6.7. Dimensionado del equipo de filtrado	161
6.8. Resumen	163
Autoevaluación	164

Unidad didáctica 7

EVALUACIÓN, MANTENIMIENTO Y MEJORA DEL MANEJO DE LOS RIEGOS

7.1. Introducción	165
7.2. Evaluación en sistemas de goteo	166
7.3. Evaluación en sistemas de aspersión y difusión	172
7.4. Mantenimiento de las instalaciones	178
7.5. Manejo del riego	184
7.6. Manejo de la fertirrigación y quimigación	186
7.7. Resumen	189
Autoevaluación	190

Unidad didáctica 8

EL RIEGO POR SUPERFICIE EN JARDINERÍA

8.1. Introducción	191
8.2. El agua como elemento integrado del jardín. Valor ornamental del riego por superficie	192
8.3. Tipos de sistemas de riego por superficie	195
8.4. Pozas y alcornoques	196
8.5. Sistemas de riego por surcos	199
8.6. Desarrollo y manejo de los sistemas de riego por superficie	200
8.7. Mejora del manejo del riego por superficie	211
8.8. Resumen	214
Autoevaluación	215

Unidad didáctica 9

SISTEMAS DE DRENAJE

9.1. Introducción	217
9.2. El exceso de agua en el suelo: efectos derivados de los encharcamientos en jardinería	217
9.3. Clasificación de los sistemas de drenaje	219
9.4. Diseño hidráulico de las instalaciones de drenaje	224
9.5. Resumen	231
Autoevaluación	232

ANEJOS

Anejo 1	233
Anejo 2	247
Anejo 3	254

RESPUESTAS A LAS EVALUACIONES	257
-------------------------------------	-----

GLOSARIO	258
----------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	262
--------------------	-----



1.1. Introducción

El **agua**, a pesar de ser un recurso renovable y aparentemente abundante en el planeta, es un **bien escaso** en Andalucía, como consecuencia del régimen de precipitaciones propio del clima Mediterráneo. Por este motivo, su utilización para la práctica de los riegos en jardinería debe ser llevada a cabo **de la forma más eficiente** posible, **evitando un consumo excesivo**.

Un manejo eficiente del agua de riego se puede conseguir mediante la adopción de medidas que permitan establecer un consumo acorde a las necesidades del jardín. Estas medidas consisten en el diseño o la delimitación de zonas de requerimientos hídricos similares (**hidrozonas**), el empleo **de especies poco exigentes en agua**, la utilización de **aguas residuales depuradas** para la práctica de los riegos, y **la mejora de las propiedades del suelo** que influyen en su capacidad de retención de agua y de *infiltración*, mediante, por ejemplo, la aplicación de enmiendas.

La puesta en práctica de estas medidas permiten el diseño de un **jardín eficiente en el uso del agua**, sin entrar en conflicto con la funcionalidad para la cual se diseñe y manteniendo el valor ornamental del mismo.

1.2. El agua y la jardinería

El agua es un componente del jardín que forma parte estructural de su función decorativa en fuentes, surtidores, cascadas o láminas, al tiempo que es un **elemento vital para las plantas** que lo componen, ya que entra a formar parte de procesos tan importantes como la nutrición, la regulación térmica o el transporte de sustancias. Esto hace que el riego sea esencial para el correcto mantenimiento de los jardines.



Figura 1. El agua forma parte de la decoración de parques y jardines.

En la actualidad son numerosos los jardines, tanto públicos como privados, que se riegan mediante sistemas tradicionales por superficie o a pie, simplemente utilizando una manguera. En estos casos la posibilidad de aplicar una cantidad de agua superior a la que realmente necesitan las plantas para cubrir sus necesidades, y por tanto de que se produzcan derroches de agua, es bastante elevada. Si al empleo de **sistemas de riego poco eficientes**, se le une la utilización de **especies con requerimientos hídricos muy elevados**, el **consumo de agua** destinada al riego de jardines **puede alcanzar cifras muy altas**, aunque de difícil cuantificación.

Otra causa de un elevado consumo de agua de riego en parques y jardines públicos es **el manejo y estado de conservación y mantenimiento de los equipos** que componen los sistemas de riego, que **no es siempre el adecuado**, bien por la calidad de dichos equipos o por la antigüedad de los mismos. En otras ocasiones se originan **problemas de uniformidad en el riego**, como consecuencia, entre otros factores, de una mala elección del sistema empleado, o de errores cometidos durante el diseño de la red que dan lugar, por ejemplo, a *solapes* inadecuados entre *aspersores* en riego por aspersión, o una mala distribución de los *emisores* en los sistemas de riego localizado.

Si se tiene en cuenta que en la práctica de la jardinería el **principal objetivo** no es la obtención de rendimientos, sino la **supervivencia de la vegetación y su mantenimiento** en unas condiciones estéticas aceptables, se hace necesaria la adopción de medidas que permitan **reducir un excesivo consumo de agua** hacia cantidades que permitan asegurar el mantenimiento de las plantas en estado óptimo. Entre estas medidas cabe destacar la adopción, siempre que sea posible, de **sistemas de riego con una mayor eficiencia de aplicación**; la adecuada determina-

ción de las necesidades hídricas de las plantas que componen el jardín; la realización de los riegos al atardecer o durante la noche, con la mayor periodicidad posible entre ellos; la práctica del riego deficitario, consistente en la aplicación de cantidades inferiores a las necesarias, pero suficientes para la supervivencia de la vegetación, y el **diseño de jardines eficientes en el uso del agua**.



Figura 2. Con los sistemas de riego localizado se consigue una gran eficiencia de aplicación.

Otras medidas más drásticas para reducir un excesivo consumo de agua, sobre todo en época de extrema sequía son:

- ▶ **Suprimir el aporte de fertilizantes**, ya que la cantidad de agua que la planta requiere es mayor al fomentarse su desarrollo.
- ▶ **Eliminar los frutos**, siempre que sea posible, ya que consumen gran cantidad de savia.
- ▶ **Emplear antitranspirantes**, pulverizados sobre las plantas para disminuir la transpiración.
- ▶ Realizar **riegos profundos** (disminuyen la evaporación) **y espaciados**.
- ▶ Realizar **podas de reequilibrio**.

En lo que a consumo de agua se refiere, las áreas destinadas a campos de golf y de deportes, merecen especial mención, por tratarse de zonas de césped con necesidades hídricas elevadas. En estos casos hay que tener en cuenta más que su resistencia a la falta de agua, determinadas características funcionales y visuales, como textura, color, suavidad, uniformidad, resistencia



a enfermedades, capacidad de recuperación, etc. Existen especies de *cespitosas* resistentes a la falta de agua, que son útiles en parques y zonas deportivas con poco tránsito, porque tienen una capacidad de recuperación, en general, lenta. En los casos en que no sea posible su utilización será necesario hacer hincapié en la instalación de sistemas de riego adecuados, así como en la *frecuencia de los riegos* para conseguir una profundidad de raíces óptima.

1.3. Diseño de jardines eficientes en el uso del agua. Hidrozonas

El diseño de un jardín eficiente en el uso del agua debe ir orientado a la **optimización del uso del agua** y por tanto a un ahorro real de la misma. El diseño debe ir precedido de un estudio del suelo, de la calidad del agua de riego y de la pluviometría de la zona, a fin de seleccionar las especies que formarán parte del jardín, el sistema de riego más adecuado, y las pautas de manejo a seguir para evitar pérdidas de agua por *filtración profunda*, *escorrentía* o *evaporación*. Los estudios previos al diseño también deben recoger información acerca de la *topografía* del terreno, de la existencia o no de drenajes, y de la vegetación e infraestructura existente en la zona de emplazamiento del jardín.

Dos aspectos importantes para realizar un adecuado uso del agua en un jardín es el **cálculo de las necesidades hídricas** del mismo, y el **control del consumo efectivo de agua**, mediante la instalación de equipos de medida. El consumo de agua de un jardín estará condicionado en gran medida por su diseño, ya que, por ejemplo, la mezcla de especies con necesidades hídricas diferentes en una misma zona, hace necesaria la aplicación de cantidades de agua por encima de las necesidades de algunas de dichas especies, lo que además de ocasionarles problemas fisiológicos, supondrá un consumo de agua superior al realmente necesario.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar un jardín eficiente en el uso del agua es su **división en áreas de requerimientos hídricos similares o hidrozonas**, sin que por ello se olviden otros aspectos, tan importantes como la estética, funcionalidad y uso, o el estilo paisajístico que el propietario del jardín (público o privado) desee darle, y que se deberán contemplar en la planificación del diseño.



DIVISIÓN DEL JARDÍN EN ÁREAS DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS SIMILARES

La consideración del jardín como un área homogénea de requerimientos hídricos, es un error desde el punto de vista de la gestión eficiente del agua de riego, ya que **especies distintas tendrán necesidades distintas**. Para optimizar el uso del agua se debe dividir el jardín en hidrozonas o zonas hídricas, división que debe realizarse teniendo en cuenta el consumo de agua de las plantas, sus necesidades de iluminación y mantenimiento, y las exigencias de uso. La localización y la forma de cada hidrozona también deberá tener en cuenta la topografía del terreno y mantener una estética adecuada al estilo del jardín. Asimismo en la distribución de las distintas especies que compongan cada hidrozona habrá que combinar la forma, color y textura de las plantas para lograr el objetivo deseado.

Teniendo en cuenta estos factores se pueden considerar **tres zonas en cuanto al consumo de agua**: alto, moderado y bajo, lo que permitirá aportar a cada conjunto de plantas el agua necesaria para su óptimo desarrollo y facilitará en gran medida el manejo del riego.

Hidrozona de alto consumo de agua

Esta zona, posiblemente la de mayor uso y belleza, que **debe ser restringida** dentro de un jardín que tenga limitaciones de agua, agrupará las **especies con mayores necesidades hídricas**. En jardines privados, la hidrozona principal se localiza en las proximidades de la vivienda con el objeto de aportarle frescor, ya que en ella se suelen agrupar plantas de sombra. Independientemente de la privacidad o no del jardín esta zona se hace coincidir con la parte más visible, por ejemplo zonas de acceso, paseos, zonas de descanso, etc.



Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 3. Las zonas más visibles del jardín suelen contener las especies con mayores requerimientos hídricos.

Hidrozona de moderado consumo de agua

Esta hidrozona agrupará las **especies con un consumo de agua medio o moderado**. Generalmente se destina a delimitar espacios dentro del jardín, para lo que se emplean arbustos o flores y bulbos con necesidades medias de agua.

Hidrozona de bajo consumo de agua

Estará compuesta por plantas **capaces de sobrevivir con un aporte de agua muy escaso o nulo** después del establecimiento, por lo que generalmente se emplean especies autóctonas. En numerosas ocasiones esta hidrozona se localiza en las zonas de tránsito más alejadas de las edificaciones, en los aparcamientos, alineaciones de viales, etc.

ELECCIÓN DE LAS ESPECIES ADECUADAS

El componente básico de un jardín son las plantas que lo integran. Su elección es un punto clave del diseño, ya que de ella dependerá, en gran medida, el éxito del jardín en situaciones de escasez de agua, bastante frecuentes en la comunidad andaluza. Previo a la selección de las especies que formarán el jardín, es necesario conocer las características climáticas de la zona, especialmente su régimen hídrico, así como las necesidades hídricas de las especies que se vayan a seleccionar, y las características del suelo.

En un jardín eficiente en agua se trata de **combinar de una forma estética las necesidades de las plantas, con su desarrollo, forma, textura y color**. En principio, cualquier especie que se adapte a las condiciones climáticas de la zona donde se instalará el futuro jardín y que sea eficiente en agua, tiene cabida en el mismo. En general, se debería tender al uso de *especies autóctonas* por tratarse de plantas de bajo consumo hídrico, sin que esto limite la introducción de otras especies que por el interés del jardín puedan resultar necesarias, aunque su éxito dependerá de la posibilidad de recrear su hábitat dentro de la zona donde se localicen.

Si se emplean *cespitosas* deben elegirse aquéllas que presenten menores requerimientos hídricos, de forma que con un manejo adecuado del agua de riego pueda conseguirse un césped de calidad. También hay que considerar su ubicación dentro del jardín, separando las zonas de césped de otras con necesidades hídricas diferentes y limitándolas a los espacios donde presente funcionalidad, como en zonas de pendiente para prevenir la *erosión*, o en áreas de uso recreativo.

ESTUDIO DE LOS MICROCLIMAS GENERADOS EN CADA ZONA

Las condiciones ambientales de la zona donde se sitúe un jardín han de ser estudiadas y tenidas en cuenta al realizar el diseño del mismo. Factores como la temperatura, humedad, velocidad del viento, o radiación solar, serán determinantes de las especies que se seleccionen, de su orientación y situación dentro del jardín, y de las pérdidas globales de agua. Dentro de una misma zona climática pueden existir **áreas con distintas condiciones ambientales**, denominadas **microclimas**, que de igual forma deben ser tenidas en cuenta.

El microclima reinante en cada zona del jardín puede modificarse con sencillas prácticas de diseño, de manera que el jardín se proteja de aquellas condiciones adversas o se vea beneficiado de las que le favorecen. Así por ejemplo, para evitar un exceso de radiación se puede plantar algún árbol o jugar con la orientación de las edificaciones para que sombreen una determinada zona, y para minimizar los efectos del viento o favorecer su circulación se utilizan barreras cortavientos naturales o artificiales.



Figura 4. El microclima de una zona del jardín puede modificarse con árboles que den sombra.

1.4. Plantas poco exigentes en agua

Una de las claves del diseño de un jardín eficiente en el uso del agua está en el empleo de especies de plantas poco exigentes en agua, es decir, plantas que se caractericen por presentar unos **requerimientos hídricos inferiores al resto o una resistencia especial al estrés hídrico**. Por esto, las necesidades de un aporte adicional de agua mediante el riego en situaciones críticas, son escasas o nulas.



Aunque pueda parecer que el número de especies poco exigentes en agua es escaso y que aportan al jardín una estética más propia de un paisaje árido, la realidad es muy distinta. En Andalucía existen alrededor de cincuenta especies autóctonas, a las que se le pueden añadir alrededor de otras ciento cincuenta más procedentes de zonas secas del planeta, de las que no todas pueden ser utilizadas a lo largo y ancho de esta comunidad, ya que no están adaptadas a las bajas temperaturas que se alcanzan en algunas regiones.



Figura 5. Jardín con especies poco exigentes en agua.

La variedad de plantas poco exigentes en agua es muy amplia. Este grupo, al contrario de lo que se cree, no sólo está compuesto por cactáceas y otras especies suculentas, sino que entre ellas también pueden encontrarse **árboles, arbustos, tapizantes, vivaces, aromáticas, trepadoras, palmáceas y hierbas ornamentales**, que además de proporcionar sombra y frescor al entorno, aportan colorido y belleza a los jardines en los que se emplean (ver Anejo 1).

Dentro del grupo de plantas poco exigentes en agua, pueden incluirse algunas especies cespitosas. El **césped es uno de los elementos más empleados** en los jardines y parques tanto públicos como privados. Su utilización genera un buen número de **beneficios** no sólo **estéticos y sociales**, sino también **ambientales**, ya que mejora las propiedades del suelo por la cantidad de *materia orgánica* que origina, interviene en la liberación de oxígeno a la atmósfera (se estima que una hectárea de césped puede aportar 5000 m³ de oxígeno al año), protege contra la erosión, etc.

Algunas especies de césped consideradas como poco exigentes en agua son *Cynodon dactylon*, *Buchloe dactyloides*, *Paspalum vaginatum*, *Zoysia japonica*, *Stenotaphrum secundatum*, *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, *Penicetum clandestinum* y *Poa pratensis*.

1.5. Uso de aguas residuales depuradas para el riego de jardines

La escasez de agua en Andalucía, apoyada por la Ley de Aguas de 1985, ha forzado en numerosas ocasiones la supresión de los riegos tanto agrícolas como de jardines en beneficio del consumo de la población y de industrias que precisen poca cantidad de agua para su funcionamiento. La **reutilización de las aguas residuales urbanas**, convenientemente tratadas para el riego, es una alternativa importante que permite la realización de un **aprovechamiento eficaz** de estas aguas.

Sirva de ejemplo la ciudad de Córdoba, con unos 300.000 habitantes, donde se depuran unos 80.000 m³ de agua residual al día, procedente de los hogares y de las industrias que no requieren una depuración previa a la de la estación depuradora municipal. Si se considera que un jardín medio consume unos 8 litros por metro cuadrado y día en las épocas de mayor demanda, con el agua depurada cada día habría suficiente para regar unos 10.000.000 de metros cuadrados de jardín al día. Si esta cantidad se divide entre la población de Córdoba, se podría decir que con el agua residual producida cada habitante regaría diariamente unos 33 metros cuadrados de zona verde.

El Real Decreto-Ley 11/1995, en su artículo 5º establece como fechas tope el 1 de enero de 2001 para la puesta en funcionamiento de estaciones depuradoras de aguas residuales en municipios de más de 15000 habitantes equivalentes (1 hab.eq. = 60 gr DBO₅), y el 1 de enero de 2006 para los municipios de más de 2000 habitantes equivalentes, que viertan en cauces naturales. Además establece la obligatoriedad de llegar hasta el final del tratamiento secundario en dichas estaciones depuradoras, lo que supondrá la posibilidad de disponer de un **gran volumen de agua depurada que puede volver a ser utilizada para el riego**. La realización de tratamientos posteriores al secundario dependerá, entre otros factores, del uso que se le vaya a dar a dicha agua.

El Real Decreto Legislativo 1/2001, establece que las aguas residuales urbanas depuradas pueden ser empleadas por los Ayuntamientos, con sólo una autorización administrativa para el riego de parques, jardines, campos de golf, calles, etc.

Un aspecto importante a la hora de utilizar las aguas urbanas depuradas, es la **necesidad de una red específica** que evite el contacto entre esta agua y la de la red urbana. Por este motivo en los jardines de nueva construcción o en los que se realicen obras de infraestructura, se debe prever la realización de estas redes específicas de aguas residuales depuradas.





Figura 6. Durante las obras de remodelación de un jardín debe tenerse en cuenta la realización de una red específica para las aguas residuales depuradas.

CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

La calidad de las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos, depende de la calidad del agua suministrada y del tipo de residuos añadidos durante su uso. En general, el agua residual está constituida en un 99,9% por agua y tan sólo el 0,1% restante son residuos de tipo orgánico, inorgánico y biológico, que deberán ser reducidos en los procesos de depuración.

Una de las principales características de las aguas residuales es el **contenido en sólidos totales** que llevan tanto en suspensión como disueltos o en flotación. Estos sólidos pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los sólidos totales, principalmente los que se encuentran en suspensión **deben ser reducidos al máximo** ya que pueden ocasionar problemas de aireación y penetración de agua en los suelos, además de la obturación de los emisores de riego.

Las aguas residuales son portadoras de materia orgánica; su contenido se expresa principalmente por medio de la **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)** que indica la cantidad de oxígeno, en mg/l, requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en el agua en un tiempo determinado (en general cinco días, DBO₅). Se trata de un indicador indirecto de la *concentración* de materia orgánica biodegradable en el agua. **Tras los tratamientos de depuración la DBO debe reducirse entre un 70 y un 90%.**

A la hora de caracterizar los compuestos inorgánicos se deben realizar análisis que determinen el pH; el contenido en *nutrientes* (nitrógeno, fósforo y potasio), cuya cantidad debe ser controlada para evitar problemas de contaminación de aguas subterráneas; el contenido en sales solubles

como sulfatos, bicarbonatos, cloruros, y de iones como sodio, boro, etc., que debe estar dentro de los límites adecuados para no provocar problemas de *salinidad*; los elementos traza entre los que se incluyen los metales pesados, que pueden ser perjudiciales para personas, animales y plantas; y el cloro residual, que en exceso puede ocasionar quemaduras en las hojas.

Niveles umbral de oligoelementos en los cultivos

Elemento	Concentración máxima recomendada (mg/l)	Elemento	Concentración máxima recomendada (mg/l)	Elemento	Concentración máxima recomendada (mg/l)
Aluminio (Al)	5,0	Cobre (Cu)	0,20	Níquel(Ni)	0,20
Arsénico (As)	0,1	Flúor (F)	1,0	Plomo (Pb)	5,0
Berilio (Be)	0,1	Hierro (Fe)	5,0	Selenio (Se)	0,02
Cadmio (Cd)	0,01	Litio (Li)	2,5	Vanadio (V)	0,10
Cobalto (Co)	0,05	Manganeso (Mn)	0,20	Zinc (Zn)	2,0
Cromo (Cr)	0,10	Molibdeno (Mo)	0,01		

Fuente: Pescod, M.B. 1992

Dentro de los residuos de tipo biológico que contienen las aguas residuales, son los **microorganismos patógenos**, entre los que se encuentran **bacterias, virus y parásitos** (protozoos y helmintos), los que deben ser tenidos en cuenta ya que pueden ser causantes de enfermedades. Para su determinación se utilizan organismos indicadores cuya presencia se encuentra asociada a la de los patógenos, y que son más fáciles de identificar que éstos. La forma más común de identificación es el conteo de coliformes fecales (CF/100 ml); otro identificador es el número de nematodos intestinales, expresado en huevos/litro.

Otras características físicas que definen la calidad de las aguas residuales son su **olor y color**. Tras la depuración tanto el olor como el color deben ser como el de cualquier agua procedente de otra captación, a fin de evitar un efecto desagradable y un rechazo social.

DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Como se ha indicado anteriormente la ley obliga u obligará, en la fecha apropiada, a la realización de un **tratamiento primario y secundario** a aquellos municipios que instalen una estación depuradora de aguas residuales o a los que ya la tengan instalada.

Estos tratamientos consisten en la **eliminación de los residuos contaminantes** para conseguir un agua lo más parecida posible a la suministrada a cada municipio. Con esto se consigue reducir



la contaminación y los problemas de *eutrofización* de los cauces naturales, en caso de verterla, u obtener un agua que pueda ser reutilizada cumpliendo los requisitos de calidad que se le exigen.

A grandes rasgos los distintos tratamientos consiguen eliminar los sólidos de las aguas residuales en la siguiente proporción:

- ▶ **Tratamiento preliminar**, elimina las partículas con tamaño superior a 0,2 mm.
- ▶ **Tratamiento primario**, elimina la materia flotante y sólidos en suspensión. Se consigue reducir la DBO en un 25-50%; los sólidos en suspensión en un 50-70%; las grasas en un 65%; y se eliminan parte de los metales pesados, del nitrógeno y de fósforo.
- ▶ **Tratamiento secundario**, consigue eliminar hasta un 85-95% de la DBO y de los sólidos en suspensión, y la mayor parte de los metales pesados.



Figura 7. Vista general de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Granada.

Tras el tratamiento secundario, y según el uso posterior del agua, ésta puede someterse a uno terciario para eliminar otros componentes que aún permanezcan en ella. Por último, en los casos en los que vaya a existir un **contacto entre el agua residual depurada y las personas**, como ocurre en los parques y jardines, se puede realizar una **desinfección para destruir o inactivar los organismos patógenos**. Esta desinfección puede ser física, mediante radiaciones ultravioleta, gamma o microondas, o bien añadiendo algún producto químico, como cloro u ozono. La desinfección con cloro necesita especial atención

en caso de regar con el agua depurada cultivos sensibles a este elemento; la desinfección con ozono es menos frecuente por su coste. Con estos procesos no se consigue la eliminación total de los patógenos presentes en las aguas residuales, pero sí se reduce su número hasta cantidades mínimas.

Ventajas e inconvenientes de la utilización de agua residual depurada

El empleo de agua residual depurada para el riego de zonas verdes urbanas supone numerosas **ventajas**. La principal es el **aporte de materia orgánica al suelo**, con la consiguiente mejora de sus propiedades físicas. Además de materia orgánica, esta agua contiene elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo y potasio), lo que supondrá la disminución de las necesidades de fertilización del suelo y un ahorro económico. Otros beneficios están relacionados con el **incremento de los recursos hídricos** disponibles en la zona, y con la garantía de tener un suministro regular de agua para el riego, sin afectar al suministro para el consumo humano.

Pero la utilización de agua depurada cuenta también con algunos **inconvenientes**, como el elevado contenido en **sales y elementos tóxicos** que presentan en ocasiones; el contenido en **microelementos**, aunque en cantidades pequeñas, que a corto plazo no ocasionan problemas, pero que según el tipo de suelo pueden acumularse con el uso continuado de los riegos, y presentar toxicidad; **la presencia de agentes microbiológicos patógenos** que pueden poner en riesgo la salud de la población, especialmente la de las personas que trabajan directamente con el riego. La **obtención de los emisores** en los sistemas de riego localizado, debida a la presencia de sólidos en suspensión, es otro inconveniente del uso de este agua. Para evitarlas habrá que instalar sistemas de filtrado, preferentemente de limpieza automática, en las instalaciones de riego que utilicen agua residual depurada.

A pesar de estos inconvenientes, el empleo de aguas residuales depuradas para riego de parques, jardines, campos de deporte, etc. supone una **alternativa ante la escasa disponibilidad de agua** en determinadas zonas y épocas del año.

CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DEPURADAS PARA SU UTILIZACIÓN EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES

Tras el paso del agua residual urbana por los distintos tratamientos de depuración, la calidad que se le exige para utilizarla en el riego de las distintas zonas verdes urbanas, es la misma que la que se le exige a cualquier agua, sea cual sea su procedencia. Los criterios de calidad del agua de riego quedan reflejados en la UD 5 del Módulo 1 “Fundamentos del riego”.



En lo que sí hay que hacer especial hincapié es en la **calidad sanitaria** de esta agua por el contacto que va a tener con las personas. A este respecto la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece unos criterios de calidad en distintos informes y directrices. Basándose en estas directrices la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía ha publicado unas recomendaciones que permitan evitar los riesgos potenciales que puedan derivar de la utilización de agua residual depurada en riego agrícola y de zonas verdes.

Calidad del agua ⁽¹⁾	Tipo de cultivo o zona a regar	Método de riego que puede utilizarse	Otras condiciones que deben cumplirse
Nematodos intestinales* < 1huevo/l Coliformes fecales: < 200 UFC/100 ml	Riego de campos deportivos y zonas verdes de acceso público	Cualquiera	El riego no debe realizarse en horas de afluencia del público.
Nematodos intestinales* < 1huevo/l Coliformes fecales: < 1.000 UFC/100 ml	Riego de cultivos de consumo en crudo	Cualquiera	
Nematodos intestinales* < 1huevo/l	Riego de cultivos industriales, madereros, forrajeros, cereales y semillas oleaginosas, viveros, cultivos destinados a industrias conserveras, productos vegetales que se consuman cocinados y árboles frutales	Cualquiera excepto: - Aspersión e inundación para el riego de hortalizas - Aspersión para el riego de árboles frutales	El riego de árboles frutales con este tipo de agua debe suprimirse al menos dos semanas antes de la recolección y la fruta no debe ser recogida del suelo. El riego de pastos para consumo en verde debe cesar al menos dos semanas antes de que se permita apacentar al ganado.
No se establecen límites pero se exige un tratamiento de, al menos, sedimentación primaria.	Riego de cultivos industriales, madereros, forrajeros, cereales, semillas oleaginosas y zonas verdes no accesibles al público.	Localizado	

Fuente: Consejería de Salud de la Junta de Andalucía (1995). Criterios sanitarios para la reutilización de aguas residuales depuradas en el riego agrícola y zonas verdes.

* *Ascaris*, *Trichuris* y *Ancylostoma*

(1) Se considerará que la calidad del agua es conforme con las condiciones requeridas si las muestras recogidas en un mismo punto, durante un año, cumplen que :

- El 95% de las muestras no exceden del valor límite establecido para nematodos intestinales.
- El 90% de las muestras no exceden del valor límite establecido para coliformes fecales.

El riesgo sobre la salud, tanto de las personas como de las plantas, que puede ocasionar el riego de zonas públicas transitadas con agua residual depurada dependerá, además del grado de exposición humana, del sistema empleado. En este sentido, los sistemas de **riego a pie y por asper-**

sión son los que más riesgo conllevan, al producirse un contacto directo entre el agua y las plantas, y un mayor riesgo de exposición de la persona encargada del riego. Además en el caso de riego por aspersión, las pequeñas gotas generadas, son fácilmente transportadas por el viento a zonas próximas (más de 100 m si el tamaño de la gota es de menos de 50 micras y con un viento de unos 10 km/h), pudiendo entrar en contacto con la población en general.



Figura 8. El riego de jardines a pie con agua residual depurada, conlleva un mayor riesgo para la salud de la persona que lo realiza.

Si el sistema de riego empleado es aspersión, habrá que tomar precauciones para evitar o minimizar el contacto de las personas con el agua:

- ▶ Evitar regar los días de viento.
- ▶ Mantener una distancia de seguridad de al menos 150 m entre la zona a regar y la habitada.
- ▶ Utilizar aspersores de corto *alcance* o baja presión en zonas verdes urbanas y en campos de deporte.
- ▶ Evitar la propagación de las gotas empleando obstáculos o pantallas de protección.
- ▶ No utilizar este sistema de riego en sistemas de cultivo de plantas bajo cubierta.

Los sistemas de **riego localizado** son los **más adecuados para utilizar agua residual depurada**. Por un lado, las plantas no entran en contacto directo con el agua y además, al mantenerse la zona del *bulbo húmedo* siempre mojada, las plantas tienen agua a su disposición continuamente, lo que disminuye la aparición de problemas de salinidad; por otro lado, es el método más seguro desde el punto de vista del manejo, ya que ni la persona encargada de los riegos ni los usuarios de la zona regada tienen riesgos de entrar en contacto con el agua.



En cualquier caso, sea cual sea el método de riego empleado, es importante que en todas las zonas donde se utilicen aguas residuales urbanas depuradas para regar, se instalen carteles que lo indiquen, con claridad.



Figura 9.

1.6. Suelos y enmiendas

PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Durante la fase de diseño de un jardín es necesario realizar un **estudio de las principales características del suelo** para que, en caso de ser necesario, puedan llevarse a cabo las enmiendas oportunas y en algunos casos la sustitución total o parcial de suelos inservibles, para poder asegurar el éxito del futuro jardín.

Desde el punto de vista de un uso eficiente del agua, las propiedades más importantes del suelo que se deben considerar son aquellas relacionadas con su capacidad de retención de agua y de infiltración. Entre estas propiedades destacan textura, estructura, contenido en materia orgánica, profundidad, y el contenido y tipo de sales predominantes en el suelo.

La **textura** de un suelo hace referencia al porcentaje existente en su composición de arcilla, limo y arena (ver UD 4 del Módulo 1 "Fundamentos del riego"). En función de dicho porcentaje los suelos se clasifican desde arenosos o ligeros hasta arcillosos o pesados, pasando por un sinnúmero de texturas intermedias en función del predominio de uno u otro componente. El poder de retención de agua de los suelos aumenta a medida que lo hace su contenido en arcilla, al contrario de lo que ocurre con su poder de *infiltración*, mucho mayor en suelos con mayor contenido en arena.

El suelo está formado por agregados y *poros*, cuya distribución constituye su **estructura**. La cantidad, tamaño y comunicación de los poros determinan la capacidad de retención de agua y sobre todo su *velocidad de infiltración*. Sin embargo, la estructura puede verse alterada por diver-

Los agentes externos (impacto de gotas de lluvia o riego, tráfico peatonal o rodado, etc.), e internos (tipo de sales predominantes), por lo que el **mantenimiento de una buena estructura mantendrá una infiltración adecuada**.

Otra propiedad importante de un suelo es su contenido en **materia orgánica**, que desempeña importantes funciones. Por un lado, contribuye a la fertilidad del suelo ya que **aporta nutrientes** como nitrógeno, fósforo y azufre, y por otro, la materia orgánica **incrementa la capacidad de retención de agua del suelo** (es capaz de retener agua en una cantidad de hasta 20 veces su peso), y **contribuye a la estabilidad estructural del suelo** porque favorece la formación de agregados.

La **profundidad** del suelo también habrá que considerarla a la hora de diseñar un jardín. Ésta puede estar limitada por la presencia de horizontes endurecidos o modificados (muy frecuentes en suelos destinados a jardinería), de una capa freática, o de un horizonte salino, en definitiva, por alguna característica que impida u ofrezca resistencia a la penetración de las raíces de las plantas. En un **suelo con poca profundidad** y por tanto con poca zona útil para que se desarrollen las plantas, las raíces se extenderán próximas a la superficie para buscar agua y nutrientes, lo que **reducirá su capacidad de anclaje y dejará a las plantas más vulnerables a condiciones adversas**, especialmente a sequías o vientos. Además, el volumen de agua almacenado será muy reducido.

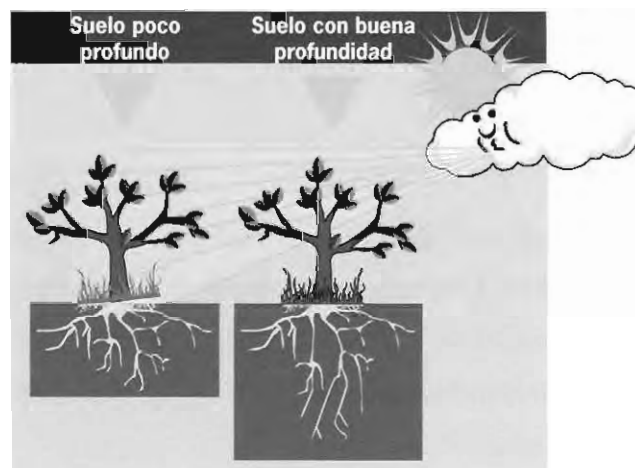


Figura 10.

Por último, la **salinidad del suelo** es otra de las características que debe ser sometida a un estudio previo a la instalación de un jardín. Todos los suelos presentan sales solubles, que en muchos casos son nutrientes de las plantas. Pero un **exceso en el contenido total de sales**



produce una **reducción de la cantidad de agua del suelo disponible para las plantas**. Aún cuando el contenido total de sales en el suelo esté dentro de los límites normales, el exceso de algunos iones, principalmente el sodio, provocará el deterioro de la estructura del suelo, y por tanto problemas de infiltración y retención de agua. Otros iones (boro, cloruro), en cantidades excesivas pueden producir problemas de toxicidad en las plantas.

ENMIENDAS DE MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Los problemas ocasionados por la alteración de algunas de las características de los suelos descritas anteriormente pueden ser atenuados o solventados, en la mayoría de los casos, mediante la aplicación de unas **medidas correctoras o enmiendas**. Así por ejemplo, para contrarrestar los problemas de los suelos excesivamente arcillosos cabría pensar simplemente en añadirles una cantidad determinada de arena, o para el caso de los muy arenosos, de arcilla. Sin embargo, esta solución sólo es factible en jardines de muy pequeño tamaño, en zonas de césped de alto valor, o en viveros, semilleros o invernaderos dedicados al cultivo de plantas de elevada rentabilidad económica.

Dada la dificultad de corregir la *textura* de un suelo, salvo en casos especiales, como en algunas cespitosas, las enmiendas que se realicen habrán de ir encaminadas principalmente a la mejora de la *estructura del suelo* y al incremento de su espesor. Esto último puede conseguirse con la realización de un laboreo en profundidad o con un buen sistema de drenaje, según el origen de la limitación del espesor del suelo.

Enmiendas orgánicas

Vista la importancia de la materia orgánica en un suelo, es fundamental **mantener un nivel adecuado mediante la realización de enmiendas orgánicas**, que no sólo tienen en cuenta la cantidad de materia orgánica añadida, sino la calidad de la misma. Llevar a cabo una adecuada corrección en cantidad y calidad de materia orgánica mantendrá el suelo con un **óptimo nivel** de nutrientes, además se verán favorecidas la estructura y *porosidad* del suelo y por tanto la capacidad de retención y de infiltración de agua.

Una de las formas más adecuadas de realizar un aporte de materia orgánica es mediante la **adición de fertilizantes orgánicos** como estiércol, residuos vegetales, o **residuos orgánicos** de cualquier tipo, hasta que el contenido de materia orgánica en el suelo esté entorno al 2-3%.





Figura 11. Estiércol preparado para realizar enmiendas orgánicas en jardines.

Enmiendas calizas

Este tipo de enmiendas consisten en la **adición al suelo de calcio** en forma de carbonato cálcico. Con esto se consiguen corregir los suelos ácidos, y poner en marcha el proceso de transformación de nitrógeno amoniacal en nítrico (asimilable por las plantas), puesto que los microorganismos que la realizan no son activos si el *pH* es inferior a 6.

Necesidades medias de caliza para elevar el pH de los suelos ácidos

Tipo de suelo	Caliza fina ⁽¹⁾ necesaria en t/ha para pasar de:		Tipo de suelo	Caliza fina ⁽¹⁾ necesaria en t/ha para pasar de:	
	pH 4,5 a pH 5,5	pH 5,5 a pH 6,5		pH 4,5 a pH 5,5	pH 5,5 a pH 6,5
Arenoso	0,7	0,9	Franco-limoso	2,7	3,2
Franco-arenoso	1,1	1,6	Franco-arcilloso	3,4	4,5
Franco	1,8	2,3	Orgánico	7,4	8,5

Fuente: Carlos Cadahia López y Juan José Lucena Marota (1998)

(1) Expresado en carbonato cálcico finamente pulverizado

Enmiendas yesíferas

Las enmiendas que añaden yeso al suelo se realizan en suelos sódicos, en los que existe un deterioro de la estructura por la dispersión de las partículas de arcilla, que dan lugar a partículas de menor tamaño capaces de producir el sellado de los poros, dando lugar a una mala aireación del suelo y a una impermeabilización del mismo. Con la **adición de yeso** se consigue una sustitución de sodio por calcio que favorece la formación de agregados, lo que **mejorará la estructura del suelo** y por tanto **la aireación y la capacidad de infiltración de agua**.

El aporte de yeso puede hacerse directamente al suelo o con el agua de riego. El primer caso es más recomendable cuando se tiene un RAS elevado y una salinidad por encima de 1 dS/m (ver UD 5 del



Módulo 1 “Fundamentos del Riego”), y el segundo cuando la salinidad está por debajo de este valor. Para recuperar un suelo sódico la cantidad de yeso granular puede oscilar entre 5 y 40 t/ha, según la gravedad del problema. En condiciones críticas se aportarán 40 t/ha de yeso en una sola dosis, mientras que en situaciones de menor gravedad las aportaciones se pueden realizar en varias dosis de menor cantidad.

Otras enmiendas

Además de las enmiendas mencionadas que regulan los procesos de retención e infiltración de agua en los suelos, se pueden llevar a cabo otras medidas que contribuyan a la regulación la humedad del suelo y a evitar pérdidas de agua desde la superficie, por *evaporación* y por *escorrentía*. Entre estas medidas se encuentra el **empleo de cubiertas o mulching**, realizadas en la mayoría de los casos con cortezas de pino, hojas secas y virutas de madera, o bien con un sistema mixto, malla de suelo y cubierta natural (cortezas, cantos rodados, etc.). Con las cubiertas también se consigue **mejorar la infiltración** y distribuir el agua en el perfil del suelo de forma regular, así como **distribuir el agua de forma regular** sobre la superficie del terreno, impidiendo su acumulación en las zonas más bajas, y evitar la formación de costra superficial y la aparición de malas hierbas.



Figura 12. Cubierta natural. Mejora los procesos de infiltración y distribución del agua en el suelo.

Por último, otra práctica empleada en mejora de suelos, en especial en aquellos que presentan una baja capacidad de retención de humedad, es la aplicación **de productos hidrorretenedores** que absorben, acumulan y liberan agua del suelo. Deben elegirse aquellos productos que no retengan el agua con excesiva energía, ya que podrían competir con las raíces de las plantas. Estos productos **deben emplearse en casos extremos**, ya que las enmiendas orgánicas clásicas suelen ofrecer mejores resultados.

1.7. Resumen

Los problemas de sequía, frecuentes en Andalucía, obligan a hacer un uso racional del agua, especialmente de la que se emplea para el riego agrícola y de zonas verdes. En relación a este último caso surge la necesidad de realizar jardines eficientes en el uso del agua. El diseño de estos jardines se fundamenta en la división del jardín en zonas que presenten requerimientos hídricos similares o hidrozonas, lo que permitirá aportar a cada conjunto de plantas el agua necesaria para su óptimo desarrollo; y en la elección, siempre que sea posible, de especies de plantas poco exigentes en agua.

El empleo de aguas residuales depuradas para el riego de parques y jardines públicos es una alternativa a la hora de realizar un aprovechamiento eficaz del agua. Su uso aporta numerosas ventajas, entre las que destaca el aporte de materia orgánica y elementos nutritivos al suelo; y algunos inconvenientes, como la obturación de emisores de riego y la posibilidad de poner en riesgo la salud de las personas encargadas del riego y de los usuarios del jardín. Esto último hace que la calidad sanitaria de este tipo de agua sea un limitante para su utilización en zonas públicas.

El suelo también juega un papel fundamental en el diseño de jardines eficientes en el uso del agua, y en especial aquellas características relacionadas con la capacidad de retención de agua y de infiltración (textura, estructura, contenido en materia orgánica, etc.). Estas características pueden ser objeto de mejora mediante la práctica de enmiendas orgánicas, o de yeso, la utilización de cubiertas vegetales, etc.

AUTOEVALUACIÓN

1. Para reducir el excesivo consumo de agua que tiene lugar en numerosos jardines, se recomienda:

- a) Restringir el suministro de agua al jardín.
- b) Utilizar sistemas de riego con mayor eficiencia de aplicación.
- c) Incrementar las zonas del jardín regadas a pie.
- d) Realizar los riegos, siempre que sea posible, en las horas centrales del día.

2. Un jardín eficiente en el uso del agua es aquel que:

- a) No puede ser regado bajo ningún concepto, porque se gastaría agua y no sería eficiente.
- b) Está orientado a la producción de especies ornamentales.
- c) Está orientado a la optimización del uso de agua y a su ahorro.
- d) Utiliza especies típicas de los desiertos, para no tener que regarlas.

3. Durante el diseño de un jardín eficiente en el uso del agua se contempla su división en hidrozonas, ¿qué es una hidrozona?

- a) Una zona del jardín en la que se instala un estanque.
- b) Una zona del jardín en la que se sitúan flores del mismo color.
- c) Una zona del jardín en la que se sitúan especies con necesidades hídricas similares.
- d) Una zona de paso del jardín en la que no se sitúa ninguna planta.

4. Las especies con mayores requerimientos hídricos deben situarse en la hidrozona de moderado consumo de agua.

Verdadero / Falso

5. Se denominan plantas poco exigentes en agua:

- a) La plantas típicas de los paisajes desérticos.
- b) Las que tienen necesidades de agua inferiores a las presentadas por otras especies.
- c) Las que se sitúan en la hidrozona primaria de un jardín.
- d) Las que se utilizan para proporcionar sombra y frescor al entorno.

6. Una de las principales ventajas del uso de aguas residuales para el riego de jardines es:

- a) El aporte de materia orgánica al suelo.
- b) El aporte de sales y otros posibles elementos tóxicos al suelo.
- c) El aporte de agentes microbiológicos patógenos al suelo.
- d) La presencia de sólidos en suspensión que puedan obstruir los emisores.

7. Los sistemas de riego localizado son los más adecuados para el uso de aguas residuales depuradas.

Verdadero / Falso

8. Cuáles de las siguientes propiedades del suelo, relacionadas con su capacidad de retención de agua y de infiltración, son objeto de estudio y mejora para conseguir un mejor uso del agua.

- a) Textura, estructura, color y contenido de humedad.
- b) Textura, estructura, contenido en materia orgánica, profundidad, y contenido y tipos de sales predominantes.
- c) Textura, estructura, contenido y tipo de sales predominantes, color y dureza.
- d) Ninguna de las propiedades citadas pueden modificarse para conseguir un mejor uso del agua.

9. Las emiendas yesíferas consisten en la adición de yeso al suelo, con el objetivo de mejorar su estructura, y por tanto la aireación y la capacidad de infiltración del agua del mismo.

Verdadero / Falso



2.1. Introducción

El **agua**, principal componente de las plantas, **es un elemento imprescindible para la vida** de las mismas y constituye el principal medio de disolución y transporte de las sustancias nutritivas que existen en el suelo. Además, el agua es un **elemento decisivo en los procesos de crecimiento y desarrollo** de los vegetales, así como en los de regulación térmica, ya que les permite una correcta “refrigeración” para adaptarse a las distintas condiciones climáticas.

El **consumo de agua** que tenga lugar en el jardín dependerá del **tipo de plantas** (no todas necesitan la misma cantidad) y de la **climatología de la zona**, especialmente de la radiación solar, temperatura, lluvia, humedad y viento dominante. Sin embargo, en las necesidades de riego del jardín también influirá el tipo de suelo, que determinará la mayor o menor cantidad de agua almacenada y la dificultad con que las plantas la extraigan.

Para que todas las plantas del jardín evolucionen de forma óptima y todo el conjunto mantenga constantemente su belleza, es necesario conocer de manera bastante precisa la cantidad de agua a aplicar así como el momento de riego más adecuado y la forma más idónea para una distribución homogénea.

2.2. Necesidades de agua de las plantas de jardín

Del agua absorbida por las plantas una **pequeña parte es retenida y utilizada** en los procesos de **crecimiento** y en la realización de la **fotosíntesis**; el resto (la gran mayoría) se pierde por transpiración. La cantidad de agua retenida por las plantas es casi insignificante frente a la transpirada, por lo que se puede considerar que **el consumo de agua es equivalente a la transpiración**. Además, desde el suelo se produce una **evaporación** a la atmósfera de agua de las capas más superficiales.

La cantidad de agua empleada en los procesos de transpiración y evaporación suele considerarse de manera conjunta por la dificultad de calcularlas por separado. Por tanto, se considera que las **necesidades de agua** de las plantas de un jardín están representadas por la **suma de la evaporación directa desde el suelo y de la transpiración de las plantas**, en lo que se denomina **evapotranspiración (ET)**.

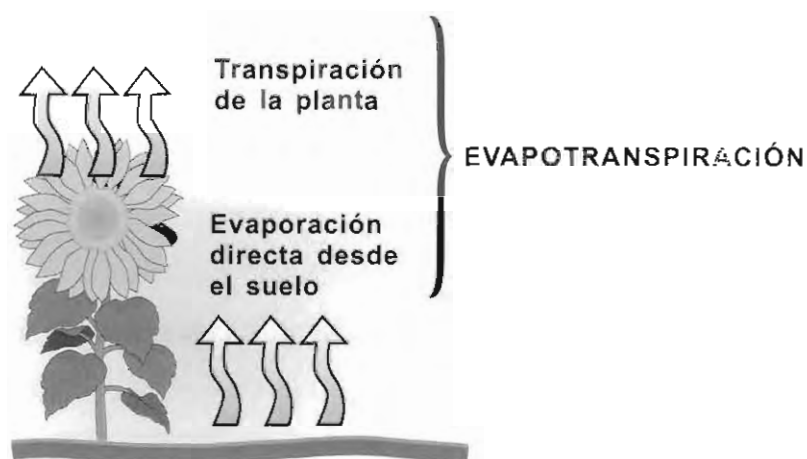


Figura 1. Necesidades de agua de las plantas.

El valor de **ET depende del clima y del tipo de planta**, valores relacionados entre sí, que para simplificar se considerarán por separado. Así la evapotranspiración es el producto de un valor que representa al clima, evapotranspiración de referencia (E_{Tr}), por un valor que representa a la planta, el coeficiente de cultivo (K_c). En general, la evapotranspiración se expresa en milímetros de altura de agua evapotranspirada cada día (mm/día).

$$\text{Evapotranspiración (ET)} = \text{Evapotranspiración de referencia (ETr)} \times \text{Coeficiente de cultivo (Kc)}$$

Sin embargo, la diversidad de especies de árboles, plantas, céspedes, etc. dentro de un jardín dificulta el cálculo de la evapotranspiración de la forma antes señalada, ya que **dentro de un mismo jardín existen varios factores que hacen variar la ET**. Estos factores son:

- ▶ Las **hidrozonas** o zonas de riego en las que se podría dividir un jardín en función del tipo de plantas que existan y sus necesidades hídricas.
- ▶ La **variabilidad de densidad** de plantación según las especies existentes.

- Los **diferentes microclimas** que se crean en el jardín por la existencia de zonas soleadas frente a otras de sombra, zonas más cálidas, más aireadas, etc.

Por esto en el cálculo de la evapotranspiración de un jardín habrá que tener en cuenta una serie de coeficientes diferentes al coeficiente de cultivo (K_c), que se engloban en un coeficiente denominado *coeficiente de jardín*, que se explicará con más detalle más adelante.

$$\text{Evapotranspiración (ET)} = \text{Evapotranspiración de referencia (ETr)} \times \text{Coeficiente de jardín (Kj)}$$

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Como se ha visto en la Unida Didáctica 6 del Módulo 1 “Fundamentos del Riego”, la **evapotranspiración de referencia (ETr)** se estima a partir de unos valores obtenidos en un cultivo tipo mantenido en unas condiciones de humedad óptimas. Este parámetro **varía según las condiciones climáticas** (radiación solar, temperatura humedad...) **y el entorno** donde se mida, pudiendo variar de un lugar a otro de la misma zona.

Con frecuencia, la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETr) no está dentro de las posibilidades del regante, por lo que para obtenerla deberá recurrir a información proporcionada por entidades públicas o asociativas, centros de investigación y experimentación, etc.

COEFICIENTE DE CULTIVO

El **coeficiente de cultivo (K_c)** describe las variaciones en la cantidad de agua consumida por las plantas a medida que se desarrollan.

En cultivos agrícolas este coeficiente varía desde la siembra hasta la recolección. En este periodo se diferencian cuatro fases de cultivo para las que, en general, se dispone de valores tabulados de K_c , aunque lo ideal sería disponer de valores del coeficiente de cultivo para cada cultivo, obtenidos en la zona.

Debido a la gran **variedad de especies** que pueden encontrarse en un jardín, se hace **prácticamente imposible establecer un valor del coeficiente de cultivo para su totalidad**, ya que cada una de ellas presenta un valor diferente de K_c . Además, en el jardín, factores como la **den-**



sidad de plantación y la posible existencia de **hidrozonas** y de **microclimas** diferentes **influyen en el valor de la evapotranspiración**.



Figura 2. La variabilidad de especies en un jardín imposibilita el establecimiento de un coeficiente de cultivo único.

Por esto, se estima un **coeficiente de jardín (Kj)** que se basa en una evaluación de las especies plantadas, la densidad de vegetación y el microclima o microclimas existentes y que se utilizará para el cálculo de la evapotranspiración (ET) en lugar del coeficiente de cultivo tradicional.

COEFICIENTE DE JARDÍN

El coeficiente de jardín (Kj) describe las **necesidades hídricas en las plantas de jardín**, teniendo en cuenta tres coeficientes en función de:

- ▶ Las especies que componen el jardín, (Ke)
- ▶ La densidad de plantación, (Kd)
- ▶ Las condiciones microclimáticas, (Km).

En jardinería, al contrario que en agricultura, no se determinan las necesidades de agua para maximizar las producciones. Lo que se pretende es **mantener los jardines con una estética aceptable**. Por tanto, no se puede afirmar que Kj sea un coeficiente de cultivo adaptado a jardines, sino que se trata de un coeficiente para calcular, de forma aproximada, las **necesidades de**

agua que permitan mantener la estética, teniendo en cuenta una serie de parámetros propios de los jardines.

Coefficiente de jardín = Coeficiente de especie x Coeficiente de densidad x Coeficiente microclima

$$K_j = K_e \times K_d \times K_m$$

Coeficiente de especie (Ke)

La variedad de plantas que normalmente se encuentra en un jardín dificulta el cálculo de las necesidades hídricas. Para simplificar estos cálculos y poder aplicar el agua necesaria a cada tipo de planta, **lo ideal sería agrupar las especies con necesidades de riego similares** en zonas de riego comunes o **hidrozonas**, que se podrían regar de forma independiente, logrando así un uso más eficiente del agua. De esta forma la **estética final del jardín estaría determinada por estas hidrozonas**, es decir, se planificaría y distribuiría el riego para lograr un conjunto de plantas con buena apariencia y agradable a la vista, utilizando la mínima cantidad de agua necesaria. En estos casos en los que la estética del jardín queda subordinada al agua de riego, se podría hablar de **estética del riego**.



Figura 3. Las plantas con necesidades de agua diferentes se agrupan en hidrozonas diferentes.

El cálculo del coeficiente de especie agrupando las distintas especies por hidrozonas **sólo es posible en los jardines de nueva construcción**. En los que ya están establecidos, la mayoría, también se debe considerar un coeficiente de especie para el cálculo del coeficiente de jardín. Para ello, se deberán tener en cuenta las especies de cada *sector de riego* y considerar el coeficiente de las especies con mayor consumo de agua, y cubrir así las necesidades de todas las



plantas que se vayan a regar al mismo tiempo. Esta opción no es la más adecuada para realizar un uso eficiente del agua, ya que las plantas con menores necesidades de agua recibirán más de la necesaria. Una posible solución es **considerar un valor de K_e intermedio**, siempre y cuando lo que interese sea mantener las plantas de mayor coeficiente de especie con vida pero con un aspecto visual inferior al óptimo.

El valor del **coeficiente de especie es clave para la determinación del coeficiente del jardín**, sin embargo no existe una lista normalizada de valores de K_e , por lo que en numerosas ocasiones los profesionales de la jardinería deberán recurrir a su propio criterio y experiencia para establecer el valor de dicho coeficiente.

En el Anejo 1 se da una lista de especies representativas de la jardinería en Andalucía con un coeficiente de especie aproximado.

ejemplo

En un jardín formado por una plantación mixta plena y madura se conocen los coeficientes de especie de las que lo componen: *Chamaerops humilis* (0,4), *Olea europeae* (0,26), *Buxus sempervirens* (0,5), *Rosmarinus officinalis* (0,3), *Lavandula spp* (0,3) y *Festuca ovina glauca* (0,4).

Para cubrir las necesidades de todas las plantas habría que considerar el coeficiente de especie más elevado, en este caso el de *Buxus sempervirens*, pero otra alternativa, que permite un uso más eficiente del agua, es considerar un coeficiente algo menor, entre 0,3 - 0,4 que mantendrá una estética aceptable.

Coeficiente de densidad (K_d)

Los jardines difieren considerablemente en cuanto a sus densidades de vegetación. Los recién instalados o aquellos con plantas espaciadas tienen en general menor superficie foliar que los jardines maduros o densos. Las pérdidas de agua en un jardín denso son mayores que en uno de baja densidad, a pesar de que las plantas individuales en un jardín espaciado puedan perder más cantidad de agua para una superficie foliar determinada.

El valor del coeficiente de densidad está en función del tipo de vegetación presente en el jardín, siendo el caso más difícil de evaluar el de los árboles. Para éstos se considerará un valor de

$K_d = 1,0$ cuando la cubierta vegetal (porcentaje de suelo sombreado) esté entre el 60 y el 100%. Si este porcentaje es menor del 60%, K_d disminuye, llegando a su valor mínimo (0,5) cuando la cubierta es del 25% o menor. Si el tipo de vegetación que predomina en el jardín es arbórea pero además hay arbustos y plantas tapizantes, el coeficiente densidad se ajusta hacia arriba hasta un valor máximo de 1,3 (siempre en función de la cubierta vegetal de los árboles).

Para arbustos y plantas tapizantes el coeficiente de densidad se considera equivalente. Con este tipo de vegetación, K_d toma un valor medio cuando la cubierta del suelo es completa o casi completa (90%). Si este porcentaje es menor o si la zona está recién plantada, el coeficiente disminuye tomando valores entre 1,0 y 0,5. Cuando sobre una base de tapizantes o de arbustos exista otro tipo de vegetación, los valores de densidad aumentan tomando valores entre 1,0 y 1,3

Los jardines más comunes son los de plantaciones mixtas de elevada densidad, es decir aquellos que tienen árboles y arbustos plantados sobre una capa de tapizantes. En este caso K_d toma el valor máximo, 1,3. También se pueden encontrar plantaciones mixtas de media o de baja densidad para los que el valor de K_d disminuye. El valor mínimo (0,6) se le asigna a jardines de este tipo recién plantados o espaciados.



Jardín de elevada densidad



Jardín mixto de baja densidad

Figura 4. Jardines de elevada y baja densidad

Tipo Vegetación	Coeficiente de densidad (Kd)		
	a	m	b
Árboles	1,3	1,0	0,5
Arbustos	1,1	1,0	0,5
Tapizantes	1,1	1,0	0,5
Plantación mixta	1,3	1,1	0,6
Césped	1,0	1,0	0,6

Los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación.

Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos o tapizantes).

En esta clasificación se asume que no existe superficie descubierta en el jardín. Si no es así, Kd se debe aumentar entre un 10 y un 20%, especialmente para árboles y arbustos.

ejemplo

1.- Un jardín compuesto por árboles de varias especies, vegetación media de laureles y plantas tapizantes cubriendo todo el suelo, y con una densidad de plantación elevada, toma un valor del coeficiente de densidad de 1,3 para el cálculo del coeficiente de jardín.

2.- Si el jardín del ejemplo anterior estuviera recién plantado el valor del coeficiente de densidad a considerar sería de aproximadamente 0,6.

Coeficiente microclima (Km)

La **pérdida global de agua** en un jardín también se ve afectada por las **condiciones ambientales** del mismo. Las zonas con distintas condiciones ambientales dentro de una misma zona climática se denominan **microclimas**. Las edificaciones o pavimentación típica de los jardines urbanos pueden influir sobre las condiciones naturales del jardín. Así, por ejemplo, los jardines de las zonas de aparcamiento están sometidos a mayor temperatura y menor humedad que los jardines de los parques.

El **coeficiente microclima (Km)** se utiliza para tener en cuenta las diferencias ambientales al calcular el coeficiente del jardín, y **es relativamente fácil de calcular**. Una **condición microclimática media (Km = 1,0)** es aquella en la que las estructuras, edificaciones, etc. no influyen en el microclima del jardín. En condiciones microclimáticas "altas" o "bajas" existe una influencia externa sobre las condiciones naturales del jardín.



En las “altas”, (**Km entre 1,0 y 1,4**) las condiciones externas aumentan la evaporación de la zona de riego. Esto suele ocurrir en jardines rodeados de edificaciones que absorben calor. En estos casos, el jardín recibe una radiación y una energía extra procedente de las construcciones que lo rodean, que hará que la evaporación que se produzca sea superior a la de un jardín que no esté expuesto a estas condiciones. Por ejemplo, la *evaporación* que tiene lugar en un jardín rodeado de edificios de hormigón será mayor a la de un jardín sombreado por la ladera de una montaña. En el primer caso, los edificios que rodean al jardín absorben y ceden calor, al tiempo que impiden que parte de la radiación neta se disipe, todo esto hará aumentar la temperatura del jardín y por tanto su tasa de evaporación.

Por el contrario, en las condiciones microclimáticas “bajas” (**Km entre 0,5 y 1,0**) la influencia externa hará disminuir la evaporación. Esto suele suceder en jardines sombreados, protegidos de los vientos, orientados hacia el norte, etc. En estos casos el jardín recibe una tasa de radiación menor por estar a la sombra o por tener una orientación tal que los rayos solares tienen menor incidencia.



Fig. 5

Tipo Vegetación	Coeficiente de Microclima (Km)		
	a	m	b
Árboles	1,4	1,0	0,5
Arbustos	1,3	1,0	0,5
Tapizantes	1,2	1,0	0,5
Plantación mixta	1,4	1,0	0,5
Césped	1,2	1,0	0,8

Los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación.

Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos o tapizantes).

ejemplo

Un jardín de plantación mixta situado en una zona de aparcamientos verá incrementada su evaporación en la zona de riego, por lo que el valor del coeficiente microclima deberá estar próximo a 1,4.

ejemplo de cálculo de las necesidades de agua del jardín

Un jardinero desea calcular las necesidades de agua en el mes de mayo de un jardín situado en un parque de Huelva. Está compuesto por una plantación mixta de *Magnolia grandiflora*, *Rhododendron spp*, *Myosotis scorpiodes* y *Hedera helix*. La plantación es plena y madura, está expuesta a sol todo el día y al viento por la tarde.

Solución:

Las necesidades de agua están definidas por la evapotranspiración:

$$ET = K_j \times ET_r$$

- En primer lugar se calcula el coeficiente de jardín:

$$K_j = K_e \times K_d \times K_m$$

$K_e = \text{Magnolia grandiflora: } 0,56$
 $\text{Rododendron spp: } 0,65$
 $\text{Myosotis scorpiodes: } 0,57$
 $\text{Hedera helix: } 0,5$

El coeficiente de especie que se puede considerar para el cálculo del coeficiente de jardín puede estar en torno a 0,6, como valor medio de los valores de las diferentes especies.



$K_d = 1,2$ (alta densidad)

$K_m = 1,3$ (exposición al sol y al viento)

$$K_j = 0,6 \times 1,2 \times 1,3 = 0,936$$

- En segundo lugar se calcula el valor de la evapotranspiración de referencia de la zona:

ETr diaria (mm/día) en zonas representativas de la provincia de Huelva												
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETr	1,5	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,5

- Con los datos anteriores se calculan las necesidades de agua:

$$ET = K_j \times ETr = 0,936 \times 4,5 = 4,212 \text{ mm/día}$$

2.3. Necesidades de riego del jardín

El sistema formado por el suelo y las plantas tiene unos aportes y unas salidas de agua. Por lo general esas cantidades no son iguales, por lo **que el contenido de humedad del suelo irá cambiando**. Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la *evapotranspiración (ET)*, la *escorrentía (S)* o la *filtración profunda (Fp)*.

Si se considera un **sistema de riego bien diseñado** en el que no existe escorrentía ($S=0$) y en el que además la filtración profunda sea nula ($Fp=0$), la cantidad de agua que necesita la planta y se ha de aportar con el riego, o **Necesidades netas de riego (Nn)**, corresponderá a la **diferencia entre** la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde, **evapotranspiración (ET)**, y el agua que se aporta de forma natural, **lluvia (LL)**.

$$\begin{aligned} \text{Necesidades netas de riego} &= \text{Evapotranspiración} - \text{Lluvia} \\ Nn &= ET - LL \end{aligned}$$

Sin embargo, el agua que se aporta al suelo con un riego no es aprovechada en su totalidad por la planta, sino que **parte se pierde por escorrentía y/o filtración profunda**. Por tanto, la canti-



dad de agua que se debe aportar con el agua de riego o **Necesidades brutas (Nb)** se calculará teniendo en cuenta una serie de factores como:

- ▶ La eficiencia de aplicación del riego (E_a)
- ▶ La fracción de lavado (FL)

EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Debido a que los sistemas de riego no son totalmente eficaces, para el cálculo de las necesidades brutas de riego es necesario considerar **la eficiencia de aplicación del sistema (E_a)** o el porcentaje de agua que las raíces de las plantas aprovechan con respecto al total aplicada. Su valor **dependerá del método de riego empleado**, superficie, localizado o aspersión.



Figura 6. La eficiencia de aplicación varía con el sistema de riego.

En general se puede considerar que la eficiencia de aplicación utilizando el riego localizado es de un 85-90%, mientras que en riego por aspersión este porcentaje desciende hasta un 70-80%, y en superficie hasta aproximadamente un 60%. En cualquier caso los valores de eficiencia dependerán en gran medida del manejo que se haga de los riegos.

Teniendo en cuenta la eficiencia de aplicación, las necesidades brutas de riego se calcularían con la siguiente expresión:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación (en tanto por uno)}} \times 100$$

$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

FRACCIÓN DE LAVADO

Otro aspecto a considerar a la hora del cálculo de las necesidades brutas de riego es la necesidad de aportar una **cantidad de agua extra para el lavado de sales**, cuando el agua de riego es salina o el suelo está muy salinizado.

El cálculo de las necesidades de lavado se realiza en función de la **salinidad del agua de riego** y del **umbral de tolerancia de las plantas a la salinidad**. La tolerancia a la salinidad es la **capacidad** de la planta de soportar el **exceso de sales** en la **zona radicular**; no se trata de un valor exacto sino que **depende de varios factores** como el tipo de sales del agua de riego, el clima, el estado de desarrollo de la planta, y el tipo de riego. El **umbral de tolerancia a la salinidad** es aquella cantidad de sales por encima de la cual la planta sufre reducciones en su crecimiento y producción con respecto a condiciones no salinas y suele darse en milimhos por centímetro (mmho/cm) o decisiemens por metro (dS/m).

Para el cálculo de la fracción de lavado de una hidrozona se debe elegir el umbral de tolerancia de la especie menos tolerante a la salinidad (ver Anejo 1).

La cantidad de agua de lavado se pueden estimar fácilmente a partir de una curva de necesidades de lavado, calculando previamente el **factor de concentración permisible (Fc)**. Este factor se obtiene dividiendo el umbral de tolerancia a la salinidad de una planta por la salinidad del agua de



riego, que se desprende de un análisis de la misma. Una vez establecidas las *necesidades de lavado*, se transforman en fracción de lavado, dividiendo por 100.

$$F_c = \frac{\text{Umbral de tolerancia del cultivo (dS/m)}}{\text{Salinidad del agua de riego (dS/m)}}$$

Curva de necesidades de lavados

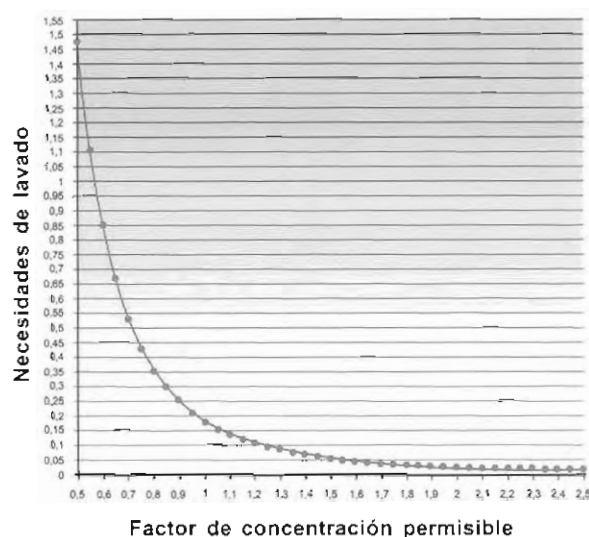


Fig. 7.

ejemplo

Para el riego de un jardín público se utiliza agua residual depurada, con una salinidad de 3,3 dS/m, según los análisis realizados. En una de las partes del jardín hay un macizo de rosas, regadas por goteo, cuyo umbral de tolerancia a la salinidad es de 3 dS/m. Calcular las necesidades de lavado para el riego de este macizo de flores.

- Factor de concentración permisible: $F_c = \frac{\text{Umbral de tolerancia del cultivo}}{\text{Salinidad del agua de riego}} = \frac{3}{3,3} = 0,90$

- Necesidades de lavado

Utilizando la curva de necesidades de lavado se calculan dichas necesidades para un factor de concentración de 0,9. Según se observa en la Figura 8 las necesidades de lavado son aproximadamente de un 25%. Esto significa que con el agua de riego se deberá aplicar aproximadamente un 25% más de agua para paliar el efecto de las sales.

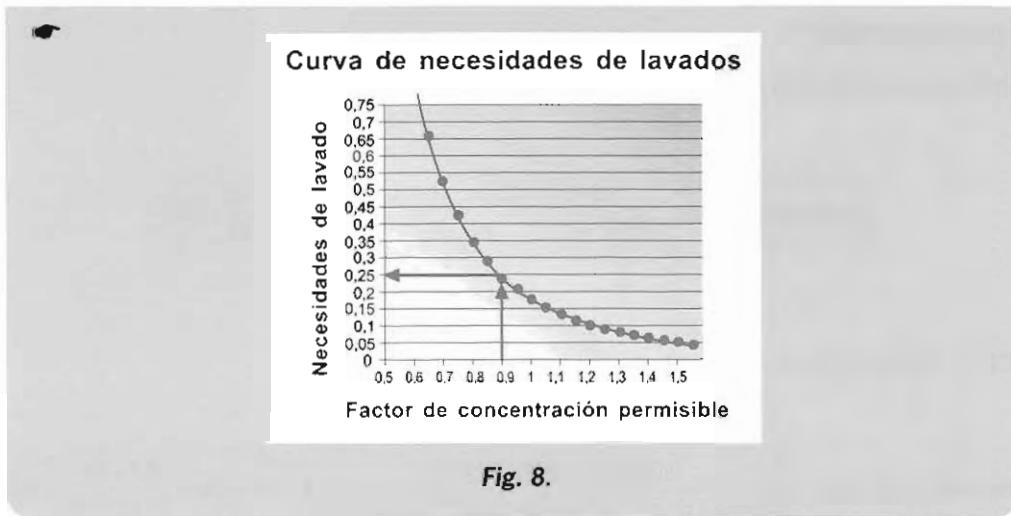


Fig. 8.

Una vez conocidas la eficiencia de aplicación y las necesidades de lavado, las *necesidades brutas de riego* se calcularían:

$$\text{Necesidades brutas} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación (en tanto por uno)} \times (1 - \text{Fracción de lavado (en tanto por uno)})} \times 100$$

$$Nb = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)} \times 100$$

Si se utiliza esta última expresión para el cálculo de las necesidades brutas de riego, éstas **pueden estar mayoradas en demasía**, ya que el agua que se pierde por *filtración profunda* también está realizando un lavado de sales. Por este motivo las necesidades brutas de riego se calculan con las siguientes expresiones, según se trate de un sistema de riego localizado o por aspersión.

- **Riego localizado:** para calcular las necesidades brutas de riego se compara la eficiencia de aplicación con la expresión (1-fracción de lavado) y la menor de las dos es la que se emplea.

$$\text{Necesidades brutas} = \frac{\text{Necesidades netas}}{\text{Eficiencia de aplicación}} \times 100 \Rightarrow Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

ó

$$\text{Necesidades brutas} = \frac{\text{Necesidades netas}}{1 - \text{Fracción de lavado}} \times 100 \Rightarrow Nb = \frac{Nn}{(1 - FL)} \times 100$$



- **Riego por aspersión:**

– Si la fracción de lavado es inferior al 10%:

$$\text{Necesidades brutas} = \frac{\text{Necesidades netas}}{\text{Eficiencia de aplicación}} \times 100 \Rightarrow \text{Nb} = \frac{\text{Nn}}{\text{Ea}} \times 100$$

– Si la fracción de lavado es superior al 10%:

$$\text{Necesidades brutas} = \frac{0,9 \times \text{Necesidades netas}}{\text{Eficiencia de aplicación} \times (1 - \text{Fracción de lavado})} \times 100 \Rightarrow \text{Nb} = \frac{0,9 \times \text{Nn}}{\text{Ea} \times (1 - \text{FL})} \times 100$$

ejemplo

Un jardinero municipal quiere calcular las necesidades de riego de uno de los jardines que tiene a su cargo. Se trata de un jardín mixto maduro, regado por aspersión. Los datos de los que dispone son los siguientes:

- Necesidades netas: 4,2 mm/día
- Eficiencia de aplicación del riego: 75%
- Fracción de lavado: 0,15

Las necesidades brutas o de riego a aportar se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{0,9 \times \text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación} \times (1 - \text{Fracción de lavado})} \times 100$$

$$\text{Nb} = \frac{0,9 \times \text{Nn}}{\text{Ea} \times (1 - \text{FL})} \times 100 = \frac{0,9 \times 4,2}{75 \times (1 - 0,15)} \times 100 = 5,92 \cong 6 \text{ mm/día}$$

2.4. Elaboración de un plan de riego. Ejemplo

La elaboración de un plan de riego se concreta en la realización de un calendario en el que se determina el momento de efectuar los riegos y la cantidad de agua que se debe aplicar en cada uno de ellos.

En general, para elaborar un calendario de riego pueden emplearse datos climáticos medidos en tiempo real (**calendario en tiempo real**), o datos climáticos medios de varios años (**calendario medio**), que permite realizar una programación de los riegos para todo el año. En jardinería, la programación suele hacerse mediante calendarios medios con los que se determinan las necesidades de riego en periodos, normalmente quincenales, para todo el año. Para ello se necesitan los siguientes datos:

- ▶ Evapotranspiración de referencia (ET_r) y precipitación (P) de la zona.
- ▶ Coeficientes de especie (K_e), densidad (K_d), microclima (K_m) de las especies y de las hidrozonas consideradas.
- ▶ Tolerancia a la salinidad de las plantas empleadas.
- ▶ Eficiencia de aplicación (E_a) del sistema de riego empleado.
- ▶ Salinidad del agua de riego.

Cuando se realizan calendarios medios de riego con la ayuda de datos históricos, es necesario considerar si la programación se va a realizar con los datos de un año seco, normal o húmedo. Si la previsión de precipitaciones consideradas resulta errónea, habrá que rehacer el calendario, corrigiendo el dato pluviométrico, a fin de no aplicar agua en exceso o en defecto.

ejemplo

Se desea elaborar un calendario medio de riego para un jardín situado en la ciudad de Córdoba, que permita conocer las necesidades de agua del jardín en periodos quincenales, durante todo el año. Los datos disponibles son los siguientes:

- Número de hidrozonas con los sistema de riego empleados en cada una; coeficientes de especie (K_e), de densidad (K_d), y de microclima (K_m); y tolerancia a la salinidad de cada especie.



Hidrozonas	Sistemas de riego	Especies	Ke	Kd	Km	Tolerancia a salinidad (dS/m)
1	Localizado	<i>Citrus aurantium</i> <i>Begonia semperflorens</i> <i>Dianthus</i> spp.	0,5 0,5 0,5	1,2	1	2 4 4
	Aspersión	<i>Festuca ovina glauca</i>	0,4			4
2	Localizado	<i>Juniperus</i> spp.	0,35	1	1	4
		<i>Callistemon viminalis</i>	0,38			4
		<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,4			4
3	Localizado	<i>Olea europaea</i>	0,26	0,7	1	4
		<i>Tamarix</i> spp.	0,16			10
	Aspersión	<i>Lampranthus</i> sp.	0,2			10

- Evapotranspiración de referencia (E_{Tr}) y precipitación media (mm) de un año meteorológico normal. Los datos de la siguiente tabla son datos medios quincenales, obtenidos a partir de los datos históricos de la estación agroclimática de la zona.

Mes	Fecha	E _{Tr} (mm/día)	Lluvia (mm)
Enero	del 1 al 15	1,14	7,80
Enero	del 16 al 31	1,36	68,90
Febrero	del 1 al 15	1,67	3,60
Febrero	del 16 al 28	1,92	68,90
Marzo	del 1 al 15	2,36	47,10
Marzo	del 16 al 31	3,11	5,60
Abril	del 1 al 15	3,43	0,00
Abril	del 16 al 30	4,02	63,20
Mayo	del 1 al 15	4,68	15,70
Mayo	del 16 al 31	5,22	18,70
Junio	del 1 al 15	5,88	23,40
Junio	del 16 al 30	6,01	0,00
Julio	del 1 al 15	6,57	1,10
Julio	del 16 al 31	6,84	0,00
Agosto	del 1 al 15	6,33	2,30
Agosto	del 16 al 31	5,68	1,00
Septiembre	del 1 al 15	5,04	0,00
Septiembre	del 16 al 30	4,10	28,40
Octubre	del 1 al 15	3,01	0,00
Octubre	del 16 al 31	2,32	60,10
Noviembre	del 1 al 15	1,76	75,90
Noviembre	del 16 al 30	1,43	12,20
Diciembre	del 1 al 15	1,10	62,80
Diciembre	del 16 al 31	1,05	18,40

- Eficiencia de aplicación consideradas para cada sistema de riego empleado:
Riego por aspersión: 75%
Riego localizado: 85%
- Salinidad del agua de riego: 2 dS/m.

Solución

a) Cálculo de la evapotranspiración (ET) quincenal.

Para ello se calcula previamente el coeficiente de jardín para cada hidrozona, considerando el coeficiente de especie más desfavorable, ya que las diferencias entre los de las distintas especies que la componen son escasas.

$$K_j = K_e \times K_d \times K_m$$

$$\text{Hidrozona 1: } K_j = 0,5 \times 1,2 \times 1 = 0,6$$

$$\text{Hidrozona 2: } K_j = 0,35 \times 1 \times 1 = 0,35$$

$$\text{Hidrozona 3: } K_j = 0,16 \times 0,7 \times 1 = 0,11$$

A continuación se calcula la evapotranspiración quincenal para cada hidrozona (es necesario multiplicar por 15 el valor de ETr para el cálculo de la ET de la quincena).

$$ET \text{ (mm/quincena)} = K_j \times ETr \times 15$$

Por ejemplo, para la primera quincena de enero y para la hidrozona 1:

$$ET = 0,6 \times 1,14 \times 15 = 10,26 \text{ mm/quincena}$$

b) Cálculo de las necesidades netas de riego para cada quincena en cada hidrozona .

$$N_n \text{ (mm/quincena)} = ET - LL$$

Por ejemplo, para la primera quincena de enero y para la hidrozona 1:

$$N_n = 10,26 - 7,80 = 2,46 \text{ (mm/quincena)}$$

c) Cálculo de las necesidades brutas de riego para cada quincena y para cada área con un sistema de riego distinto dentro de la hidrozona.

Para el cálculo de las necesidades brutas, es necesario calcular previamente la fracción de lavado a aplicar durante los riegos en cada hidrozona. Se considerará el valor de tolerancia a la salinidad de la especie más sensible en cada hidrozona, para quedar del lado de la seguridad.

Por ejemplo para la hidrozona 1:

- Factor de concentración:

$$F_c = \frac{\text{Umbral de tolerancia}}{\text{Salinidad del agua de riego}} = \frac{2}{2} = 1$$

Utilizando la curva de necesidades de lavado de la Fig. 7 se calculan las necesidades para un factor de concentración de 1, en este caso aproximadamente un 18%.

Así, las necesidades brutas, para la primera quincena de enero en la hidrozona 1 para el área de riego por aspersión son:

$$Nb = \frac{0,9 \times 2,46}{75 \times (1-0,18)} \times 100 = 3,6 \text{ mm/quincena}$$

d) Realizando estos mismos cálculos para cada quincena y para cada área con un sistema de riego diferente dentro de cada hidrozona, se obtiene el calendario medio de riego.

		H1 Asp	H1 Loc	H2 Asp	H2 Loc	H3 Asp	H3 Loc
Mes	Fecha	Riego (mm)	Riego (mm)	Riego (mm)	Riego (mm)	Riego (mm)	Riego (mm)
Enero	del 1 al 15	3,60	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Enero	del 16 al 31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	del 1 al 15	16,73	13,45	6,89	6,08	0,00	0,00
Febrero	del 16 al 28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	del 1 al 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	del 16 al 31	35,50	28,54	15,75	13,90	0,00	0,00
Abril	del 1 al 15	45,18	36,32	24,01	21,19	7,55	6,66
Abril	del 16 al 30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mayo	del 1 al 15	38,66	31,08	11,83	10,44	0,00	0,00
Mayo	del 16 al 31	45,97	36,96	14,04	12,39	0,00	0,00
Junio	del 1 al 15	43,20	34,73	9,96	8,79	0,00	0,00
Junio	del 16 al 30	79,16	63,64	42,07	37,12	13,22	11,67
Julio	del 1 al 15	84,92	68,27	44,52	39,29	12,99	11,46
Julio	del 16 al 31	96,09	77,25	51,07	45,06	16,05	14,16
Agosto	del 1 al 15	80,00	64,32	41,24	36,39	18,86	9,58
Agosto	del 16 al 31	78,33	62,97	41,08	36,24	12,00	10,58
Septiembre	del 1 al 15	66,38	53,36	35,28	31,13	11,09	9,78
Septiembre	del 16 al 30	12,44	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octubre	del 1 al 15	39,64	31,87	21,07	18,59	6,62	5,84
Octubre	del 16 al 31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noviembre	del 1 al 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noviembre	del 16 al 30	0,98	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	del 1 al 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	del 16 al 31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		766,78	616,44	358,81	316,61	98,38	85,81

Las necesidades de riego de la hidrozona 3 se han calculado, como en el caso de las otras dos hidrozonas, considerando dos áreas de riego según el tipo de plantas utilizadas. Las necesidades de agua de las plantas utilizadas son muy escasas y la necesidad de aportar agua se produce en épocas puntuales del año. Por este motivo, en lugar de instalar un sistema de riego en esta hidrozona, con los costes que ello supone, se debería estudiar la posibilidad de realizar varios riegos en verano utilizando una manguera.

2.6. Resumen

La cantidad de agua que necesitan las diferentes especies que componen un jardín está definida por la evapotranspiración (ET) cuyo valor depende del clima, representado por la evapotranspiración de referencia (ET_r), y de las propias plantas, representado por el coeficiente del jardín (K_j). Este último coeficiente describe las necesidades hídricas de las plantas del jardín, teniendo en cuenta tres coeficientes en función de las especies que lo forman (K_e), la densidad de plantación (K_d) y las condiciones microclimáticas (K_m).

Conocidas las necesidades netas de riego, teniendo en cuenta factores como la eficiencia de aplicación y la fracción de lavado, se obtiene la cantidad de agua que se debe aportar con el riego o necesidades brutas de riego.

El cálculo de las necesidades de agua da lugar a la realización de calendarios de riego, utilizando datos medidos en tiempo real o datos medios de varios años. En el primer caso se obtienen los calendarios en tiempo real y en el segundo los calendarios medios. Estos últimos son los más utilizados en jardinería ya que permiten la programación de los riegos para todo el año.

AUTOEVALUACIÓN

1. Las necesidades de agua de las plantas están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de las plantas, en la denominada evapotranspiración.

Verdadero / Falso

2. Dentro de un jardín hay varios factores que hacen variar la evapotranspiración, estos factores son:

- a) Las zonas de riego en que se podría dividir el jardín o hidrozonas.
- b) La variabilidad en la densidad de plantación.
- c) Los diferentes microclimas que se crean dentro del jardín.
- d) Las tres respuestas anteriores son válidas.

3. El coeficiente que mejor describe las necesidades hídricas de las plantas de un jardín es:

- a) La evapotranspiración de referencia.
- b) El coeficiente de cultivo.
- c) El coeficiente de jardín.
- d) La evapotranspiración.

4. Dentro de un jardín, si se agrupan especies diferentes con necesidades de riego similares en zonas de riego comunes o hidrozonas, se logrará un uso más eficiente del agua.

Verdadero / Falso

5. Un jardín situado en el centro de una gran ciudad, rodeado de edificios y próximo a una zona de aparcamientos, se considera un jardín con una condición microclimática:

- a) Media.
- b) Alta.
- c) Moderada.
- d) Baja.

6. El porcentaje de agua que las raíces de las plantas aprovechan con respecto al total de agua aplicada, se conoce como:

- a) Necesidades netas.
- b) Uniformidad de aplicación.
- c) Lámina aplicada.
- d) Eficiencia de aplicación del riego.

7. La eficiencia de aplicación depende del sistema de riego que se emplee, ¿cual de los siguientes sistemas es el más eficiente?

- a) Riego por aspersión
- b) Riego por difusión.
- c) Riego localizado.
- d) Riego por superficie.

8. Para realizar una programación de los riegos válida para todo el año, se utilizan:

- a) Calendarios anuales.
- b) Calendarios medios.
- c) Calendarios en tiempo real.
- d) Calendarios mensuales.

3.1. Introducción

El **riego de jardines ha evolucionado en las últimas décadas** debido fundamentalmente al desarrollo de nuevos materiales y componentes, y a la aparición de modernos equipos que permiten un manejo más cómodo y eficiente. En la actualidad los métodos de riego mayoritarios son aspersión y localizado, en los que es **necesario que el agua de riego esté dotada de una energía determinada** para que ésta circule por las tuberías a presión. De esta forma se conseguirá que los emisores de agua funcionen correctamente, y apliquen a las plantas del jardín el agua necesaria uniforme y eficientemente.

Los jardines pueden estar ubicados en lugares públicos o en fincas privadas, pero en cualquiera de estos casos lo habitual es que la **f fuente de agua sea la red de distribución urbana**, que permite la circulación de un **caudal determinado a una presión dada**, siendo cada vez más frecuente la exigencia de redes específicas de riego, sobre todo en grandes jardines o parques. De esta forma, cuando se plantea el diseño de riego del jardín es muy **importante tener en cuenta el caudal disponible y la presión de entrada**. Así, se podrá considerar en caso de ser necesario, la **posibilidad de dotar a la instalación de un sistema de bombeo** y una balsa o un depósito de almacenamiento para adaptar el suministro de agua a las necesidades del jardín o bien diseñar el sistema de riego en función de la presión y caudal dados.

Para todo ello es indispensable **conocer los conceptos caudal de agua y presión** y su importancia en el diseño, **así como las pérdidas de carga** que se producen en la red de distribución y el resto de elementos que componen el sistema de riego. De esta forma es posible determinar

las características del sistema de bombeo en caso de ser necesario, o de la distribución de los componentes del sistema, en caso de usar la red urbana como sistema de abastecimiento.

3.2. Caudal

El **caudal** es la **cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería**, o que sale por un *emisor* **en un tiempo determinado**. En jardinería, los caudales que circulan por la red de distribución y emiten los distintos sistemas de aplicación del agua no suelen ser muy elevados, por lo que las unidades utilizadas más frecuentemente son:

- ▶ litros/segundo (l/s)
- ▶ litros/minuto (l/min)
- ▶ metros cúbicos/hora (m³/h)

Es fundamental **conocer el caudal disponible en la toma de riego** de la instalación **ya que de él dependerá el número de emisores** que podrán estar funcionando simultáneamente. Como se puede deducir fácilmente, todo ello afectará al diseño hidráulico de la instalación y condicionará el manejo de los riegos.

También es importante conocer la relación entre las unidades más frecuentes de medida del caudal. Para pasar de una unidad a otra, basta multiplicar o dividir por las cantidades que se indican a continuación:

Para pasar de	A		
litros/segundo	litros/minuto	multiplicar por	60
litros/segundo	m ³ /hora	multiplicar por	3,6
litros/minuto	litros/segundo	dividir por	60
litros/minuto	m ³ /hora	multiplicar por	0,06
m ³ /hora	litros/segundo	dividir por	3,6
m ³ /hora	litros/minuto	dividir por	0,06

ejemplo

En un jardín se han dispuesto 4 tuberías laterales de riego localizado para regar 4 setos de aligustre (*Ligustrum ovalifolium*) con 100 goteros cada uno. Cada gotero emite un caudal de 8 litros/hora. ¿Cuál será el caudal, en litros/segundo, que ha de suministrarse para el riego simultáneo de los 4 setos?

El caudal que circula en la entrada a cada tubería lateral será:

$$100 \times 8 = 800 \text{ litros/hora}$$

es decir, 0,8 m³/hora (ya que 1000 litros son 1 m³). En los 4 setos a la vez:

$$0,8 \times 4 = 3,2 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Según la tabla de conversión de unidades, para pasar de m³/hora a litros/segundo basta dividir por 3,6:

$$\frac{3,2 \text{ m}^3/\text{hora}}{3,6} = 0,88 \text{ litros/segundo}$$

Aunque es muy importante conocer el caudal en la toma de agua, **es muy poco habitual medir caudales en la red de las instalaciones de riego de jardines**, ya que se piensa que no afectarán al correcto funcionamiento de los componentes. En cualquier caso **debe conocerse el caudal y presión disponibles**, para lo que pueden emplearse caudalímetros comerciales de fácil instalación y uso que pueden proporcionar información acerca del caudal que circula por la conducción en que se instalan.

Para tener un control del agua que se consume con los riegos **es muy útil medir el volumen de agua realmente aplicada**. Esto se consigue **instalando contadores de agua en lugares estratégicos de la red**, siendo cada vez más de uso casi obligado en la toma de agua que abastece a todo el jardín. Para ello se emplean los contadores volumétricos.



Figura. 1. Contador volumétrico.



3.3. Presión






La mayor parte de los sistemas de riego empleados en jardinería están basados en la conducción del agua desde la toma o punto de abastecimiento hasta los emisores, discurriendo durante toda la red de distribución dentro de unas tuberías cerradas. Para que el agua pueda hacer funcionar los emisores correctamente y, en consecuencia, se aplique el agua deseada al jardín, **es preciso que circule con una determinada presión.**

La presión del agua permitirá:

- ▶ **superar la diferencia de altura** a la que esté situado el jardín con respecto a la toma de agua, cuando ésta esté ubicada en un nivel inferior.
- ▶ **hacer funcionar correctamente los emisores** (que requieren una cierta presión).
- ▶ **vencer el rozamiento** que produce el paso del agua por las tuberías y elementos dispuestos en la red para adaptar la instalación a la forma del jardín (uniones, codos, tes, reducciones, etc., denominados en general piezas especiales), y el producido a su paso por otros elementos de control, medida y protección (*válvulas*, reguladores, *ventosas*, etc., llamados elementos singulares).

La presión se define como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. Si se hace referencia al agua de riego que circula por una tubería, la **presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de la tubería y los distintos elementos** que componen el sistema.

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

Principales unidades de medida de presión	
	Kilogramos / cent metro cuadrado (kg / cm^2), conocida como kilo
	Metros de columna de agua (m.c.a.)
	Megapascales (MPa)
	Atm sferas (atm)
	Bares (bar)

En sistemas de riego a presión, en los que se incluye la mayor parte de las instalaciones para riego de jardines, la presión suelen indicarse en “kilos” aunque es frecuente que las casas comerciales indiquen las características de funcionamiento de sus equipos en otras unidades. La relación existente entre las indicadas anteriormente es:

$$1 \text{ atm} \approx 1 \text{ kg/cm}^2 \approx 10 \text{ m.c.a.} \approx 0,1 \text{ MPa} \approx 1 \text{ bar}$$

Es muy importante **conocer la presión en diversos puntos de la instalación**. En particular deben conocerse, a la entrada de la instalación (toma de riego o punto de abastecimiento) la **presión estática o presión máxima que tiene la red cuando no hay consumo**, necesaria para determinar el timbraje de la tubería principal; y la **presión dinámica o de funcionamiento**, que es **la que normalmente se va a tener en la red cuando funcione la instalación de riego**. El dato de presión dinámica sirve para **confirmar que la presión existente es suficiente** para realizar los riegos adecuadamente **o por el contrario se necesita un sistema de bombeo** que eleve el agua hasta la presión requerida. Dependiendo de la extensión del jardín y de la distribución de las zonas a regar, también puede ser necesario medir la presión a la entrada de los sectores en que se dividirá el riego.

La presión suele medirse utilizando manómetros, bien instalados permanentemente en el punto de medida o bien colocándolos puntualmente en los lugares deseados mediante las denominadas **tomas manométricas**.



Figura 2. Manómetro.



ejemplo

Un manómetro aplicado a la salida de la toma de riego en un jardín indica un valor de 2,5 kg/cm². ¿A cuántos m.c.a. equivale dicha presión?

Teniendo en cuenta que 1 kg/cm² equivale a 10 m.c.a., para saber cuantos m.c.a. son 2,5 kg/cm² basta multiplicar ese valor por 10.

$$2,5 \text{ Kg/cm}^2 \times 10 = 25 \text{ m.c.a}$$

3.4. Pérdidas de carga

En los sistemas de riego a presión, a medida que el agua circula por la red de distribución (tuberías y piezas especiales) y atraviesa distintos *elementos singulares* (válvulas, contadores, reguladores, etc.) pierde parte de dicha presión debido al rozamiento. Esta **pérdida de presión se denomina pérdida de carga** y se expresa en unidades de presión, siendo lo más habitual que se utilicen los metros de columna de agua (m.c.a.).

La pérdida de carga en el sistema depende principalmente de los siguientes factores:

- ▶ **Diámetro interior de la tubería**, teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- ▶ **Longitud de la tubería**, sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- ▶ **Caudal**, siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- ▶ **Tipo de material** de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (PVC, polietileno, aluminio, fibrocemento, etc.).
- ▶ **Velocidad del agua** a su paso por la tubería, siendo mayor la pérdida de carga cuanto mayor es la velocidad (está relacionada con el caudal y el diámetro de la tubería).
- ▶ **Piezas especiales y elementos singulares** instalados en la red.



Figura 3. La pérdida de carga de una tubería varía con el diámetro.

Cada elemento del sistema genera un valor diferente de pérdida de carga, dato que debe ser facilitado por el fabricante. Igualmente, **la pérdida de carga en las tuberías debe ser solicitada al fabricante**, aunque para ciertos tipos de materiales y diámetros más usuales pueden encontrarse valores en publicaciones referidas a sistemas de riego a presión.

La **pérdida de carga en tuberías de una sola salida** puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pérdida de carga} = \frac{\text{Pérdida de carga por cada 100 m de tubería} \times \text{longitud de la tubería}}{100}$$

$$\text{PC (m)} = \frac{J \text{ (m/100 m)} \times L \text{ (m)}}{100}$$

El dato de pérdida de carga por cada 100 metros de tubería (J) está tabulado para cada tipo de tubería, y es función del material de fabricación de ésta (polietileno o PVC), de la presión, del diámetro y del caudal circulante (ver Anejo 2).



ejemplo

Se desea calcular la pérdida de carga que se produce en dos tuberías con las siguientes características:

- Tubería de polietileno de 50 mm de diámetro y 75 metros de longitud, presión de trabajo de 4 kg/cm², por la que circula un caudal de 1 l/s.
- Tubería de PVC de 75 mm de diámetro y 30 metros de longitud, presión de trabajo de 4 kg/cm², por la que circula un caudal de 4,5 l/s.

Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 4 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas decarga (m.c.a. cada 100 m)
50 / 44	2,88	48	0,8	0,53	0,77
	3,24	54	0,9	0,59	0,96
	3,6	60	1	0,66	1,16
	4,32	72	1,2	0,79	1,61
	5,04	84	1,4	0,92	2,12
	7,2	120	2	1,32	4,03
	10,8	180	3	1,97	8,35
	14,4	240	4	2,63	14,02

Pérdidas de carga para tubería de PVC. Presión de trabajo: 4 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas decarga (m.c.a. cada 100 m)
75 / 71,4	1,8	30	0,5	0,12	0,03
	5,4	90	1,5	0,37	0,23
	9	150	2,5	0,62	0,59
	12,6	210	3,5	0,87	1,08
	16,2	270	4,5	1,12	1,7
	19,8	330	5,5	1,37	2,43
	23,4	390	6,5	1,62	3,29

De las tablas anteriores se desprende que para el caso a) la pérdida de carga es de 1,16 m.c.a. por cada 100 metros de longitud de tubería. Teniendo en cuenta que la longitud de tubería es de 75 m, la pérdida de carga será:

$$PC = \frac{1,16 \times 75}{100} = 0,87 \text{ m.c.a.}$$

Para el caso b) la pérdida de carga por cada 100 metros de longitud es de 1,7 m.c.a., por lo que para los 30 m de tubería será:

$$PC = \frac{1,7 \times 30}{100} = 0,51 \text{ m.c.a.}$$

El cálculo de la **pérdida de carga en tuberías de salidas equidistantes**, se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de carga} = \frac{\text{Pérdida de carga por cada 100 m de tubería} \times \text{longitud de la tubería} \times \text{Factor de Christiansen}}{100}$$

$$PC (m) = \frac{J (m/100 m) \times L (m) \times F}{100}$$

En este caso se introduce el **factor de Christiansen (F)**, que está tabulado, y toma diferente valor según la cantidad de salidas equidistantes que tenga la tubería objeto de estudio.

Número de salidas	Valor de F	Número de salidas	Valor de F
1	1	16	0,339
2	0,525	17	0,368
3	0,448	18	0,368
4	0,419	19	0,367
5	0,403	20	0,367
6	0,394	22	0,366
7	0,388	24	0,365
8	0,383	26	0,364
9	0,380	28	0,364
10	0,378	30	0,363
11	0,375	35	0,362
12	0,374	40	0,362
13	0,372	45	0,361
14	0,371	100	0,359
15	0,370	Más de 100	0,358

ejemplo

Se desea calcular la pérdida de carga que se produce en una tubería de polietileno con 5 salidas equidistantes, de 50 mm de diámetro exterior y 100 m de longitud, con una presión de trabajo de 4 kg/cm² y por la que circula un caudal de 0,8 l/s.

Según la tabla del ejemplo anterior la pérdida de carga por cada 100 metros de tubería es de 0,77 m.c.a. El factor de Christiansen (F) para una tubería con 5 salidas equidistantes es de 0,403.

Por tanto, la pérdida de carga será:
$$PC = \frac{0,77 \times 100 \times 0,403}{100} = 0,31 \text{ m.c.a.}$$

Cuando se realiza el diseño hidráulico de la instalación es imprescindible **tener en cuenta todas las pérdidas de carga que puedan ocasionarse**, para que en el punto más desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que los *emisores* suministren el agua de forma adecuada.

Además de las pérdidas de carga que se producen en las tuberías, deben contabilizarse las **pérdidas de carga que se producen en los elementos singulares y en las piezas especiales**. Por lo general, a falta de datos específicos, se suele simplificar el cálculo de esta cantidad, asignándole un **15 % del total de las pérdidas** calculadas para la red de tuberías.



ejemplo

En un jardín se ha instalado un sistema de riego con aspersores y difusores. En una de las fases se ha calculado una pérdida de carga en tuberías de 2,3 m.c.a.

Según este dato, la pérdida de carga atribuible a los elementos singulares y piezas especiales es de:

$$PC = \frac{2,3 \times 15}{100} = 0,345 \text{ m.c.a.}$$

3.5. Riego con presión y caudal fijos

Cuando la fuente de abastecimiento de agua para el riego es una red pública o privada, suelen presentarse **dos limitaciones, la presión y**, en la mayoría de los casos, **un caudal preestablecido**. Es, por tanto, con unos valores de caudal y presión dados con los que el diseñador tiene que surtir de agua al jardín, para lo cual deberá realizar un diseño agronómico e hidráulico adaptado a esas restricciones.

Como el caudal está limitado es muy importante conocerlo, ya que de él dependerá el número de emisores que podrán funcionar a la vez constituyendo así los denominados *sectores de riego*. Para saber qué *caudal* existe en la toma, se puede consultar en el Departamento de Aguas de la localidad, en las oficinas de la urbanización, barrio o Asociación de Vecinos, o en algún Organismo competente.

Si no existe ninguna forma de realizar una consulta, **el caudal puede estimarse** haciendo uso de la relación entre la presión del agua, el diámetro de la toma y el caudal que ésta suministra. Teniendo en cuenta que es común que la presión en las tomas de agua de las redes urbanas sea **próxima a 2-3 kg/cm²**, para diferentes diámetros de toma el caudal es:

Diámetro de la toma (mm)	Caudal aproximado (m ³ /h)	Caudal aproximado (l/min)	Caudal aproximado (l/s)
16	0,78	13	0,22
20	1,2	20	0,33
25	2,04	34	0,57
32	3,42	57	0,95
40	5,4	90	1,5
50	8,7	145	2,42
63	13,8	230	3,83
75	19,68	328	5,47
90	28,32	472	7,87
110	42,3	705	11,75

ejemplo

La persona encargada de una finca desea diseñar el riego del jardín. Quiere saber el caudal disponible en la toma de riego que utilizará para regar, para lo cual mide el diámetro exterior de dicha toma, resultando ser de 5 centímetros y comprueba que la presión es de 25 m.c.a.

Teniendo en cuenta que 5 centímetros son 50 milímetros, según la tabla anterior el caudal que podrá suministrar la toma será de unos 8,7 m³ a la hora, o lo que es lo mismo, 145 litros por minuto o 2,42 litros por segundo.

Si se desea **tener un valor de caudal más preciso**, puede recurrirse a la **instalación de un caudalímetro** o **medir directamente el caudal** que proporciona la toma, haciendo uso de un recipiente de volumen conocido y midiendo el tiempo que tarde dicho recipiente en llenarse. Para ello se acopla un trozo de tubería a la toma, y se abre la llave. Tras un tiempo dejando salir agua para que se establezca la presión se comienza a llenar el recipiente, comenzando a la vez a contar el tiempo, que se detendrá cuando aquél esté lleno.



Figura 4.

Para evitar errores en la determinación del caudal se aconseja realizar al menos tres medidas de tiempo y realizar los cálculos tomando la media entre ellos. El caudal se calcula aplicando la sencilla expresión:

$$\text{Caudal (l/s)} = \frac{\text{Volumen del recipiente (litros)}}{\text{Tiempo medio de llenado (segundos)}}$$



ejemplo

El jardinero de una urbanización quiere conocer el caudal que tiene en su toma de agua con objeto de diseñar el sistema de riego de su jardín. Utiliza un recipiente de 20 litros de capacidad, en el que realiza tres pruebas de llenado, resultando los siguientes tiempos: 12, 10 y 12 segundos.

El caudal medio de llenado se calcula sumando los tiempos y dividiendo entre el número de medidas realizadas:

$$\text{Tiempo de llenado (segundos)} = \frac{12 + 10 + 12}{3} = 11,33$$

De esta forma, el caudal será aproximadamente:

$$\text{Caudal (l/s)} = \frac{20}{11,33} = 1,76$$

Cuando el caudal no puede ser modificado, el manejo de los riegos requiere **dividir el área de riego en sectores**, de forma que en cada uno de ellos no se aplique un caudal superior al que proporciona la toma de agua. Lo más habitual y recomendable es diseñar el sistema riego atendiendo al caudal que puede suministrar dicha toma, de forma que se establezca el número de sectores que regarán independientemente. Por ejemplo, si la toma suministra un caudal de 150 litros por minuto, se sabe además que se requieren 420 para regar todo el jardín, y no se desea modificar el sistema de abastecimiento de agua, el jardín tendrá que dividirse en 3 *sectores de riego* de forma que en cada uno de ellos se consuma como máximo 150 litros por minuto.

En lo que se refiere a la presión, las **redes urbanas de abastecimiento de agua suelen trabajar a presiones en torno a 2-4 “kilos”**, que en general suele ser adecuada como presión de trabajo de un sistema de riego de un jardín de dimensiones no excesivamente grandes y con equipos de baja necesidad de presión y poca pérdida de carga. La presión del agua en la toma puede medirse fácilmente haciendo uso de un manómetro acoplado a una conexión que cierre la toma.



Figura 5.

En determinadas situaciones la **presión en la toma puede resultar excesiva para el adecuado funcionamiento de la instalación**, por lo que será preciso colocar un **regulador de presión**. En otras situaciones, puede ser necesaria más presión de la que existe en la toma para que el sistema funcione correctamente, ya que los emisores de riego por aspersión y riego localizado requieren una presión de trabajo determinada y que deben tenerse en cuenta las pérdidas de carga en toda la instalación.

3.6. Elevación del agua

Cuando el agua fluye por su propio peso entre dos lugares que se encuentran a gran diferencia de nivel, adquiere una determinada presión como consecuencia de tal diferencia de altura. La presión puede ser suficiente para hacer funcionar un sistema de riego, pero en caso contrario **será preciso elevar el agua hasta un lugar de almacenamiento** de forma que obtenga presión por diferencia de altura, o bien dotarla de una presión determinada de manera “artificial”.

Actualmente, la manera más habitual de suministrar presión al agua de riego es mediante un sistema de bombeo. **Las bombas son los mecanismos que se encargan de suministrar a la instalación de riego el caudal de agua necesario a la presión adecuada**. Normalmente se emplean **bombas hidráulicas**, accionadas por *motores eléctricos* o *motores de combustión interna*.

En la mayoría de los casos las bombas hidráulicas actúan en dos fases: **aspiración** e **impulsión**. Durante la **fase de aspiración** el agua se eleva desde el nivel en que se encuentra almacenada hasta el eje de la bomba, y se conduce por la tubería de aspiración. Para que el agua ascienda por la tubería la bomba realiza el vacío, motivo por el cual se recomienda que el desnivel entre el agua aspirada y el eje de la bomba, **altura geométrica de aspiración (H_a)**, no sea superior a 7 metros.



Figura 6. Representación esquemática de la altura geométrica de aspiración.

Durante la **impulsión** el agua es conducida desde la bomba hasta su destino final, circulando por la tubería de impulsión, de manera que el agua pueda alcanzar el punto más elevado de la instalación y suministrarle la presión necesaria para que los *emisores* trabajen correctamente. A la diferencia de altura que existe entre el eje de la bomba y el punto más elevado a que ha de llegar el agua se denomina **altura geométrica de impulsión (Hi)**.

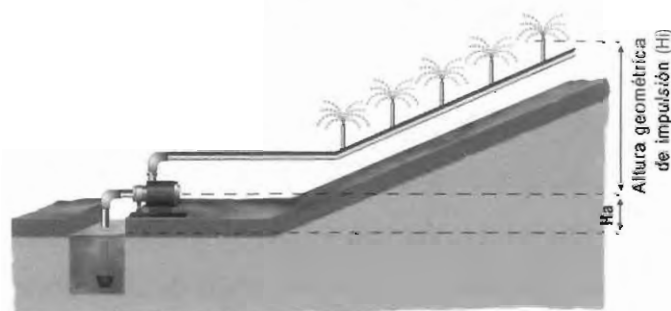


Figura 7. Representación esquemática de la altura geométrica de impulsión.

Para poder conocer la altura a la que la bomba deberá elevar el agua, **altura manométrica total (Ht)**, es preciso contabilizar las *pérdidas de carga* que se producen en las tuberías, *piezas especiales* y elementos singulares, en lo que se denomina **altura por pérdidas de carga (Hp)** y la **presión de trabajo de los emisores más alejados de la bomba (Pt)**. En la práctica y por razones de simplificación, la altura por pérdidas de carga en piezas especiales y *elementos singulares* se calcula como el 15% de las pérdidas de carga en tuberías.

Es muy importante tener en cuenta si existe *cabezal de riego* en la instalación, por ejemplo para realizar un filtrado del agua o fertirriego. En tal caso, será preciso conocer las pérdidas de carga que se originan en los elementos que componen el cabezal (filtros, medidores, tanques, inyector, etc.) y las tuberías de conexión entre ellos y sumarlas a las calculadas para la red de tuberías. Esto se debe a que el sistema de bombeo se instala antes del cabezal de riego.

De esta forma, la **altura total que deberá suministrar la bomba** (altura manométrica total, Ht), dato imprescindible para calcular la **potencia necesaria del motor** que acciona la bomba, es la suma de la altura geométrica de aspiración (Ha), la altura geométrica de impulsión (Hi), la altura de pérdidas de carga (Hp) y la presión de trabajo del emisor más alejado de la bomba (Pt).

$$Ht = Ha + Hi + Hp + Pt$$



Figura 8. Representación esquemática de la altura manométrica total.

ejemplo

En un jardín ubicado en un paraje urbano a la falda de una montaña se ha proyectado una instalación de riego. Por sus características topográficas, la presión existente en la toma de agua urbana no es suficiente para poder llevar el agua en las condiciones adecuadas hasta todos los lugares de la instalación, por lo que se ha practicado un pozo de donde se bombeará el agua.

La diferencia de nivel entre el agua en el pozo y la bomba es de 4,3 m, la diferencia de nivel entre la bomba y el lugar más elevado de la instalación es de 32 m. Y se sabe que la presión de trabajo de los emisores colocados en los lugares más desfavorables de la instalación es de 2 kg/cm².

Por otro lado, se sabe que las pérdidas de carga generadas en la tubería de aspiración (de 8 m de longitud) son 0,12 m.c.a., y las originadas en la tubería de impulsión (de 325 m de longitud) son 5,85 m.c.a. Las pérdidas de carga en el cabezal son 14 m.c.a.

Con estos datos, calcular la altura manométrica total (H_t) necesaria.

Para este caso, se tienen las siguientes alturas geométricas y manométricas:

- Altura geométrica de aspiración: $H_a = 4,3$ m.c.a.
- Altura geométrica de impulsión: $H_i = 32$ m.c.a.
- Presión de trabajo del emisor más desfavorable: $P_t = 2 \text{ kg/cm}^2 = 20$ m.c.a.

La altura por pérdidas de carga (H_p) a considerar en el cálculo de la altura manométrica total serán:

- Pérdidas de carga en tuberías: 0,12 + 5,85 = 5,97 m.c.a.
- Pérdidas de carga en piezas especiales y elementos singulares: 5,97 x 0,15 = 0,89 m.c.a.
- Pérdidas de carga en el cabezal: 14 m.c.a.

Total: 20,86 m.c.a.

Por lo tanto, la altura manométrica total será:

$$H_t = H_a + H_i + H_p + H_{pt} = 4,3 + 32 + 20 + 20,86 = 77,16 \text{ m.c.a.}$$



3.7. Tipos de bombas

Las bombas más utilizadas para elevar el agua en instalaciones de riego son las llamadas **turbomáquinas**, en las que se producen un aumento de la velocidad del agua provocada por el movimiento giratorio de un elemento denominado **rodete** o **impulsor**. Dependiendo de que el agua salga impulsada en la dirección radial debido a la fuerza centrífuga, o en la misma dirección que trae en la aspiración, las bombas se denominan **centrífugas** o **axiales** respectivamente.

En ambos casos el rodete o rodetes de la bomba se accionan por medio de un **motor eléctrico** o un **motor de combustión**, si bien por la ubicación habitual de los jardines (en general en medio urbano) se suelen utilizar **motores eléctricos** alimentados por corriente trifásica con voltajes de entre 220 y 500 voltios. Las velocidades de giro de las bombas suelen ser fijas, de 960, 1.450 ó 2.900 r.p.m. (revoluciones por minuto), teniendo en cuenta que menores velocidades aseguran una mayor duración del grupo electrobomba aunque suponen una inversión ligeramente mayor, que con el tiempo supone un ahorro.

Los equipos de bombeo accionados por motores eléctricos suelen llevar acoplados un pequeño calderín, en el que se fija una presión mínima que provocará la puesta en marcha del motor y una presión máxima, que determinará el momento de parada del mismo. De esta manera se asegura una mayor duración del motor ya que se evita su continuo funcionamiento. Al mismo tiempo el calderín actuará como una especie de regulador de presiones, evitando sobrepresiones o depresiones en la red.



Figura 9. Equipo de bombeo con calderín.

En función de la disposición del eje de la bomba, se diferencian bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical.

- **Bombas de eje horizontal:** se usan normalmente para **elegar el agua** cuando se encuentra **almacenada en embalses, canales, etc.**, o **de pozos poco profundos** (preferentemente de 5 a 7 metros). Para que funcionen adecuadamente tanto la *tubería de aspiración* como la misma bomba deben estar llenas de agua, es decir, **cebadas**. De la misma forma, la tubería de aspiración debe llevar instalada una **válvula de pie** en su parte final para evitar que se vacíe durante el funcionamiento o después de la parada de la bomba.

Para conseguir un correcto funcionamiento y el máximo rendimiento de la bomba, es preciso que la altura geométrica de aspiración no sea superior a 7 metros. También es importante disponer, a la salida de la bomba, una **válvula de retención para evitar que el agua retroceda** y provoque que la bomba gire en sentido contrario, una **válvula de control del flujo** de agua (de mariposa o de compuerta), y a continuación una **ventosa**.



Figura 10. Bomba de eje horizontal.

- **Bombas de eje vertical:** se utilizan generalmente para **bombear agua de pozos** que normalmente son estrechos y profundos. Debido a su forma, es necesario colocar rodetes de diámetro reducido, por lo que cuando se pretende conseguir una gran altura de elevación se hace preciso disponer varios acoplados en serie (bombas multicelulares) en lugar de utilizar bombas de un solo rodete (monocelulares).



Las bombas verticales **pueden estar sumergidas en el agua**, mientras que el **motor se sitúa en la superficie**. La transmisión se realiza mediante un eje instalado dentro de la *tubería de impulsión*, y su longitud está limitada debido al gran número de cojinetes necesarios para la sujeción del eje de la transmisión y a las pérdidas de carga que se originan. Por el contrario, **cuando los pozos son profundos** (incluso más de 200 metros), es necesario recurrir a los **grupos motobomba sumergibles** o **grupos buzo**, que tienen tanto la bomba como el motor bajo agua. Están dotados de un motor eléctrico (aislado por una coraza para evitar el contacto con el agua) colocado en la base de la bomba, sostenidos por la tubería de impulsión.

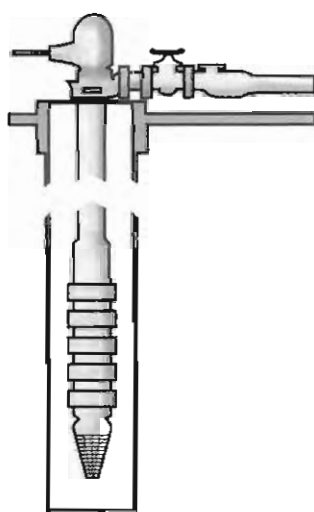


Figura 11. Bomba de eje vertical.

Cuando las prestaciones que debe suministrar el equipo de bombeo son algo particulares, por ejemplo una altura manométrica muy elevada o caudales variables según las necesidades de agua que haya de suministrar la instalación, es recomendable **instalar más de una bomba agrupadas en serie o en paralelo**.

El **agrupamiento en paralelo** es especialmente útil **cuando es preciso suministrar caudales variables**, o cuando no se desea correr el riesgo de **falta de servicio si la bomba sufre una avería**. En este tipo de agrupamiento, cada una de las bombas puede funcionar por separado suministrando el caudal nominal, pero **funcionando a la vez, elevan un caudal igual a la suma de los caudales** que cada una de ellas suministra por separado, **a la misma altura manométrica que de forma independiente**.

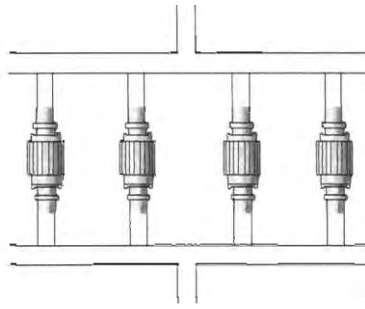


Figura 12. Bombas agrupadas en paralelo.

Cuando las bombas suministran caudales variables, suele ser recomendable la utilización de **variadores de frecuencia**. Estos equipos se encargan de **mantener constante el valor de la presión de trabajo** de la instalación, independientemente del caudal suministrado por la bomba, mediante la modificación de la frecuencia de giro de su motor. Además, los variadores de frecuencia permiten la reducción del consumo energético del equipo de bombeo.

Por su parte, las **bombas agrupadas en serie** permiten obtener una **altura manométrica total que es la suma de las alturas** que proporciona cada bomba por separado, y son especialmente útiles en aquellos casos en que se precise **aumentar la presión de trabajo** del sistema o bien se requiera una **elevada altura manométrica total**.



Figura 13. Bombas agrupadas en serie.

3.8. Potencia del motor que acciona una bomba

El motor, eléctrico o de combustión interna, es el **encargado de suministrar la energía necesaria a la bomba** para que ésta produzca la elevación deseada en el agua. La potencia que requiere el motor depende del caudal y de la altura manométrica total, así como de su propio rendimiento y el de la bomba.

El rendimiento de una máquina es el trabajo que produce en relación al que consume, de tal forma que cuanto mayor es el rendimiento de un motor o de una bomba mayor es su eficiencia. Normalmente los valores que suministra el fabricante y suelen estar en torno a 0,5-0,7 para los motores eléctricos y entre 0,7 y 0,9 para las bombas hidráulicas.



La potencia de un motor suele expresarse en caballos de vapor (CV) o en kilovatios (kW). Para calcular la potencia se utilizan la expresión siguiente:

Potencia expresada en CV:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Caudal (l/s)} \times \text{Atl. manométrica total (Ht) (metros)}}{75 \times \text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}}$$

Potencia expresada en kW:

$$\text{Potencia} = 0,0098 \times \frac{\text{Caudal (l/s)} \times \text{Atl. manométrica total (Ht) (metros)}}{\text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}}$$

ejemplo

Para el riego de un jardín público de 3,5 has se requiere un caudal máximo de 7,2 l/s cuando se riega un sector con aspersores de impacto emergentes.

La toma de agua de la red urbana proporciona solamente 5,4 l/s a una presión próxima a 3 "kilos", por lo que se decide realizar un pozo para extraer agua y elevarla con una bomba hidráulica accionada por un motor eléctrico, ya que no existen problemas de suministro eléctrico en la zona.

Tras realizar el pozo, se mide el desnivel entre la superficie libre del agua y el lugar de ubicación de la bomba (3,5 metros), tras lo cual se determina que la altura manométrica total necesaria es de 43 m.c.a. Sabiendo que el rendimiento de la bomba es 0,8 y el del motor 0,7, ¿cuál es la potencia del motor en kilovatios (kW) necesaria para que los emisores de la fase más desfavorable funcionen adecuadamente?

Para calcular la potencia expresada en kW, se usa la expresión:

$$\text{Potencia} = 0,0098 \times \frac{\text{Caudal (l/s)} \times \text{Atl. manométrica total (Ht)(metros)}}{\text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}} = 0,0098 \times \frac{7,2 \times 43}{0,8 \times 0,7} = 5,41 \text{ kW}$$



3.9. Criterios básicos de selección e instalación de un grupo de bombeo

Cuando se trata de seleccionar e instalar el grupo de bombeo se precisan algunas recomendaciones. Para decidir el tipo de grupo de bombeo a emplear se pueden seguir los siguientes criterios:

- ▶ **El origen o procedencia del agua de riego:** si el agua procede de embalse o canal (poco probable en jardinería) es recomendable instalar una bomba centrífuga horizontal. Si por el contrario el agua procede de pozos poco profundos (en torno a 5 metros) también es aconsejable colocar bombas centrífugas de eje horizontal, aunque también es factible instalar una bomba de eje vertical. Cuando el agua se encuentra en pozos de profundidades medias, se justifica la elección de una bomba vertical, mientras que se recomienda instalar un grupo sumergible cuando el pozo tiene gran profundidad.
- ▶ **Si existe corriente eléctrica** en las proximidades es aconsejable instalar un motor eléctrico frente a uno de combustión interna.
- ▶ Teniendo en cuenta las **prestaciones que debe suministrar la bomba** (caudal y altura manométrica total) se calcula la **potencia necesaria en el motor**, y se elige aquel modelo que suministre potencia por exceso. Por su parte, la bomba debe sobredimensionarse en torno al 20% con respecto a aquella que proporcione las prestaciones requeridas, de forma que se tengan en cuenta posibles disminuciones en su rendimiento como consecuencia del desgaste producido.

Algunas cuestiones referentes a la instalación del grupo de bombeo son las siguientes:

- ▶ **Debe comprobar** que el **sentido de giro de las palas** del impulsor de la bomba es el correcto.
- ▶ La **altura de aspiración debe ser lo menor posible**, y se evitará en lo posible que la bomba soporte el peso de la *tubería de aspiración*. Es especialmente importante que todas las *juntas*



en el circuito de aspiración sean herméticas, de manera que no se produzca la entrada de aire desde el exterior en dicha fase. Siempre es recomendable instalar una válvula de pie al final de la tubería de aspiración que evite el vaciado de la tubería durante su uso o cuando la bomba no trabaja; la válvula deberá estar sumergida a una altura tal que no toque el fondo y pueda provocar aspiraciones de partículas o suciedad que dañen la bomba.

- **A la salida de la bomba debe colocarse una válvula de retención**, de forma que el agua no dañe la bomba en situaciones de golpe de ariete o provoque el giro en sentido contrario cuando retroceda, una válvula de mariposa o de compuerta, y finalmente una ventosa para evacuar el aire de las tuberías durante el llenado e introducirlo durante su vaciado.



3.10. Resumen

El riego de los jardines se realiza habitualmente usando sistemas de aspersión o de riego localizado, en los que el agua debe circular por las instalaciones con cierta energía para que los emisores funcionen correctamente. En las instalaciones de riego a presión es importante conocer los conceptos de caudal circulante y presión, así como el de pérdidas de carga que se producen al paso del agua por los diferentes elementos de la instalación.

En jardinería es muy frecuente disponer de caudal y presión limitados para efectuar los riegos, por lo que es importante conocer cuáles son sus valores y diseñar y programar los riegos con tales limitaciones. En situaciones de caudal limitado el riego debe dividirse en sectores; cuando la presión es excesiva puede disponerse un regulador de presión a la entrada de la instalación.

Cuando la instalación de riego requiera mayor presión y/o caudal de los que suministra la toma de agua, debe instalarse un equipo de bombeo que dote al agua de la energía necesaria. La altura de elevación que se requiere en el sistema está formada por la altura manométrica de aspiración, la altura geométrica de impulsión, la altura por pérdidas de carga y la altura por la presión de trabajo de los emisores más alejados de la bomba, en lo que se denomina altura manométrica total. Los equipos de bombeo más habituales son los compuestos por un motor eléctrico y una bomba hidráulica, de eje horizontal o de eje vertical, en superficie o sumergida.

Las prestaciones que deben suministrar las bombas por separado o agrupadas en serie o en paralelo, así como los rendimientos del grupo de bombeo son datos esenciales para calcular la potencia necesaria del motor que acciona la bomba. En el proceso de elección como de instalación del grupo de bombeo es preciso seguir ciertas recomendaciones que redundarán en un mejor aprovechamiento del equipo.

AUTOEVALUACIÓN

1. El caudal de agua que circula por una instalación de riego de jardines puede medirse en:
 - a) Litros (l)
 - b) Megapascuales (MPa)
 - c) Metros de columna de agua (m.c.a.)
 - d) Metros cúbicos/hora (m³/h)

2. Una toma de agua a la entrada de un jardín suministra un caudal de 300 litros/minuto. Si los aspersores emergentes que se pretenden instalar aplican 29 litros/minuto, ¿cuántos aspersores como máximo se podrán instalar por cada fase o estación?
 - a) 10
 - b) 29
 - c) 30
 - d) 300

3. La altura manométrica total que se requiere en un punto de una instalación de riego de un jardín es de 32 m.c.a. ¿A qué cantidad equivale dicha presión expresada en kilogramos/centímetro cuadrado?
 - a) 32
 - b) 0,32
 - c) 320
 - d) 3,2

4. Los grupos motobombas sumergibles o grupos buzo se caracterizan por tener:
 - a) El motor situado en la superficie y la bomba sumergida en el agua
 - b) El motor y la bomba sumergidos en el agua
 - c) La bomba en la superficie y el motor sumergido en el agua
 - d) El motor y la bomba ambos en superficie

5. ¿Cuáles son las principales unidades en que se expresa la potencia de un motor?
 - a) Kilovatios y Caballos de Vapor
 - b) Kilovatios y centímetros cúbicos
 - c) Voltios y Watios
 - d) Watios y Caballos

6. La altura de elevación o altura manométrica total es suma de las siguiente alturas:
 - a) Altura de succión, impulsión y aspiración, y la presión de trabajo de cualquier emisor.
 - b) Altura de aspiración, intrusión y pérdidas de carga
 - c) Altura de aspiración, impulsión y pérdidas de carga, y la presión de trabajo del emisor más desfavorable.
 - d) Altura de succión, expulsión y pérdidas de carga, y la presión de trabajo del emisor menos desfavorable.

7. Si las necesidades de caudal de una instalación de riego son muy variables, lo más recomendable es instalar varias bombas agrupadas
 - a) En serie
 - b) En paralelo
 - c) En oblicuo
 - d) En superposición

8. Para evitar que la tubería de aspiración se vacíe durante el funcionamiento o después de la parada de las bombas, ¿qué tipo de válvula se debe instalar en el extremo de dicha tubería?
 - a) Válvula de pie
 - b) Válvula volumétrica
 - c) Válvula de ventosa
 - d) Válvula de retención

9. En un conjunto de bombas colocadas en serie y trabajando a la vez, la altura manométrica total que suministra el conjunto es
 - a) La diferencia entre cada una de las que suministran las bombas por separado
 - b) La de la bomba que proporciona menor altura manométrica total
 - c) La suma de cada una de las que suministran las bombas por separado
 - d) La de la bomba que proporciona mayor altura manométrica total

4.1. Introducción

La **estética de un jardín** no sólo estará en función de su diseño o de la belleza de las especies que se utilicen, sino también de la **buena conservación y mantenimiento de todas las plantas que forman parte de él**. Esto se conseguirá utilizando, entre otros factores, un sistema de riego adecuado, que permita el máximo ahorro de agua, al tiempo que un aporte correcto de agua a la planta.

La elección de un sistema de riego dependerá de la disponibilidad de agua de la zona y la posibilidad de llevarla hasta el punto donde se necesite; de la *topografía* y la forma del terreno donde se ubique el jardín (pendiente longitud, anchura); de la climatología, especialmente vientos; del tipo de plantas que se empleen; de la calidad del agua de riego; de los costes de la instalación; del *tiempo de riego*, que será limitado principalmente en las zonas públicas y de recreo, etc.

En la actualidad los sistemas más utilizados en el riego de jardines, tanto públicos como particulares son los de **aspersión y localizado**, aunque también es frecuente ver algunos jardines que siguen utilizando el **riego por superficie**, heredado de los árabes. Este último sistema de riego es más frecuente en jardines con cultivos arbóreos o en zonas en las que los desniveles del terreno permitan distribuir el agua por toda la superficie ocupada por el jardín o en pequeños parterres.

4.2. Riego localizado

El riego localizado **se basa en el aporte continuo de agua sobre la superficie del suelo** (riego superficial) o bajo éste (riego subterráneo), utilizando tuberías a presión y *emisores* de diversas formas, de manera que **sólo se moja una parte del suelo**, la más próxima a la planta.

La salida de agua por los emisores se produce con muy poca o nula presión, a través de unos orificios, generalmente de muy pequeño tamaño, mojando un volumen de suelo que recibe el nombre de **bulbo húmedo**.

La **forma del bulbo húmedo** está condicionada principalmente por la **textura del suelo**, estando más extendido horizontalmente en los suelos arcillosos y más en profundidad en los arenosos. Así, el agua se va infiltrando formando **capas concéntricas** más o menos alargadas, alrededor del emisor; este mismo camino es el que siguen las **sales** contenidas en el agua de riego. La zona central del bulbo es la que más cantidad de agua acumula por lo que la concentración de sales en esta zona es menor. Al mismo tiempo, el movimiento del agua en el bulbo húmedo va realizando un **lavado de las sales acumuladas en el suelo**, mayor en la zona más próxima al emisor; por este motivo la mayor acumulación de sales se produce en la periferia del bulbo, y sobre todo en la superficie del suelo, ya que el agua que se evapora, no lleva consigo las sales. Este lavado afecta de igual forma a los **nutrientes**, que también son sales, por lo que cuando se riega de forma localizada, es necesario realizar aportes frecuentes de nutrientes, utilizando el agua como método de aplicación para evitar la aparición de carencias.

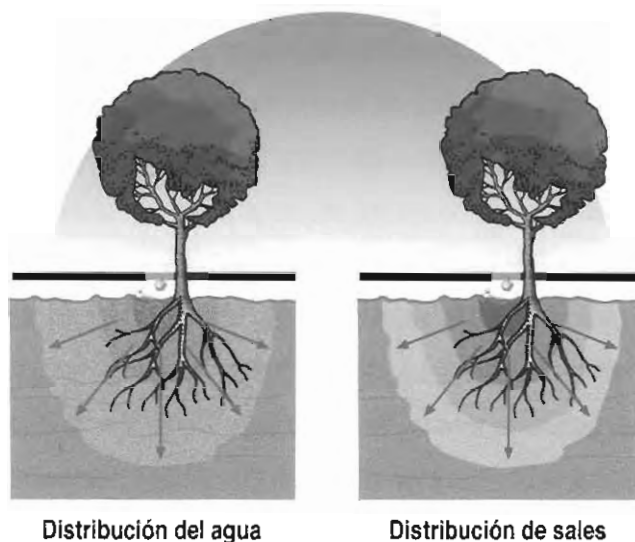


Figura 1. Distribución del agua y de las sales en el interior del bulbo húmedo.

A la hora de calcular las necesidades de riego con aguas salinas se tiene en cuenta una **fracción de lavado**, o **cantidad de agua extra respecto al agua de riego**, para alejar la zona de acumulación de sales del centro del bulbo, lo que evita que las raíces de las plantas entren en

contacto con esta zona. Al situar las plantas en las zonas del jardín que se vayan a regar por goteo, es importante tener en cuenta la forma del *bulbo húmedo* y la distribución de las sales, así como la distancia entre plantas y emisores para evitar situar una planta en la zona de acumulación de sales.

En los jardines con sistemas de riego localizado se debe aplicar el agua en **cantidades pequeñas y con alta frecuencia**, es decir, dar un número de riegos elevado, en los que el aporte de agua en cada uno sea reducida. De esta forma se intenta mantener el contenido de agua en el suelo en unos niveles casi constantes y se evitan grandes fluctuaciones de humedad. Así, el agua estará permanentemente en el suelo en unas óptimas condiciones para ser extraída por la planta, pero en un volumen reducido, por lo que el suelo ocupará un papel más importante como soporte físico para las plantas que como almacén de agua.

En los caso de jardines con vegetación arbórea y en aquellos en los que el suministro de agua no esté asegurado durante todo el año, la aplicación de agua con alta frecuencia puede crear problemas de anclaje del sistema radicular al suelo, o falta de resistencia en periodos en los que el suministro de agua se vea dificultado, por una sequía o por cortes en el suministro (averías en la red, obras en una zona próxima al jardín, etc.). Por ello, en estos casos será más interesante **aplicar frecuencias de riego más bajas y dotaciones más altas**, a fin de aumentar el volumen del bulbo húmedo y la profundidad de las raíces.

Con el riego localizado se puede lograr un elevado grado de automatización, llegándose en ocasiones a un funcionamiento casi autónomo de todo el sistema. Gracias a esto, se consigue automatizar operaciones como limpieza de equipos, apertura o cierre de válvulas, fertilización, etc.

En general, el riego localizado dentro de un jardín se suele emplear principalmente para el riego de árboles, líneas de arbustos, arriates, macizos de flores, y *tapizantes*. Por sus características y forma de aplicar el agua, **este sistema es el más adecuado para regar con agua salina**, ya que el aporte continuo de agua en la zona del bulbo facilita el *lavado de sales*, manteniéndolas alejadas de la zona donde se sitúan las raíces, y por otra parte, al no existir contacto entre el agua y las hojas o troncos, se evitan manchas y problemas de toxicidad. Además, en caso de poder utilizar **agua residual depurada, el riego localizado y sobre todo el subterráneo es el más conveniente**, ya que difícilmente el agua podrá entrar en contacto con los usuarios del jardín.



VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO LOCALIZADO

El riego localizado ofrece numerosas ventajas fundamentadas principalmente en la aplicación del agua directamente en la zona más próxima a las raíces. Este sistema de riego también cuenta con algunos inconvenientes, de fácil solución si se lleva a cabo un adecuado manejo del mismo.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Permite un uso eficiente y un ahorro de agua, ya que sólo se aplica en la zona de las raíces. - Las pérdidas de agua por escorrentía, percolación y evaporación son mínimas, lo que se traduce en una elevada <i>eficiencia de aplicación</i>. - Permite la aplicación de <i>fertilizantes</i> y algunos tratamientos químicos con el agua de riego. - Permite un gran control de del agua de riego y de los abonos aplicados. - Dificulta la aparición de malas hierbas en la zona no humedecida. - Al no mojar la parte aérea de las plantas disminuye el riesgo de determinados problemas sanitarios. - Es un método muy adecuado en caso de disponer de presiones poco elevadas. - Permite el uso de aguas salinas y depuradas. - Permite la automatización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es un método que necesita una elevada inversión. - Si no se maneja adecuadamente se pueden producir problemas de salinidad en la zona del bulbo húmedo. - Requiere un elevado control y mantenimiento para su adecuado funcionamiento. - Los emisores que utiliza se obturan con cierta facilidad. - Puede ocasionar problemas de enraizamiento en árboles, si la <i>frecuencia de riego</i> no se maneja adecuadamente.

RIEGO LOCALIZADO SUPERFICIAL

Se habla de riego localizado superficial cuando **el agua y los fertilizantes se aplican sobre la superficie del suelo, en la zona próxima a las raíces de las plantas**. El agua circula a presión por la red de tuberías de la instalación, desde el cabezal, hasta llegar a los **emisores o goteros**, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota. En estos casos, tanto las *tuberías laterales* como los goteros se sitúan en la superficie del jardín a regar, y el agua se infiltra y distribuye en el subsuelo, siguiendo la forma del bulbo húmedo anteriormente descrita. Para conseguir un menor impacto estético, las tuberías laterales podrían enterrarse y a través de un sistema de microtubos, sacar los emisores hasta la superficie.



Figura 2. Sistema de riego localizado superficial.

Otro sistema de riego localizado superficial es el que emplea **tuberías emisoras**, que se instalan sobre la superficie del suelo, creando una **banda continua de suelo humedecido**. Las tuberías emisoras más utilizadas son las *tuberías goteadoras* y las *tuberías exudantes*. En el caso de riego localizado empleando goteros, también se puede lograr una banda continua de humedad jugando con la distancia de los emisores en la tubería lateral. Esta práctica suele ser habitual en el riego de arriates, macizos, setos, etc.

RIEGO LOCALIZADO SUBTERRÁNEO

Cuando **la aplicación de agua y fertilizantes se efectúa directamente en la zona de las raíces**, se habla de riego localizado subterráneo. En este caso, las tuberías laterales se entierran entre 20 y 40 cm, y los goteros aplican el agua a esa profundidad. Este sistema se basa en la utilización de franjas **continuas de humedad** con lo que se pretende garantizar una buena uniformidad en el riego.

Además, el riego subterráneo no distorsiona el paisaje en el que se instale; al no ser visible, evita problemas de vandalismo; garantiza una mayor duración de la instalación al estar protegida frente a radiaciones solares y variaciones térmicas; ofrece la posibilidad de emplear aguas residuales depuradas sin crear problemas de salud pública ya que el agua y los posibles microorganismos patógenos que pudiera portar quedan bajo la superficie del suelo. Por otra parte, al permanecer la superficie del suelo seca, la germinación de semillas de malas hierbas se ve dificultada, lo que disminuye la presencia de éstas, con el consiguiente ahorro de herbicidas y mano de obra.

El principal inconveniente del riego subterráneo es la **obtención de los goteros**, tanto por partículas transportadas en el agua de riego, como por factores externos (partículas de suelo o

raíces), lo que hace necesaria la instalación de **sistemas de filtrado muy perfectos** que eviten las obturaciones internas, y la utilización de productos como ácido fosfórico para evitar la obturación de emisores, y trefluralina para evitar la entrada de raicillas a través de los emisores. Otra opción es el empleo de *goteros autocompensantes* y antisucción, es decir, goteros que garantizan un caudal dentro de un determinado rango de presiones y que llevan un dispositivo que impide la entrada de partículas en su interior, y con los que se evita en gran medida la obturación de los goteros y se consigue una buena uniformidad de riego. La no observación de todas y cada una de las condiciones expuestas, ha sido la causa del fracaso de la mayoría de los sistemas de riego subterráneo que se han instalado en los jardines hasta el momento.

Otros inconvenientes de estos sistemas son la dificultad de detectar fallos en el funcionamiento del sistema y repararlos; el estrangulamiento de la tubería por las raíces de las plantas, algo frecuente y de difícil solución; y el elevado coste de la instalación, ya que los sistemas de riego subterráneo requieren la instalación de ramales de lavado, que recojan el agua empleada en el lavado de las tuberías, y de ventosas de doble efecto al principio de cada sector de riego, que permitan la entrada y salida de aire sin que haya riesgo de entrada de tierra por succión en los emisores.



Figura 3. El crecimiento de las raíces sobre las tuberías de riego subterráneo puede dar lugar al estrangulamiento de las mismas.

4.3. Riego por aspersión y difusión

Los **sistemas de riego por aspersión se basan en la aplicación del agua en forma de lluvia sobre la totalidad de la superficie**. Para ello el agua es conducida a presión a través de una red de tuberías, hasta los elementos encargados de dispersarla, **aspersores**. Una vez en el suelo el agua se infiltrará hasta capas más profundas, quedando a disposición de las plantas. Este proceso de infiltración no sólo dependerá de las características de los aspersores sino también de las propias características físicas del suelo.



FOTO CEDIDA POR TORO-RIEGO VERDE, S. A. (RIVERSA)

Figura 4. Sistema de riego por aspersión.

Una de las principales características de este sistema de riego es que **el agua, una vez que sale del aspersor, queda fuera de control**, totalmente a merced de las condiciones climáticas, que condicionarán en gran medida la *uniformidad de aplicación*. El **viento** es el elemento que mayores **problemas de uniformidad en el reparto del agua** puede crear, al distorsionar la trayectoria del chorro de agua, lo que puede dar lugar a un desarrollo poco homogéneo del área del jardín que se riega con este sistema. Otro aspecto que puede afectar a la eficiencia de aplicación es **la evaporación de las gotas de agua** emitidas por el aspersor antes de llegar al suelo, situación que puede producirse en ambientes muy cálidos y secos. Esta circunstancia obliga a controlar el tamaño de gota generado por los aspersores, ya que si éste es muy reducido, las pérdidas por evaporación pueden ser muy elevadas.

Los aspersores realizan **movimientos rotatorios**, por lo que humedecen una zona más o menos circular. Existen modelos de aspersores regulables en los que el ángulo de giro puede variarse



entre 0 y 360°, modificando así el área regada; otra posible regulación es la del arco de riego, que modifica el radio de trabajo, y por tanto el área humedecida. En algunos modelos de última generación, la combinación de varias boquillas existentes en una misma carcasa, permite modificar arcos de trabajo y tamaño de gota, lo que los hace muy adaptables a situaciones muy variadas.

Los **difusores**, muy similares a los aspersores, **carecen de elementos móviles** para girar, pero el arco de riego se regula desde la boquilla de salida del agua, entre 20-30° (según el modelo) y 360°, lo que permite igualmente regar áreas circulares o áreas con curvas.

Igual que el riego localizado es el método más adecuado para el riego con aguas salinas, no ocurre lo mismo con el riego por aspersión. Al ser un sistema de cobertura total con el que se moja el área foliar de la planta o parte de ella, al evaporarse el agua, **las sales quedan depositadas en las hojas, pudiendo causar quemaduras u otro tipo de daño**. Otro limitante de este sistema de riego, sobre todo en el riego de flores o de plantas ornamentales, es el empleo de aguas duras (más de 50 grados franceses) y con un elevado contenido en carbonatos (más de 300 ppm), ya que se producen manchas en hojas y flores, lo que supone una gran pérdida del valor ornamental. Con el exceso de hierro ocurre lo mismo, por lo que con valores por encima de 1 ppm, se debe pensar en un sistema de riego alternativo a la aspersión.

En general, los sistemas de riego por aspersión y difusión se emplean para el riego de céspedes y *tapizantes* tanto en jardines públicos como privados, y sobre todo para el riego de campos de deporte, fútbol, golf, tenis, etc. Los emisores que se instalan suelen ser emergentes para evitar problemas de vandalismo en unos casos, y en otros para que la actividad que se desarrolla en la zona a regar no se vea dificultada.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

Las ventajas del riego por aspersión se fundamentan principalmente en que el control del riego sólo está limitado por las condiciones climáticas y en que la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo.



Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Permite regar terrenos ondulados o poco uniformes. - Puede ser utilizado en una gran variedad de suelos, incluso en aquellos de textura arenosa que exigen riegos cortos y frecuentes. - Es un método muy útil en las primeras fases de desarrollo de las plantas, donde son necesarios riegos ligeros pero frecuentes. - Es un método útil para dar riegos de socorro y especialmente eficaz en la lucha contra heladas. - Permite realizar <i>lavado de sales</i>, ya que tienden a desplazarse a capas más profundas del suelo, quedando fuera del alcance de las raíces. - Permite la aplicación de <i>fertilizantes</i> y algunos tratamientos químicos con el agua de riego. - Permite la automatización. 	<ul style="list-style-type: none"> - La forma de aportar el agua puede tener efectos negativos sobre algunas plantas, ya que al humedecerse la parte aérea de las mismas aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades. - El viento dificulta el reparto uniforme del agua, haciendo disminuir la <i>uniformidad de aplicación</i> y la eficiencia del sistema de riego. - En caso de regar con agua salina pueden producirse quemaduras en hojas y flores por acumulación de sales. - En caso de emplear agua muy dura y con un elevado contenido en carbonatos o en hierro, pueden producirse manchas en hojas y flores, con la consiguiente pérdida de valor ornamental.

RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y NEBULIZACIÓN

Una variante del riego por aspersión, poco utilizada en jardinería, más parecida al riego localizado por la forma de aplicar el agua es la microaspersión. En este caso, los emisores, microaspersores, distribuyen el agua **en forma de lluvia hacia la zona del suelo ocupada por las raíces**. De esta forma se consigue una uniformidad de riego equivalente a la del riego localizado, por lo que es muy útil para zonas del jardín en las que resulta difícil instalar una línea de goteo, y sobre todo, en suelos muy arenosos donde resulta complicado establecer bulbos razonables con puntos aislados de emisión. Los microaspersores se emplean generalmente para regar árboles, macizos de flores, rosales, pequeñas áreas del jardín, etc. La zona humedecida por los microaspersores variará según la distancia a la que se instalen; se pueden conseguir **círculos aislados o franjas continuas de humedad**, aproximándolos para superponer las zonas de suelo mojado.





Figura 5. Macizo de flores regado con microaspersores.

Otros dispositivos de riego muy similares a los microaspersores son los **microdifusores**; se diferencian en que los primeros disponen de uno o varios elementos móviles que les permiten efectuar movimientos de rotación, mientras que los segundos tienen todas sus partes fijas. Por su forma de emitir el agua, como una nube de finas gotas, los microdifusores también son conocidos como **nebulizadores**. Éstos se utilizan frecuentemente en espacios cerrados, como invernaderos o viveros, para crear ambientes húmedos y bajar la temperatura interior. Suelen ir colgados del techo y trabajan a altas presiones. El paso de sus boquillas suele ser de diámetro muy fino, por lo que hay que extremar las precauciones en el filtrado del agua. De esta forma las gotas generadas quedan envueltas en el aire y no llegan al suelo, es lo que se conoce como efecto “mist”. En jardines al aire libre se utilizan poco como sistema de riego, porque debido al pequeño tamaño de gota generado, una pequeña brisa afectaría a la franja de riego. Los microdifusores se pueden utilizar para el riego de rosales y de setos siempre que se instalen a ras de suelo, para crear una zona de alto nivel de humedad.

Para la **creación de ambientes húmedos en espacios cerrados**, además de nebulizadores, pueden emplearse **humidificadores**. Se trata de pequeñas máquinas que calientan el agua contenida en un depósito, y la emiten en forma de vapor, manteniendo en el ambiente una humedad relativa determinada. Otros sistemas de humidificación producen el mismo efecto mediante la aplicación de una corriente de aire, desde un ventilador de elevada potencia, sobre una lámina de agua.

4.4. Cabezal de riego: sistemas de filtrado y fertirrigación

La procedencia del agua para el riego parques, jardines, campos de deporte, etc. determinará los componentes que sean necesarios en el **cabezal de riego**. En éste se instalan los elementos precisos para filtrar el agua, en los casos que haya que eliminar partículas que puedan causar obturaciones en los emisores (**equipo de filtrado**); para dotarla de la presión adecuada, si la de entrada a la instalación no es suficiente (**equipo de bombeo**); y para añadirle fertilizantes (**equipo de fertirriego**). En la Unidad Didáctica 3 se explicó todo lo referente al sistema de bombeo; en este apartado, al hablar de cabezal de riego, sólo se hará referencia a los elementos de filtrado y de fertirriego.



Figura 6. Cabezal de riego

EQUIPO DE FILTRADO

El equipo de filtrado es el componente principal del cabezal ya que tras su paso por él, **el agua quedará limpia de todos los sólidos y partículas en suspensión** capaces de producir *obturaciones* en los emisores, principalmente en los de riego localizado. Si el agua tiene una gran cantidad de sólidos en suspensión será necesario efectuar un **prefiltrado**, para separar las partículas más pesadas. Para ello se utiliza normalmente un **hidrociclón** que las elimina por centrifugación. Una vez libre de las partículas más gruesas el agua pasa por el equipo de filtrado desde donde saldrá lista para su distribución por la red de riego. Los filtros más usuales en un equipo de filtrado son:



- Filtros de arena:** retienen principalmente **partículas orgánicas en suspensión** tras el paso del agua por una capa de arena o grava. Estos filtros son depósitos de rellenos de arena que debe ser silíceo, uniforme y con un tamaño igual al de paso del agua en el emisor. **Tienen gran capacidad de acumulación de suciedad.** Cuando están limpios la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro está entre 1 y 3,5 m.c.a.; cuando este valor alcanza valores entre 5 y 6 m.c.a. debe realizarse la limpieza del filtro.

La limpieza se realiza invirtiendo el flujo del agua, que entrará por abajo y saldrá por arriba hasta un circuito auxiliar, arrastrando toda la suciedad de la arena. Con esta operación, además de limpiar la arena, se consigue removerla y evitar que se compacte o se formen grietas.

- Filtros de malla:** retienen todo tipo de **sólidos en suspensión en la superficie de unas mallas** de material no corrosivo (acero o plástico), con orificios de pequeño tamaño. La capacidad de retención de estos filtros se mide, en general, por el **número de mesh o número de orificios por pulgada lineal;** el tamaño de los orificios de la malla es otro parámetro, quizá más representativo, para medir dicha capacidad de retención, que se puede relacionar con el anterior, según se muestra a continuación en una tabla. El tamaño de los orificios de la malla se elige en función del tamaño del conducto del emisor, teniendo en cuenta que a menor diámetro del emisor, mayor nº de mesh. Se recomienda **no utilizar mallas de más de 200 mesh,** y que el orificio de la malla no sea superior a la décima parte del diámetro de salida del emisor.

Relación entre el número de mesh y el tamaño de los orificios de la malla

Número mesh	Orificio (milímetros)	Número mesh	Orificio (milímetros)	Número mesh	Orificio (milímetros)
4	4,7	14	1,18	60	0,25
5	4,0	16	1,0	80	0,18
6	3,35	20	0,85	100	0,15
7	2,8	24	0,75	115	0,12
8	2,36	28	0,6	150	0,1
9	2,0	32	0,5	170	0,09
10	1,7	35	0,42	200	0,075
12	1,4	42	0,35	250	0,063

- Filtros de anillas:** atrapan todo tipo de **sólidos en suspensión entre unas anillas ranuradas**, agrupadas y ajustadas unas contra otras en un cartucho insertado en la carcasa del filtro. El número de ranuras de las anillas, y su tamaño determinan la capacidad de filtrado de este tipo de filtros. El tipo de anillas que se utilice depende del diámetro de salida de agua en los emisores, siguiendo el mismo criterio que para los de malla. Para poder distinguirlas con facilidad, las anillas se fabrican en diversos colores, según sea el tamaño de paso, a los que se les asigna un nº de mesh por comparación con un filtro de malla que retenga partículas del mismo tamaño.

Relación entre el número de mesh y el tamaño de los orificios de la malla

Color de las anillas	Número de mesh	Tamaño de paso (milímetros)
Blanco	18	0,8
Azul	40	0,4
Amarillo	80	0,2
Rojo	120	0,13
Negro	140	0,12
Verde	200	0,08
Gris	600	0,025



(1 Y 2) FOTO CEDIDA POR URALITA, S.T.



Figura 7. Filtro de arena, mallas y anillas.

La diferencia de presión entre la entrada y la salida (*pérdida de carga*) en los filtros de malla y los de anillas, cuando están limpios, oscila entre 2 y 3 m.c.a. **La limpieza de estos filtros se realizará en el momento en que la diferencia de presión**, medida con manómetros a la entrada y salida del filtro, sea de unos 5 m.c.a. Para ello se abre la carcasa del filtro, y se extrae el elemento filtrante (malla o anillas) que se lava con agua a presión y un cepillo. Esta limpieza se puede **realizar de forma automática** mediante un sistema de **contralavado**, en el que el flujo del agua se invierte, arrastrando toda la suciedad hacia el exterior. También existen en el mercado **filtros de malla o anillas autolimpiantes**. En general, los filtros de anillas se limpian con mayor facilidad que los de malla, lo que hace que su uso esté más extendido.



Figura 8. Limpieza manual de un filtro de anillas.

Es importante saber que cuando en el cabezal de riego se necesita más de un filtro, si se sitúan **en paralelo**, la capacidad de filtrado del sistema será la suma de la capacidad de filtrado de cada filtro por separado; sin embargo, si se sitúan **en serie**, ésta será la correspondiente a la del filtro de menor capacidad. Así, conociendo el *caudal* de agua que deba circular por la red de riego y la capacidad de filtrado, se sabrá el número de filtros a instalar y su situación dentro del cabezal.

La necesidad de instalar un tipo u otro de filtros en el cabezal de riego es función del origen del agua. Si ésta procede de un pozo, será necesario un hidrociclón para eliminar las

posibles partículas de arena y *limo* que lleve en suspensión, a continuación se dispondrá un filtro de malla o de anillas (a elección del usuario). Si el agua procede de una balsa o de un depósito, lo usual es que lleve algas y otras partículas orgánicas en suspensión, lo que hará necesario un filtro de arena, y tras éste uno de malla o de anillas. Si el agua procede la red urbana o de una estación depuradora de aguas residuales sólo se instalarán filtros de malla o de anillas.

Independientemente de la procedencia del agua, siempre que se vaya a instalar en el cabezal de riego un sistema de fertirriego, a continuación se pondrá un filtro de malla o anillas para que los precipitados o las impurezas del abono puedan ser retenidas. Así, el orden invariable será, según necesidades, el siguiente:

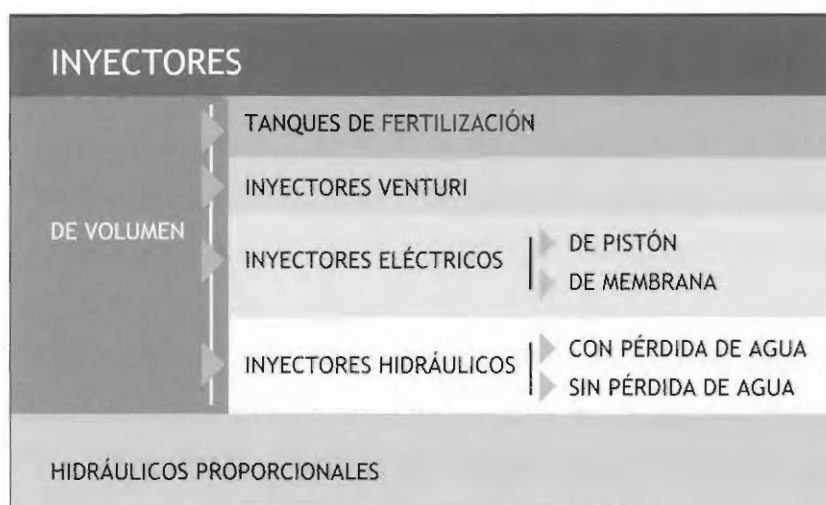
- ▶ **Agua procedente de un pozo:** hidrociclón (si existen sólidos en suspensión), equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.
- ▶ **Agua procedente de una balsa o de un embalse:** filtro de arena, equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.
- ▶ **Agua procedente de una depuradora de aguas residuales urbanas:** equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.
- ▶ **Agua procedente de la red urbana:** equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.

EQUIPO DE FERTIRRIEGO

El equipo de fertirriego es el encargado de **distribuir fertilizantes a través del agua de riego**. Esta práctica recibe el nombre de **fertirrigación** y su realización es bastante frecuente, sobre todo en los sistemas de riego localizado. A través de este equipo también se pueden incorporar otras sustancias, como productos fitosanitarios, de limpieza, etc., según las necesidades del momento.

La incorporación de los fertilizantes al agua de riego se realizan mediante diferentes sistemas de inyección. La cantidad de fertilizante introducida puede realizarse de forma proporcional al volumen de agua que circula por la tubería o no, según se empleen inyectores hidráulicos proporcionales o inyectores de volumen, respectivamente.





Los fertilizantes y demás productos químicos que se incorporan a la red de riego a través del equipo de fertirriego, se disuelven en el agua en el interior de un depósito o tanque desde donde son aspirados. Para evitar posteriores obturaciones durante el proceso de fertirriego y ayudar a la disolución y homogeneización de la solución nutritiva se suelen utilizar **agitadores eléctricos**.

Inyectores de volumen

- **Tanque de fertilización:** es el equipo más sencillo y económico para la inyección de fertilizantes. Consiste en un **depósito**, metálico o de plástico reforzado, conectado en paralelo a la red de distribución, en cuyo interior se deposita una solución de fertilizante más o menos concentrada. El tanque está conectado con la tubería principal por un tubería de entrada y otra de salida; entre ambos puntos se sitúa una válvula de regulación que crea una diferencia de presión, que deriva una cantidad de agua de la red principal hacia el interior del tanque. El agua se mezcla con el fertilizante y arrastra parte de éste que se incorpora de nuevo a la red principal.

El principal inconveniente de este sistema es que **el fertilizante no se aplica en una cantidad constante en el tiempo**, ya que su *concentración* disminuye en el interior del tanque a medida que pasa el agua de riego.

- **Inyector Venturi:** consiste en un tubo metálico o de plástico, conectado generalmente en paralelo a la tubería principal, con un estrechamiento, que provoca la aspiración de la solución fertilizante, que pasa a la red.

Se trata de un dispositivo muy sencillo, de bajo coste, que no requiere energía para su uso y además **proporciona el abono de forma constante** a la red de riego. Su principal inconveniente es que **genera una gran pérdida de carga** en la tubería donde se instalan, del orden de 7 a 10 m.c.a., lo que limita su uso si se dispone de poca presión en la red.

- **Inyector eléctrico:** es una bomba de accionamiento positivo accionada por un pequeño motor eléctrico, que aspira la solución nutritiva contenida en un depósito que no está conectado a la red, y la inyecta en la tubería principal. Pueden ser de pistón o de membrana, según sea el elemento de inyección.

El empleo de este tipo de inyector **permite mantener una concentración constante de fertilizante en el agua de riego** que puede ser seleccionada con un dosificador acoplado al inyector. Su principal inconveniente es la necesidad de disponer de energía eléctrica para su funcionamiento, aunque existen en el mercado inyectores de este tipo que funcionan a batería y que se pueden emplear en pequeños jardines, ya que los caudales que pueden inyectar no son muy elevados.

- **Inyector hidráulico:** es similar al eléctrico, pero se caracteriza por no necesitar energía eléctrica para su funcionamiento, ya que la energía que requiere se la proporciona la presión existente en la red. **Necesita** por tanto **una presión mínima para su funcionamiento**, que puede limitar su uso en caso de no disponer de dicha presión.

Los inyectores hidráulicos se suelen calificar según reutilicen el agua empleada para producir su movimiento o se vierta al exterior (con el consiguiente gasto de agua), en inyectores sin pérdida de agua e inyectores con pérdida de agua, respectivamente.

Inyectores hidráulicos proporcionales

Los inyectores hidráulicos proporcionales funcionan como los inyectores hidráulicos descritos anteriormente, pero **el caudal de sustancia fertilizante que inyectan es proporcional a la cantidad de agua que circula por su interior**, independientemente de las variaciones de caudal y presión que se produzcan.



4.5. Red de distribución y drenaje

La conducción del agua desde la toma o *boca de riego* hasta los emisores se realiza a través de las **tuberías de la red de distribución**. La unión entre estas tuberías para el montaje de la red y su adaptación a la forma de la zona a regar se lleva a cabo mediante las **piezas especiales**. Por otro lado, la evacuación de un exceso de agua en la zona de raíces cuando el drenaje natural no es capaz de ello, se realiza a través de un sistema de tuberías o drenes que constituyen la llamada **red de drenaje**.

Las tuberías que forman parte de la red de distribución suelen nombrarse según su categoría, siendo la primaria la que parte de la boca o toma de riego, y secundarias y terciarias las que reparten el agua hasta los sectores de riego en que se divide el jardín. Las tuberías portadoras de los emisores de riego reciben el nombre de **laterales de riego**, en el caso de riego localizado, y **ramales de aspersión**, en el caso de riego por aspersión.

TUBERÍAS

Las tuberías que forman la red de distribución de agua, suelen estar fabricadas en materiales plásticos, fundamentalmente **policloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE)** por tratarse de materiales ligeros de fácil manejo, con poca rugosidad interior y con poca alteración ante fertilizantes y otras sustancias químicas. La elección de uno u otro material dependerá entre otros factores, del diámetro de la tubería y de si ésta va a ir o no enterrada. En general, las tuberías principales, de diámetro superior a 50 mm e instaladas en zanjas bajo tierra, son de PVC; por el contrario, para tuberías de un diámetro inferior a 50 mm y situadas en la superficie del terreno, se utiliza el PE.

Las tuberías de plástico empleadas en riego se suelen clasificar en función de varias de sus características, como son:

- ▶ **Presión:** hace referencia a la presión máxima de trabajo de la tubería a 20°C.
- ▶ **Presión de trabajo:** es el valor de la presión máxima interior a la que la tubería estará en servicio.
- ▶ **Diámetro:** hace referencia al diámetro exterior del tubo declarado por el fabricante.



► **Espesor:** es el grosor del tubo declarado por el fabricante.



La calidad de las tuberías de una instalación de riego está íntimamente relacionada con el adecuado funcionamiento de la misma. Existen unas normas de calidad específicas para cada material, las normas UNE; otro distintivo de calidad es la certificación AENOR, que garantiza que las tuberías que la obtienen cumplen una normativa determinada, más estricta que las normas UNE. Las tuberías que cumplen las normas de calidad son marcadas cada uno o dos metros, según se trate de PE o PVC respectivamente, con una serie de características:

- Identificación del comerciante o marca comercial.
- Presión nominal (en MPa).
- Referencia del material.
- Año de fabricación.
- Diámetro nominal (en mm).
- Espesor (en mm).
- Referencia a la norma UNE que cumple o certificación AENOR (según el caso)



Figura 9. Detalle de las características técnicas impresas en una tubería de PVC.



Tuberías de PVC

El PVC es un **material plástico rígido y bastante frágil**, por lo que su utilización debe restringirse en las situaciones que puedan producirse presiones externas o impactos. Debido a su escasa resistencia al aplastamiento es importante que la instalación tenga los elementos adecuados (válvulas o ventosas) para mantener estas tuberías siempre llenas de agua o de aire. Por otro lado, la rigidez de este material puede ocasionar problemas de sobrepresión en el interior de las tuberías, con mayor frecuencia que en las de polietileno. Los componentes del PVC pueden sufrir **degradaciones** como consecuencia de una exposición continua a los rayos solares, por lo que, para evitar su deterioro, **las tuberías de PVC se deben instalar siempre enterradas**. A pesar de tener ciertos inconvenientes, las tuberías de PVC cuentan con la ventaja de un precio inferior a las de PE para diámetros iguales o superiores a los 50 mm.

La norma que se aplica a estas tuberías es la UNE 53-112-88, que indica básicamente que deben ser cilíndricas, rectas, sin ondulaciones ni estrías u otros defectos que puedan alterar su uso normal.

Tuberías de polietileno (PE)

El polietileno es un **material flexible y fácilmente manejable**, que se comercializa en rollos de distinta longitud, lo que facilita su instalación, que se puede realizar de forma mecanizada. Su elevado precio frente a las tuberías de PVC hace que se empleen normalmente hasta diámetros de 50 milímetros. Las tuberías de PE son las más utilizadas para el riego localizado ya que no se deterioran por la acción del sol, por lo que **pueden instalarse a la intemperie**, además tienen gran resistencia al paso del tiempo y a la formación de incrustaciones en su interior.

En el mercado se encuentran tuberías de polietileno de diferentes densidades:

- ▶ **PE de baja densidad (PE 32)**. Norma aplicable: UNE 53-367-90.
- ▶ **PE de media densidad (PE 50B)**. Norma aplicable: UNE 53-131-90
- ▶ **PE de alta densidad (PE 50A)**. Norma aplicable: UNE 53-131-90

Lo que diferencia a cada uno de estos tipos son sus características de dureza, resistencia y flexibilidad, siendo las tuberías de PE de baja densidad más flexibles y blandas que las de alta densidad, que por el contrario presentan una mayor resistencia a las altas temperaturas y a los productos químicos. **Las más utilizadas en jardinería son las tuberías fabricadas en polietileno de baja densidad.**



FOTO CEDIDA POR TORO-RIEGO VERDE, S. A. (RIVERSA)

Figura 10. Tubería de PE.

DRENES

Los drenes o tuberías de drenaje son las **conducciones encargadas de la evacuación del agua sobrante del subsuelo**. Estas tuberías se conectan a un colector de PVC que lleva el agua hasta el punto de desagüe. Los drenes pueden estar fabricados en diferentes materiales, siendo los más habituales los siguientes:

- ▶ **Tubería de arcilla cocida o cerámica:** el agua entra en su interior por filtración a través de pequeñas juntas, de unos 3 mm, existentes entre dos tubos consecutivos. Estos tubos suelen tener unos 50 cm de longitud, un diámetro interior de aproximadamente 250 mm, y una sección exterior con forma de polígono regular.
- ▶ **Tubería de hormigón poroso:** permite el paso del agua a su través, o entre dos tramos consecutivos. Su empleo suele estar limitado, porque las partículas de *limo* taponan fácilmente los poros, impidiendo el paso del agua.



- ▶ **Tubería de PVC rígido:** pueden ser lisas o rugosas, siendo estas últimas las más utilizadas, sobre todo por su facilidad de instalación, por su mayor resistencia al aplastamiento, y por su flexibilidad, lo que facilita su adaptación al trazado de la red. La entrada del agua al interior de la tubería se produce a través de unas ranuras u orificios circulares que se practican en la superficie de la tubería durante el proceso de fabricación.

PIEZAS ESPECIALES

Las piezas especiales son una parte importante de la red de distribución, ya que se utilizan para conectar tuberías, cambiar el diámetro entre éstas, cambiar la dirección, o conectar más de dos tuberías entre sí, operaciones que **permitirán adaptar la red al área de riego**.

Para realizar estas operaciones existen varios tipos de piezas especiales, entre las que destacan acoples en "T", codos de 45° y 90°, casquillos de reducción, cruces, tapones y enlaces de tres piezas. Estas piezas pueden utilizarse tanto en tuberías de PVC como en las de polietileno, pero presentarán diferencias en cuanto al material de fabricación, que generalmente será el mismo de la tubería en que se instalen, y a la forma mediante la cual se realice la unión, que a su vez dependerán del material de las tuberías.

En las **tuberías de PVC las uniones pueden hacerse mediante la utilización de juntas elásticas o tóricas, o por encolado**, en función del diámetro de las tuberías a unir. Para las tuberías de diámetro superior a 60 mm se utilizan las juntas elásticas, que son piezas de goma que se colocan en el extremo hembra de la tubería, proporcionando estanqueidad. Por el contrario, las tuberías de diámetros inferiores a 60 mm, así como las piezas especiales (codos, "T", ...), se unen por encolado, con adhesivos disolventes del PVC aplicados al exterior del extremo macho y al interior del hembra, que quedan perfectamente soldados.



Figura 11. Encolado de un codo a una tubería de PVC.

En el caso de las **tuberías de polietileno**, en las que no es posible realizar pegados o roscados, **las conexiones se llevan a cabo utilizando juntas mecánicas**, entre las que destacan los **manguitos interiores** y los **racores**. Los manguitos son piezas simples de plástico, que se conectan a presión, mientras que los racores son más complejos, constan unas piezas que se acoplan a las tuberías por dentro o por fuera, y que a su vez se unen entre sí mediante roscado. El precio de los racores es superior al de los manguitos, pero también garantizan una unión más fuerte.



Figura 12. Unión de dos tuberías de polietileno utilizando racores.

4.6. Elementos singulares

Una instalación de riego, además de la red de distribución, engloba otros componentes que contribuyen a su correcto funcionamiento. Estos dispositivos que reciben el nombre de **elementos singulares** de la instalación, **permiten controlar** y medir los caudales circulantes y las presiones alcanzadas, así como **proteger** los distintos elementos que componen dicha instalación. Entre estos elementos destacan ventosas, reguladores, válvulas, contadores y manómetros.

VENTOSAS

Las ventosas son unos dispositivos que permiten **introducir o evacuar aire del interior de las tuberías**, evitando de esta forma su rotura por las sobrepresiones y las depresiones que pudieran ocasionarse durante el funcionamiento del sistema. Las sobrepresiones suelen generarse como consecuencia de la entrada de aire al interior de las tuberías durante su llenado, mientras que las depresiones tienen lugar durante el vaciado, pudiendo dar lugar al aplastamiento de la tubería.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, las ventosas se pueden clasificar en tres tipos:

- ▮ **Ventosas monofuncionales o purgadores:** encargadas de eliminar el aire acumulado en la instalación durante su funcionamiento.
- ▮ **Ventosas bifuncionales:** eliminan el aire acumulado durante el llenado de las tuberías, y lo introducen durante su vaciado.
- ▮ **Ventosas trifuncionales:** realizan a la vez las funciones de purga, admisión y expulsión de aire en las tuberías.

En general, las ventosas deben situarse a la salida del grupo de bombeo, en los puntos más elevados de la instalación, o en aquellas zonas con cambios de pendiente.

REGULADORES DE PRESIÓN

Los reguladores de presión permiten establecer y mantener una *presión* determinada a partir del punto de la red de riego en que se instalan. Pueden ser fijos (presión preestablecida) y regulables, en este caso, la regulación la realiza el usuario a demanda, seleccionando una presión adecuada al rango establecido para el correcto funcionamiento de los emisores.



En general, los reguladores de presión para el riego de jardines se utilizan cuando la presión disponible en la instalación es superior a la que los emisores del sector a regar necesitan para su funcionamiento, y se localizan a la entrada de cada uno de los sectores de riego que los requieran.

VÁLVULAS

Las válvulas se utilizan para **controlar el caudal que circula por una tubería**, abriendo, cerrando o dejando un paso intermedio de agua. Se suelen clasificar en función del tipo de accionamiento, en manuales (accionadas directamente por el usuario) o automáticas (accionadas por dispositivos hidráulicos o electromagnéticos).

Las **válvulas de accionamiento manual** más utilizadas en jardinería son las válvulas de esfera o bola y las de compuerta. Las **válvulas de esfera** son fáciles de manejar, ya que se cierran rápidamente girando 90° la llave. Son las más recomendadas para caudales bajos y en instalaciones que no presenten peligro de sobrepresión. Las **válvulas de compuerta** se cierran de forma más lenta, tras varios giros de llave. Son más caras que las de esfera y su uso está menos extendido ya que se recomiendan en instalaciones con riesgo de sobrepresiones, algo poco frecuente en jardines.



Figura 13. Válvula de esfera.

Las **válvulas de accionamiento automático** se utilizan en instalaciones de riego automatizadas. Dentro de este grupo se encuentran las **válvulas hidráulicas, las volumétricas y las electroválvulas**. La descripción y funcionamiento de este tipo de válvulas se realiza en la Unidad Didáctica 5.

Dentro del grupo de válvulas de accionamiento mecánico, merecen especial mención las **válvulas de retención**, que sólo permiten el movimiento del agua dentro de la tubería en una sola dirección, impidiendo su retroceso. Suelen utilizarse en aquellas instalaciones que tienen un sistema de bombeo, para evitar el giro inverso de las bombas, en cuyo caso pueden quedar seriamente dañadas.

ELEMENTOS DE MEDIDA DE CAUDAL

Dentro de este grupo de elementos se incluyen los **medidores de caudal**, los **flujómetros** y los **rotámetros** que permiten conocer el caudal instantáneo en un punto determinado de la instalación de riego. Se trata de equipos móviles que se utilizan de forma puntual para, por ejemplo, realizar los cálculos previos al diseño del riego, las comprobaciones de instalaciones existentes, y para hacer la programación de los riegos de la forma más correcta posible.

Otros elementos de medida que se emplean en el riego de jardines son los **contadores** que permiten conocer el consumo de agua que se produce en una instalación. Los contadores se utilizan cada vez más para realizar programaciones de los riegos por volúmenes. Para ello se utilizan **contadores de impulsos**, que se conectan a los programadores, que enviarán la señal oportuna para cortar el riego, una vez que ha pasado la cantidad de agua programada.

MANÓMETROS

Los manómetros son los elementos que **se utilizan para medir la presión en distintos puntos de la instalación** y así poder detectar si algún componente está siendo sometido a presiones de trabajo superiores a las nominales o si por el contrario ésta no tiene presión suficiente para trabajar, o está sufriendo una gran *pérdida de carga* (por ejemplo un filtro demasiado sucio).

Los más utilizados son los **manómetros tipo Bourdon**. Su funcionamiento suele ser mecánico. Los intervalos de medida que presentan los distintos modelos de manómetros existentes en el mercado suelen ser diferentes, por lo que se debe elegir el tipo de manómetro en función del intervalo de presiones en que se va a trabajar.

En numerosas ocasiones lo que realmente interesa es conocer la **diferencia de presión entre dos o más puntos de la red**, como a la entrada y salida de los filtros para determinar el momento de su limpieza. Para ello se mide la presión en unos puntos de conexión rápida, o tomas manométricas, con el mismo manómetro para evitar la aparición de errores.



4.7. Emisores

Los emisores son los dispositivos de la instalación encargados de efectuar la **distribución del agua sobre la superficie de riego**. Una de las principales características de los emisores de riego es la forma de realizar el reparto del agua, bien de forma localizada mediante un goteo continuo, o generando una lluvia de gotas de agua de mayor o menor grosor, lo que definirá el tipo de sistema de riego al que pertenecen.

Un emisor debe cumplir ciertos requisitos para considerarlo de calidad, aunque no siempre sea posible el cumplimiento de todas a la vez. Estas características o requisitos son los que se muestran en el siguiente esquema:

REQUISITOS DESEABLES DE UN BUEN EMISOR	
▶	BUENA RELACIÓN CALIDAD / PRECIO
▶	CAUDAL UNIFORME (POCO SENSIBLE A LAS VARIACIONES DE PRESIÓN)
▶	ALTA UNIFORMIDAD DE FABRICACIÓN
▶	POCO SENSIBLE A OBTURACIONES
▶	RESISTENTE A LAS CONDICIONES DE TRABAJO
▶	FÁCIL INSTALACIÓN

Las principales características que debe suministrar el fabricante para cualquier tipo de emisor son:

- ▶ **Presión nominal:** presión a la que se diseña el emisor y a la que éste debería funcionar.
- ▶ **Caudal nominal:** caudal que proporciona el emisor cuando trabaja a la presión nominal.
- ▶ **Coefficiente de variación de fabricación:** dato indicativo de la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación de los emisores.



Además de estas características, si se trata de **emisores de riego localizado**, el fabricante deberá aportar otros datos como:

- ▶ **Diámetro mínimo de paso**, que indica la dimensión del paso más estrecho del agua en el interior del emisor
- ▶ **Régimen hidráulico**, que puede ser laminar o turbulento. Un emisor de régimen laminar es más sensible a variaciones de presión y de viscosidad y temperatura del agua, y más sensible a obturaciones.
- ▶ **Exponente de descarga (x)**, es un dato que indica la sensibilidad del emisor a las variaciones de presión. Si su valor está próximo a 1 se trata de un emisor con un régimen próximo al laminar, y por tanto sensible a las variaciones de presión. Si el valor de este exponente es 0,5 el emisor es de régimen turbulento. Los emisores autocompensantes tienen un valor de x menor de 0,2.
- ▶ En caso de goteros autocompensantes, el rango de presiones para el que lo son.

Para los **emisores de riego por aspersión**, otros datos suministrados por las casas comerciales son las características de las boquillas acoplables, con datos de presión, caudal y *alcance*.

EMISORES DE RIEGO LOCALIZADO

Goteros

Los goteros son los emisores de riego localizado más utilizados. Se trata de emisores de bajo **caudal** que, en condiciones normales aplican hasta 16 litros por hora, y trabajan a presiones próximas a 1 kg/cm². Se fabrican en materiales plásticos y se caracterizan por disipar la presión del agua en su interior, de forma que cuando llega al orificio de salida, **ésta sale gota a gota**. La pérdida de presión se consigue haciendo pasar el agua por una serie de conductos ondulados y sinuosos, como un laberinto, que recorren el interior de los goteros.

Según la forma en la que se encuentran colocados en las tuberías laterales, los goteros pueden ser:

- ▶ **Interlinea o insertados:** se instalan cortando la tubería e insertando el gotero.
- ▶ **Pinchados:** se insertan en un agujero previamente realizado a la tubería.
- ▶ **Integrados:** se ensamblan en la tubería durante el proceso de fabricación de la misma.



FOTO (1) CEDIDA POR TORO-RIEGO VERDE, S. A. (RIVERSA)

Figura 14. Goteros integrados, pinchados e interlinea.

Según las variaciones que se produzcan en el caudal emitido por la presión a la que se estén trabajando, los goteros pueden ser:

- ▶ **No compensantes:** el caudal cambia al variar la presión (a más presión más caudal).
- ▶ **Autocompensantes:** dentro de unos límites de presión, facilitados por el fabricante, el caudal apenas cambia. El intervalo de presiones para el que el gotero es compensante se conoce como intervalo de compensación.

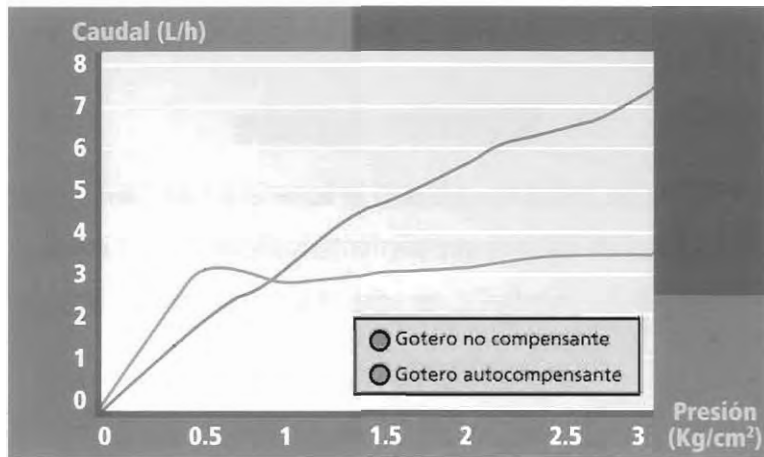


Figura 15. Representación gráfica de la variación de caudal con respecto a los cambios de presión, registrada en goteros autocompensantes y no compensantes.

La autocompensación se consigue gracias a una membrana elástica que, al aumentar la presión dentro del gotero, se deforma tapando parcialmente el orificio de salida, y limitando el caudal de salida. Cuando la presión disminuye, la membrana recupera su posición inicial, aumenta la sección de paso, manteniéndose así el caudal.

Los goteros que más se utilizan en jardinería suelen ser los integrados, ya que vienen instalados en la tubería, y los interlínea; los pinchados se suelen utilizar menos. Los autocompensantes, a pesar de presentar las mejores características para su uso, suelen utilizarse poco, al tener un precio hasta diez veces superior que los anteriores; sin embargo, su uso se hace imprescindible en los casos de pendientes por encima del 5% o de superficies con pendientes poco homogéneas.

Tuberías emisoras

Las tuberías emisoras **conducen y aplican el agua a través de unos orificios** practicados durante el proceso de fabricación **o a través de una pared porosa**, generando una **banda continua de humedad** en la zona donde son colocadas. Normalmente están fabricadas en polietileno. Las más utilizadas son las siguientes:

- **Tuberías perforadas**, son tubos en los que se realizan unos orificios espaciados de manera regular, por los que el **agua sale gota a gota, o en forma de pequeños chorros**, dependiendo de la presión de trabajo de la tubería. Suelen trabajar a presiones próximas a 1 kg/cm².

- ▶ **Tuberías goteadoras**, están formadas por dos elementos, la tubería, que conduce el agua, y un laberinto, en el que se produce la pérdida de presión, haciendo que el **agua salga en forma de gotas**. Tienen un funcionamiento análogo a los goteros, aunque un precio y duración menor.
- ▶ **Tuberías porosas o exudantes**, distribuyen el agua a través del material poroso empleado en su fabricación, creando una **banda de humedad completamente continua**. Suelen trabajar a presiones muy bajas, en torno a 0,1-0,3 kg/cm², y los caudales que suministran suelen ser menores que los de otros tipos de emisores de riego localizado. El principal inconveniente que presentan es la frecuencia de **obturación de los poros**, lo que da lugar a una uniformidad de riego inferior a la de otros emisores. Además, necesitan una superficie con una pendiente nula o casi nula para su correcto funcionamiento.



FOTO CEDIDA POR TORO-RIEGO VERDE, S. A. (RIVERSA)

Figura 16. Tubería exudante.

Borboteadores o inundadores

Los borboteadores se pueden incluir en el grupo de emisores de riego localizado ya que aplican el agua de forma localizada en pequeñas áreas, sin mojar la parte aérea de las plantas.

Se trata de un **riego por inundación**, por el que se llena de agua una superficie pequeña. Suelen trabajar a bajas presiones, entre 0,7 y 2,8 kg/cm², y aplican caudales comprendidos entre 0,9 y 7,6 l/min. Estas condiciones de trabajo dan lugar a **gotas de gran tamaño**, que no se evaporan fácilmente. Los orificios de salida de los borboteadores suelen presentar un diámetro mayor que los de otros emisores, por lo que son menos propensos a obturaciones.



Los borboteadores se utilizan principalmente para el **riego de alcorques**; también suelen utilizarse para regar arbustos, o macizos de rosales u otras flores.

EMISORES DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Aspersores

Los aspersores, se caracterizan por **distribuir el agua de riego en forma de lluvia** sobre la superficie de riego. Están formados por un cuerpo central y por una o más boquillas, por las que el agua sale a presión. Los aspersores realizan un **movimiento rotatorio** provocado por la presión del agua, que al salir moja una superficie más o menos circular, cuyo radio de alcance depende de la presión del agua y del tipo de boquilla.

El reparto del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme. Por este motivo, al diseñar del sistema de riego, es necesario situar los aspersores lo suficientemente próximos entre sí para que se produzca un *solape* de la zona mojada por cada uno de ellos.

La clasificación de los aspersores puede realizarse en función de diferentes características de los mismos. Así, **según el mecanismo de giro del aspersor**, se pueden clasificar en:

- **Aspersores de impacto:** son aquellos en los que el mecanismo de giro se consigue mediante el impulso del chorro de sobre un brazo oscilante, que se desplaza y vuelve a su posición original por la acción de un muelle. Al recuperar su posición original, el brazo golpea el cuerpo del aspersor provocándole un ligero giro. **Pueden disponer de una o varias boquillas**, en cuyo caso la que produce el chorro que incide sobre el brazo oscilante, se denomina boquilla motriz. Suelen ser de latón o bronce; también se fabrican en plástico resistente al desgaste por rozamiento.
- **Aspersores de turbina:** realizan un **giro continuo** gracias al paso del agua a través de un mecanismo de engranajes, unido al cuerpo del emisor. El giro continuo de estos aspersores hace que se consiga una distribución del agua más uniforme que con los de impacto. A pesar de tener un precio más elevado que los aspersores de impacto su uso está mucho más extendido para el riego de jardines.

Ambos tipos de aspersores se comercializan en tipo aéreo y emergentes, siendo estos últimos los más utilizados.



Según la **forma de colocar los aspersores en el terreno** de riego, éstos pueden ser:

- **Aspersores aéreos:** se colocan sobre tubos portaspersores o sobre patines. Apenas se utilizan en jardinería.
- **Aspersores emergentes:** se instalan enterrados y cubiertos por un protector metálico o de plástico, de forma que cuando comienza el riego, emergen debido a la presión del agua. Son muy utilizados en riego de jardines, ya que no son visibles.



FOTO CEDIDA POR TORO-RIEGO VERDE, S. A. (RIVERSA)

Figura 17. Aspersores de turbina emergente.

Otra posible clasificación de los aspersores es **según la geometría del área mojada**, en:

- **Aspersores circulares:** distribuyen el agua formando círculos sobre el área regada.
- **Aspersores sectoriales:** reparten el agua en sectores circulares, gracias a un mecanismo que los hace retornar a su posición inicial al alcanzar un ángulo determinado. Existen modelos regulables por el usuario (entre 0 a 360°) y modelos fijos con un ángulo preestablecido (270°, 180°, 90°, etc.).

Por último, **dependiendo de la presión de trabajo**, los aspersores pueden ser:

- **De baja presión:** trabajan a presiones de hasta 1,5 kg/cm², y radios mojados de hasta 12 m. Son los más utilizados en el riego de jardines.
- **De media presión:** trabajan con presiones comprendidas entre 1,5 y 4,5 kg/cm², alcanzándose radios mojados de 12 a 25 m. Se utilizan en grandes áreas y campos de deporte.



Difusores

Los difusores, igual que los aspersores **distribuyen el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo**, cubriendo sectores circulares que pueden llegar hasta los 360°. Se diferencian de los aspersores en varios aspectos: el principal es que carecen de elementos móviles; necesitan una menor presión para su funcionamiento; suelen arrojar una cantidad mayor de agua por metro cuadrado regado; y el radio de alcance es menor.

Como los aspersores, se suelen clasificar según su colocación sobre la zona de riego en **emergentes y aéreos**.

La posibilidad de intercambiar boquillas en este tipo de emisores, permite una gran versatilidad desde la pluviometría a las formas de distribución adaptables a geometrías muy variables. Los modelos con varias boquillas incorporadas mejoran sensiblemente el rendimiento cuando las condiciones son cambiantes en el jardín.

4.8. Dispositivos antivandálicos y arquetas encastradas

Los elementos que componen los sistemas de riego, especialmente los utilizados en jardinería pública, se encuentran sometidos al riesgo constante de sufrir manipulaciones indebidas, robos o sabotajes. Para luchar frente a este tipo de incidencias, se emplean los **dispositivos antivandálicos, que son sistemas de seguridad que dotan de cierta protección a los componentes de las instalaciones de riego**, y que se encuentran en algunos modelos existentes en el mercado.

Para la **protección de emisores**, sobre todo de aspersores y difusores, algunos de los sistemas de protección utilizados son los siguientes:

- ▶ Dispositivos en la base de los emisores para impedir su extracción.
- ▶ Protectores de los mecanismos de regulación de las boquillas que eviten el desajuste accidental o intencionado de éstas.
- ▶ Elevadores de acero inoxidable, que proporcionen resistencia a los emisores ante posibles golpes.

- ▶ Utilización de collarines en el cuerpo de los emisores.
- ▶ Uso de tapas protectoras con tornillo de seguridad.
- ▶ Sistemas que permitan la instalación de los emisores bajo el nivel del suelo, a escasa profundidad (1,5 cm).
- ▶ Tornillos de protección para fijar la cubierta al cuerpo del emisor.

El enterrado de los elementos de los sistemas de riego, como sucede en el caso de las tuberías integrales utilizadas para riego subterráneo localizado, o de los emisores emergentes en riego por aspersión, también proporciona cierta protección frente a actos vandálicos, ya que al no encontrarse visibles, disminuye el riesgo de que sufran daños intencionados.

Para la protección de llaves de paso, reguladores, válvulas, contadores, etc., suelen utilizarse **arquetas encastradas**. Se trata de pequeños receptáculos fabricados en materiales plásticos, como polipropileno, polietileno y PVC. Estas arquetas disponen de mecanismos de protección, como cerraduras o tornillos de seguridad, que permiten la fijación de la tapa de cierre a la arqueta, impidiendo el robo o la manipulación indebida de los elementos que contienen en su interior. Dentro de los modelos existentes, destacan las arquetas circulares y las rectangulares.

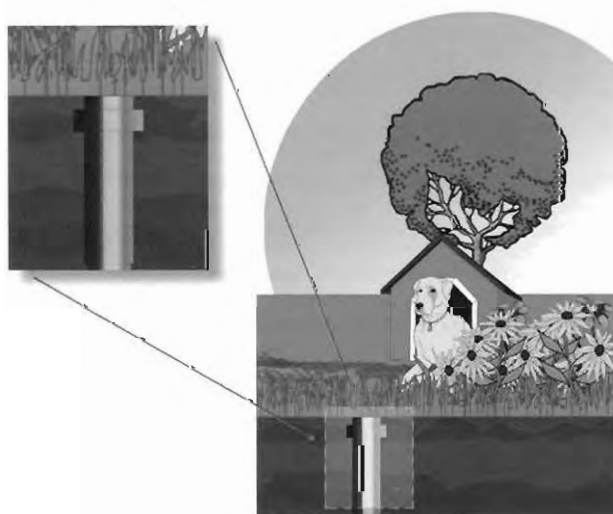


Figura 18. Los aspersores emergentes presentan cierta protección frente a actos vandálicos al permanecer enterrados mientras no se encuentran en funcionamiento.

4.9. Resumen

Los sistemas de riego más utilizados en jardinería son los de riego localizado y por aspersión. Los primeros se caracterizan por aplicar el agua de forma continua en la zona próxima a las raíces, bien sobre la superficie del suelo (riego superficial) o bajo éste (riego subterráneo). Los sistemas de riego por aspersión por su parte, aplican el agua en forma de lluvia sobre la totalidad de la superficie.

Los principales componentes de una instalación de riego son el cabezal, la red de distribución, los elementos singulares y los emisores. El cabezal de riego está formado principalmente por el equipo de filtrado, encargado de eliminar del agua todas las partículas en suspensión que puedan producir obturaciones en los emisores, y por el equipo de fertirriego con el que se aplican al agua los nutrientes que necesitan las plantas, y otras sustancias como productos fitosanitarios o de limpieza de la instalación.

La red de distribución conduce el agua desde la boca de riego hasta los emisores, a través de tuberías de distinta longitud y diámetro, fabricadas en PVC o en PE. El montaje de la red y su adaptación a la zona de riego se lleva a cabo mediante piezas especiales (acoples en "T", codos, tapones, etc.), y para su correcto funcionamiento se utilizan los elementos singulares. Los emisores son los encargados de la distribución del agua sobre la superficie de riego. En los sistemas de riego localizado los emisores que se utilizan son goteros, tuberías emisoras y borbotadores, mientras que en los de riego por aspersión se emplean aspersores y difusores.

Los elementos que forman parte de una instalación de riego pueden sufrir agresiones, manipulaciones y robos que afecten a su funcionamiento. Para su protección se utilizan sistemas o dispositivos antivandálicos, que dotan a los elementos de cierta protección ante posibles incidencias. Entre los más utilizados, se encuentran los destinados a la protección de los emisores y las arquetas encastradas.

AUTOEVALUACIÓN

- Un sistema de riego que aplica el agua de forma continua, con muy poca o nula presión, en la zona próxima a las raíces de las plantas, se denomina:
 - Riego por aspersión.
 - Riego por microaspersión.
 - Riego localizado.
 - Riego por nebulización.
- Indicar cuál de las siguientes afirmaciones no es cierta:
 - El riego localizado es el más adecuado para el uso de aguas depuradas.
 - El riego por aspersión es el más adecuado para el uso de aguas salinas.
 - Los nebulizadores se utilizan generalmente para crear ambientes húmedos en espacios cerrados.
 - El riego por aspersión es útil para dar riegos de socorro y en la lucha contra heladas.
- La principal diferencia entre aspersores y difusores es que los segundos carecen de elementos móviles para efectuar movimientos de rotación.

Verdadero/Falso
- En caso de disponer de agua procedente de una depuradora de aguas residuales urbanas para el riego de un jardín, en qué orden colocaría los elementos del cabezal de riego:
 - Hidrociclón, equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.
 - Filtro de arena, equipo de fertirriego y filtro de mallas o anillas.
 - Hidrociclón, filtro de arena y equipo de fertirriego.
 - Equipo de fertirriego y filtro de malla o anillas.
- ¿Qué tipo de unión utilizaría para conectar dos tuberías de PVC de diámetros inferiores a 60 mm?
 - Por encolado.
 - Mediante juntas elásticas.
 - Con maguitos.
 - Con racores.
- Los dispositivos que permiten establecer y mantener una presión determinada a partir del punto de la red en el que se instalan, se denominan:
 - Manómetros.
 - Ventosas.
 - Reguladores de presión.
 - Válvulas.
- Los emisores de riego localizado que se insertan en la tubería lateral durante el proceso de fabricación se denominan:
 - Goteros insertados.
 - Tuberías exudantes.
 - Goteros pinchados.
 - Goteros integrados.
- En un gotero autocompensante el caudal apenas cambia al variar la presión dentro de unos límites establecidos.

Verdadero/Falso
- Según el mecanismo de giro de los aspersores, éstos pueden ser:
 - De turbina y de impacto.
 - De baja y media presión.
 - Circulares y sectoriales.
 - Aéreos y emergentes.
- La protección de los elementos de los sistemas de riego sólo es posible si se procede a su enterrado.

Verdadero/Falso



5.2. Ventajas e inconvenientes de la automatización de los riegos. Sistemas de automatización

La posibilidad de realizar el riego de un jardín de forma automática supone numerosas ventajas para la persona encargada de éste, que podrá dedicar su tiempo a otras operaciones con la seguridad de realizar un adecuado control y manejo de la instalación de riego. Frente a estas ventajas, la automatización de una instalación de riego también presenta algunos inconvenientes, relacionados, sobre todo, con el aspecto económico.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Permite un mayor control y un mejor ajuste de las dosis de riego a aplicar. - Consigue una mayor eficiencia de riego, lo que se traduce en un ahorro de agua. - Reduce el empleo de mano de obra, al ser posible el control automático de determinados procesos durante los riegos, facilitando su ejecución y disminuyendo posibles errores humanos. - Permite la programación de otras operaciones relacionadas con los riegos, como son la limpieza de filtros y la fertirrigación. - Permite programar los riegos en las horas en las que la energía es más barata, dando lugar a una reducción de los costes. - Permite programar los riegos en los momentos de menor interferencia con el aprovechamiento y uso del jardín. - Facilita la realización del control de las anomalías que pudieran ocasionarse durante el funcionamiento del sistema, permitiendo al usuario la posibilidad de variar las condiciones de trabajo de los elementos de la instalación. - Permite el control de parámetros relacionados con la calidad química del agua aportada para evitar obturaciones y mejorar la nutrición de las plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Supone un incremento del coste de la instalación, que en algunos casos puede resultar poco rentable. - Requiere una formación adecuada por parte de los usuarios para poder realizar un uso correcto del sistema instalado. - Necesita, en la mayoría de los casos, energía eléctrica, lo que supone una limitación en zonas no electrificadas, además de un coste adicional, por consumo eléctrico y por la necesidad de instalar baterías o placas solares, que aseguren el funcionamiento en caso de un corte en el suministro eléctrico.

SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

El control automático de los riegos puede realizarse utilizando varios parámetros distintos: el **tiempo**, en este caso se habla de **automatización por tiempos**; el **volumen**, en el caso de **automatización por volúmenes**; y parámetros relacionados con el **agotamiento del agua en el suelo**, en la **automatización a demanda**.



Los sistemas de automatización por tiempos se basan en **la determinación y programación del tiempo de duración del riego**, para que el sistema suministre el volumen de agua necesario para el mantenimiento en condiciones óptimas del jardín. El cálculo del tiempo de riego se realiza en función de las necesidades de las plantas, del área mojada por los emisores y el caudal que éstos suministren (ver Unidad Didáctica 6). Una vez transcurrido este tiempo, se detiene la ejecución del riego.



Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 2. Programador por tiempos.

Por otro lado, en los sistemas de automatización por volúmenes se **programa el volumen de agua que el sistema debe aplicar en cada riego**. La cantidad de agua que se deberá aplicar corresponde con las *necesidades brutas* de la zona a regar (ver Unidad Didáctica 2). El riego no se detendrá hasta que no se haya aplicado la totalidad de la cantidad programada. Estos sistemas permiten **diversos niveles de automatización**, desde la apertura manual de las válvulas a las que previamente se les ha fijado la cantidad de agua que deben dejar pasar durante el riego, hasta los que emplean equipos más sofisticados, con programadores que permitan realizar todas las operaciones de forma automática.

Ambos sistemas no sólo se diferencian en los parámetros empleados para llevar a cabo la programación de los riegos, sino también en la forma de realizarla y en los equipos que utilizan. En este sentido, **los sistemas de automatización por tiempos son más cómodos y fáciles de manejar**, ya que para la programación basta con indicar en el *programador* la hora de inicio y de finalización del riego. Por su parte, los sistemas de automatización por volúmenes requieren, la determinación de la hora de comienzo del riego y del volumen de agua que ha de circular por cada válvula. En los niveles de automatización más básicos, esto se hará de forma manual, y a medida

que se avanza de nivel, la programación puede hacerse con un programador, una *consola de programación*, o un ordenador.

En la actualidad, a la hora de programar los riegos de parques, jardines, campos de deporte, etc., **la automatización por tiempos es la más utilizada**. Sin embargo, **si se desea realizar un aporte de agua lo más adecuado posible**, en función de las necesidades brutas de las plantas a regar, **se debe realizar una programación por volúmenes**. El motivo es tan sencillo como que la programación por tiempos **no garantiza el suministro completo del agua** que se debe aportar, ya que pasado el tiempo establecido el riego se detiene. Si durante su ejecución surge alguna incidencia, como una reducción de la presión de trabajo del sistema o del caudal circulante por el mismo, la cantidad de agua aplicada será inferior a la prevista.

Además, la existencia en el mercado de equipos como *electroválvulas*, que permiten la medición del caudal circulante, y de programadores adecuados, que posibilitan la realización de una programación cómoda y sencilla de los volúmenes de agua a aportar por el sistema, está contribuyendo a que este tipo de automatización se vaya implantando en las instalaciones de riego de jardines.

El riego a demanda basa su funcionamiento en la colocación de sensores en lugares clave de la zona a regar. Cuando se sobrepasan los niveles establecidos de agotamiento de agua en el suelo, el programador recibe una señal e inicia la sesión de riego. La finalización se puede determinar por parámetros volumétricos o por otro *sensor* colocado en el nivel inferior del suelo en el límite del perfil que se quiere mojar. Su implantación en jardinería tropieza con la dificultad de resolver problemas de temporalidad, es decir, no accionar el riego en el momento exacto de producirse la demanda, sino contemplar la oportunidad de realizarlo en función a otros horarios no coincidentes con los usos del jardín. Esto es esencial en riegos por aspersión que pueden mojar espacios ocupados por personas o producir derivas incómodas para el disfrute del jardín.

5.3. Elementos utilizados en los sistemas de automatización

Los elementos más básicos que se utilizan en los sistemas de automatización son las **electroválvulas** y los **programadores**. Pero junto a éstos, y a medida que el nivel de automatización



de la instalación aumenta, pueden emplearse otros equipos que permitan la programación de otras actividades relacionadas con el riego, como la fertirrigación, o la limpieza de los filtros.

En el mercado existe una amplia gama de electroválvulas, de programadores, y de otros elementos utilizados en la automatización de una instalación de riego, lo que puede dificultar la elección del equipo más adecuado. En caso de dudas se debe recurrir al consejo y a la opinión de una persona experta en el tema, y elegir el modelo que más se adecue a la instalación que se quiera automatizar, sin olvidar que en la mayoría de los casos lo mejor no es lo más caro.



Figura 3. Distintos modelos de programadores y electroválvulas.

AUTOMATIZACIÓN POR TIEMPOS

Electroválvulas

Las **electroválvulas**, también conocidas como válvulas solenoide, son dispositivos que controlan la circulación del agua en función de una serie de impulsos eléctricos enviados desde el programador de riego. Se componen principalmente de dos elementos: un **diafragma**, que permite o impide el paso del agua a través de la electroválvula, y un **solenoid**, que recibe los impulsos eléctricos, y que a su vez acciona la apertura o el cierre de la membrana.

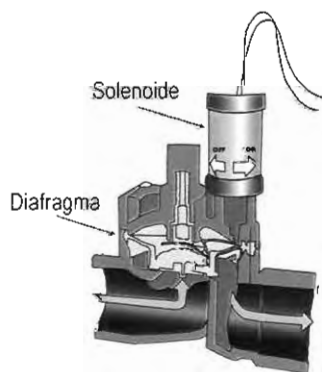


Figura 4. Representación esquemática de una electroválvula



Según su funcionamiento, pueden distinguirse dos modelos de electroválvulas: normalmente abiertas y normalmente cerradas. Una electroválvula es **normalmente abierta** cuando el impulso eléctrico que actúa sobre ella provoca el cierre del diafragma, y es **normalmente cerrada**, cuando este impulso provoca su apertura. La utilización de un modelo u otro va a depender de la duración de los riegos, de forma que si son de larga duración, se recomienda el uso de electroválvulas normalmente abiertas, mientras que si son riegos cortos, se deben utilizar las normalmente cerradas.

Las electroválvulas consumen energía durante todo el tiempo de funcionamiento. Esto puede suponer una limitación, por ejemplo, en el caso de zonas verdes donde la disponibilidad de energía eléctrica no sea suficiente para el abastecimiento del sistema de automatización. En estos casos se pueden utilizar **electroválvulas LACH**, que sólo consumen energía durante el acto de apertura y cierre de la misma, y que además pueden funcionar con baterías o pilas.

Las electroválvulas se localizan **a la entrada de cada sector de riego**, y deben colocarse en el interior de una **arqueta encastrada**, que las proteja de la acción de agentes externos y de posibles manipulaciones indebidas. Es recomendable rellenar el interior de las arquetas con **grava** para que en caso de producirse una fuga, el agua pueda drenar con facilidad evitando que las electroválvulas se inunden.



Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 5. Electroválvula en el interior de una arqueta. Se puede observar el interior cubierto con grava.

Arriba de las electroválvulas se recomienda la instalación de una **llave de paso** que permita, en caso de que se produzca algún tipo de avería, el control del sector de riego de manera manual.

Programadores

Los **programadores** son los elementos encargados de dirigir el *sistema de automatización* de una instalación de riego. En general, se encargan de la apertura y cierre de las electroválvulas, aunque también se podrían programar para la puesta en marcha y parada de otros equipos, como las bombas y los *inyectores* de fertilizante, o para realizar la limpieza de los filtros. Según la fuente de alimentación, los programadores pueden funcionar con energía eléctrica, con energía solar o a pilas.



Foto (1) cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)



Figura 6. Programador a pilas (a la izquierda) y programador alimentado por corriente eléctrica.

Una característica de los programadores es que pueden tener una o varias estaciones, es decir, una o varias salidas con las que alimentar una o más electroválvulas o cualquier otro elemento del sistema. Esto significa que con un solo programador pueden controlarse más de un sector de riego del jardín. Además, algunos modelos **pueden alimentar más de una electroválvula por estación**, esto significa que con un programador con una sola estación capaz de alimentar dos electroválvulas, se podrían controlar dos sectores de riego distintos.

La variedad de programadores existente en el mercado es muy amplia, lo que da lugar a un gran abanico de posibilidades a la hora de introducir los datos de programación, hora de inicio, duración del riego, hora de finalización, días que se desea regar, etc. En cuanto a la determinación de los días de riego, los programadores convencionales permiten señalar los días que se desea regar o los que no, dentro de una semana. Para realizar una programación de los riegos con carácter mensual o anual, se debe recurrir al uso de ordenadores con programas específicos para ello.



Tipos de programadores

En la programación por tiempo de riego se distinguen principalmente los siguientes tipos de programadores:

- ▶ **Programadores horarios con mandos mecánicos:** van dotados de un reloj, que permite el establecimiento del tiempo de riego, y de una serie de mandos e interruptores para determinar el orden de apertura y cierre de los equipos conectados a los canales de salida, en caso de tener más de uno.
- ▶ **Programadores digitales por tiempo:** son un poco más complejos que los anteriores. Constán de un reloj digital, que permite el almacenamiento de los datos de programación en caso de que falle la alimentación eléctrica del equipo. Disponen de varias salidas, para establecer el control del riego, de los *fertilizantes* y la limpieza de los filtros.
- ▶ **Programador digital por tiempo con registro de caudal:** son similares a los anteriores, pero incorporan un contador de *caudal* instantáneo, que permite la medición del volumen de agua y fertilizantes aportados, así como los valores totales acumulados. Cuentan también con entradas de alarma que, al recibir información de anomalías a través de *sensores* presentes en la instalación, detienen el funcionamiento del sistema.
- ▶ **Programador a pilas con o sin válvula incorporada:** dispone de un dispositivo electrónico que le permite controlar la apertura y cierre de la *válvula*. Los hay de dos clases, aquellos que pueden ser programados mediante un pulsador, o los de programación mediante teclado. Ambos son de fácil manejo y de bajo consumo eléctrico (con la carga de una pila pueden funcionar de 1 a 2 años).
- ▶ **Programador a pilas con salidas a válvulas LATCH:** presentan varias salidas de 12 voltios para el control de válvulas LATCH.

Para el adecuado funcionamiento de los **programadores** se requiere un **emplazamiento cubierto, sin humedad**, de **fácil acceso** y **protegidos frente a la acción de agentes desfavorables**. A excepción de los programadores a pilas, los programadores suelen ir conectados a la **red eléctrica**, por lo que se deben instalar en las proximidades de una toma de corriente. Como para su funcionamiento requieren **tensiones bajas (12 ó 24 voltios)**, necesitan de un **transformador eléctrico** que reduzca la tensión procedente de la red a valores adecuados. En caso de que el programador no disponga de transformador interno, habrá que conectarlo a uno exterior para que lleve a cabo dicha reducción.



Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 7. Los programadores suelen instalarse en el interior o a la intemperie, en una caja.

En el caso de los **programadores a pilas**, éstos suelen colocarse en las **arquetas** donde se disponen las electroválvulas que controlan.

AUTOMATIZACIÓN POR VOLÚMENES

Los elementos utilizados en automatización por volúmenes, varían en función del nivel de automatización alcanzado en la instalación. Los sistemas que presentan un nivel más bajo, emplean fundamentalmente **válvulas hidráulicas y volumétricas** para el control del agua aplicada durante los riegos. A medida que el nivel de automatización va aumentando, se utilizan **sistemas con programadores y electroválvulas**, parecidos a los empleados en automatización por tiempos, pero dotados con mecanismos que permitan programar en función del caudal aplicado.

Válvulas hidráulicas

Las **válvulas hidráulicas** son dispositivos que abren o cierran el paso del agua mediante el accionamiento de un pistón, cuando éste recibe una señal de naturaleza hidráulica. Las válvulas hidráulicas se denominan **normalmente abiertas**, cuando impiden el paso del agua al recibir la señal, y **normalmente cerradas**, en caso contrario.

Válvulas volumétricas

Las **válvulas volumétricas** son **válvula hidráulica que llevan incorporadas un contador tipo Woltmann**. Cuentan con un **selector** donde se marca de manera manual la cantidad de agua que se pretende que pase por la válvula, de forma que una vez contabilizado dicho volumen, el



contador transmite una señal a la válvula hidráulica, que cierra el paso del agua. Durante su funcionamiento puede modificarse la cantidad de agua que debe pasar a su través, e incluso es posible su cierre manual si se desea.

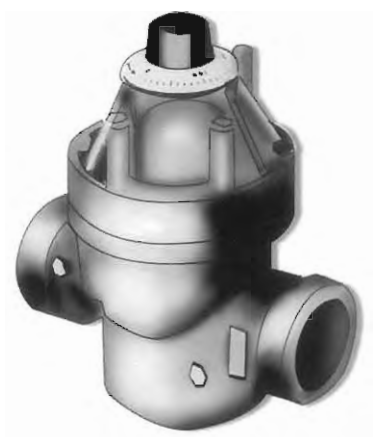


Figura 8. Válvula volumétrica.

Electroválvulas

Las **electroválvulas** utilizadas en automatización por volúmenes a diferencia de las utilizadas en la programación por tiempos, disponen de un **contador volumétrico**, encargado de transmitir impulsos a un programador, en el que previamente se habrá indicado el valor en volumen de cada impulso. De esta manera se tiene una medida del volumen circulante por el interior de la electroválvula, que se cerrará tras una señal del programador, en el momento que haya pasado a su través el volumen de agua programado.

Programadores

Los programadores presentan características muy parecidas a los utilizados en automatización por tiempos, ya que generalmente se encuentran **preparados para poder funcionar en ambos tipos de sistemas**, al contar con programas que permiten elegir el tipo de automatización a realizar.

Además del control de la cantidad de agua aplicada, algunos de estos modelos incorporan programas que permiten llevar a cabo el **control volumétrico de las dosis de fertilizantes** empleadas y la **limpieza de los filtros** cuando sea necesario.

5.4. Cálculo de la sección del cable de conexión

En las instalaciones de riego automatizadas, programadores y electroválvulas se unen, en general, a través de cables eléctricos. La **circulación de la corriente eléctrica** a través de estos **cables de conexión**, puede producir un excesivo **calentamiento** de los mismos. Para evitarlo, es necesario dimensionarlos de manera que la **sección mínima** del cable sea tal que resista dicho calentamiento, necesitando para ello una sección de mayor tamaño a medida que circule más corriente por su interior.

El cable que se utiliza para la conexión entre el programador y las electroválvulas normalmente es de cobre y el cálculo de su sección se calcula utilizando una de las siguientes expresiones, en función de los datos disponibles.

a) Si se conoce la intensidad o consumo al arranque del solenoide:

$$\text{Sección (mm}^2\text{)} = 0,036 \times \frac{\text{Longitud del cable (metros)} \times \text{Intensidad (=Consumo al arranque) (Amperios)}}{\text{Caída de tensión máxima (Voltios)}}$$

$$S(\text{mm}^2) = 0,036 \times \frac{L(\text{m}) \times I (\text{A})}{e (\text{V})}$$

b) Si se conoce la potencia consumida por el solenoide de la electroválvula:

$$\text{Sección (mm}^2\text{)} = 0,036 \times \frac{\text{Longitud del cable (metros)} \times \text{Potencia consumida (Vatios)}}{\text{Tensión de apertura de la electroválvula (Voltios)} \times \text{Caída de tensión máxima (Voltios)}}$$

$$S(\text{mm}^2) = 0,036 \times \frac{L(\text{m}) \times P(\text{w})}{V(\text{V}) \times e(\text{V})}$$

La caída de tensión debe ser como máximo de un 20% de la tensión de apertura de la electroválvula, que tendrá un valor de 12 ó 24 voltios, es decir se considerará una caída de tensión máxima de 2 V o de 5 V, según el caso.

Una vez calculada la sección del cable, se instala la sección comercial inmediatamente superior a la calculada. En el mercado se encuentran cables de cobre con secciones, en mm², de 0,5; 0,75; 1, 1,5; 2; 2,5; etc.



ejemplo

Calcular la sección mínima que debe tener el cable de conexión entre el programador y la electroválvula necesarios para automatizar el riego de un jardín, sabiendo que la distancia entre ambos elementos es de 500 m, que el consumo al arranque del solenoide es de 0,3 A y que se trata de una válvula con una tensión de apertura de 24 V.

Solución

Puesto que el dato disponible es el del consumo de arranque del solenoide, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de la sección mínima del cable:

$$S = 0,036 \times \frac{L \times I}{e} = 0,036 \times \frac{500 \times 0,3}{5} = 1,08 \text{ mm}^2$$

En este caso, la sección comercial de cable que habría que instalar es de 1,5 mm².

En el caso de un *programador* capaz de alimentar más de una *electroválvula* por estación, funcionando simultáneamente, el cálculo de la sección del cable se calcula de manera muy similar a la explicada. La única diferencia está en la longitud del cable que se considera. En este caso hay que calcular una longitud equivalente que es función del número de electroválvulas alimentadas desde una misma estación, y ese dato es el que se introduce en cualquiera de las dos fórmulas anteriores.

ejemplo

Calcular la longitud equivalente del cable que une un programador con una estación capaz de alimentar tres electroválvulas, funcionando al mismo tiempo, situadas a 200, 300 y 600 metros del programador, tal y como se muestra en la figura.

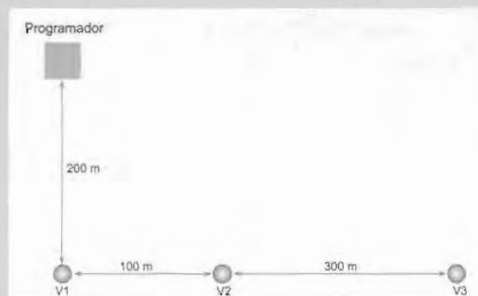


Figura 9.

Solución

El cálculo de la longitud del cable se realiza comenzando por la electroválvula más alejada del programador:

$$\text{Longitud equivalente} = (1 \text{ válvula} \times 600 \text{ m}) + (2 \text{ válvulas} \times 300 \text{ m}) + (3 \text{ válvulas} \times 200 \text{ m}) = 600 \text{ m} + 600 \text{ m} + 600 \text{ m} = 1800 \text{ m}$$

5.5. Sistemas sin hilo

La conexión entre un programador de riego y una electroválvula no siempre es posible realizarla mediante un cable eléctrico, bien porque se encuentren muy distanciados entre sí, porque estén situadas en una zona de difícil acceso, o porque la disponibilidad de energía eléctrica en la zona no sea la suficiente como para permitir el funcionamiento del sistema.

En los casos en los que la energía eléctrica sea una limitación para automatizar una instalación de riego, se pueden utilizar los llamados sistemas sin hilo. En estos sistemas tanto el programador como la electroválvula pueden funcionar a pilas, y además **no necesitan conectarse mediante un cable eléctrico**. La comunicación entre ambos equipos se realiza a través de **ondas de radio** o **por vía telefónica**. Actualmente el control remoto por radio se utiliza más que vía teléfono ya que el coste de estos sistemas es menor.

Entre las **ventajas** que presentan estos sistemas, destacan la **facilidad de instalación**, al no requerir la excavación de zanjas para el enterrado de los cables de conexión, y el **bajo consumo eléctrico** que precisan los elementos que los componen.

Existen **sistemas sin hilo** formados por una programador de riego, un equipo de transmisión de señales, un equipo receptor, y una electroválvula. El programador de riego, conectado al equipo de transmisión, envía la señal eléctrica que ha de abrir o cerrar la electroválvula. El equipo transmisor la transforma y la envía en forma de ondas de radio al receptor de señales, que a su vez las transforma en impulsos eléctricos, y los envía a la electroválvula, que ejecutará la orden enviada por el programador.

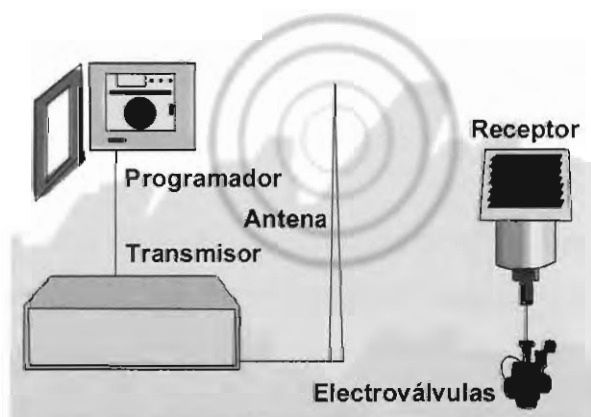


Figura 10. Representación esquemática de un sistema por ondas.



En el caso de un programador con más de una salida para distintas estaciones, el sistema necesitará un equipo de transmisión capaz de enviar señales a más de una estación y a tantas electroválvulas como estaciones puedan controlar el programador y el transmisor de señales.

Otros sistemas *sin hilo* utilizan **consolas de programación**, que no son más que pequeños teclados, del tamaño de un mando a distancia, con los que introducir los datos de programación. Los datos se pueden enviar a un *programador* o directamente a una electroválvula que lleve un solenoide programable, en cuyo caso no haría falta el programador. La transmisión de estos datos puede realizarse a través de un cable, por rayos infrarrojos o por ondas de radio. La necesidad de la consola de programación para modificar o introducir los datos evita la manipulación de los mismos, que quedan protegidos de cualquier acto vandálico. Además, con estos sistemas la programación se realiza de manera sencilla, ya que en el caso de la transmisión por ondas, ni siquiera es necesario abrir las arquetas que guardan programadores y electroválvulas.



Foto cedida por Nelson-Intermark Málaga, S.L.

Figura 11. Automatización del riego utilizando una consola de programación.

En el caso de utilizar consolas de programación para introducir los datos en un programador, el tipo que se utiliza es un **programador multiestación** especialmente diseñado para conectarse con dicha consola, con el que se pueden controlar varios *sectores de riego*. Una vez que el programador recibe los datos, los transmite hasta las distintas electroválvulas que pueda controlar utilizando un transmisor y un receptor de señales, similar al descrito anteriormente.

5.6. Programación integral del riego

La automatización de una instalación de riego no sólo permite la programación del tiempo de riego o del volumen de agua a aplicar en cada uno. Los *sistemas de automatización* han evolucionado hasta el punto de poder realizar de forma automática numerosos procesos, bajo lo que se conoce como **programación integral del riego**, entre los que destacan:

- ▶ La programación del riego según la demanda del cultivo.
- ▶ La fertirrigación.
- ▶ La limpieza de los filtros.
- ▶ La detección de anomalías en la instalación mediante el empleo de alarmas.
- ▶ El control de parámetros químicos del agua (pH y conductividad).

Para poder alcanzar este nivel de automatización se utilizan las llamadas **máquinas de riego**. Su uso está más extendido en cultivos hidropónicos y en invernaderos, aunque poco a poco se está tratando de introducir en instalaciones de riego de grandes zonas verdes, con un elevado número de sectores de riego. Sin embargo, el elevado precio de estos equipos hace que su uso esté restringido a plantas con un elevado valor económico.

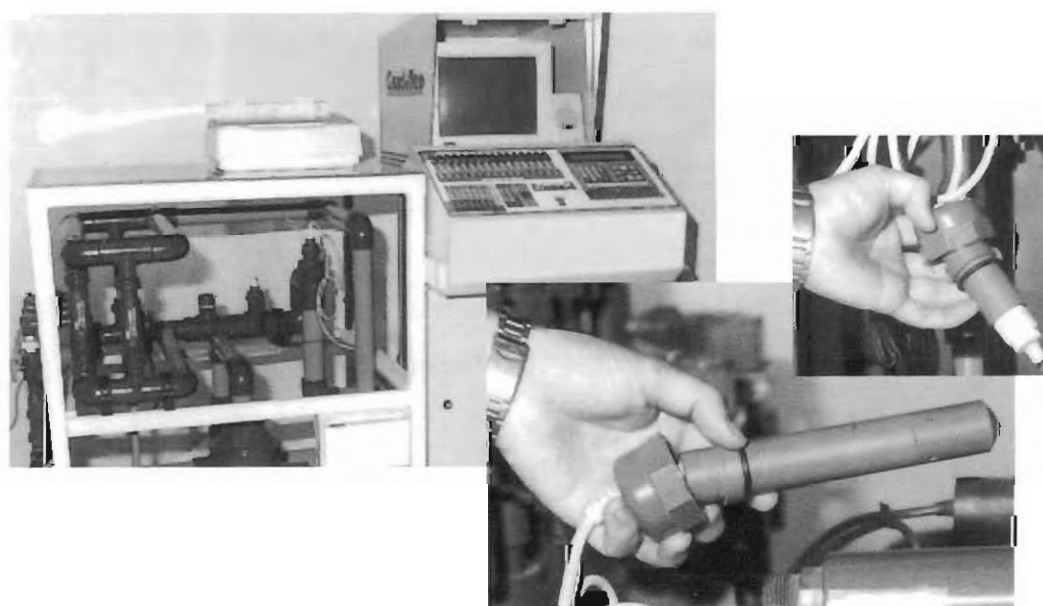


Figura 12. Máquina de riego y sensores.

Para la **programación del riego** es necesario instalar **medidores del contenido de humedad en el suelo**, por ejemplo tensiómetros, TDR o sondas de neutrones. La máquina pondrá en funcionamiento el riego una vez que la humedad del suelo descienda por debajo de un determinado nivel, previamente establecido, hasta que se vuelva a alcanzar otro nivel también establecido.

Las máquinas de riego llevan incorporado un equipo de fertirriego, lo que permite **programar la dosis de fertilizante** a aplicar con el agua de riego. Para el adecuado control de la *fertirrigación* también se requiere la instalación de sensores de pH y de la *conductividad eléctrica (CE)*, que den información acerca de la acidez y de la salinidad de la solución nutritiva. De esta forma, si los valores de pH y CE no son los adecuados, la máquina de riego procederá automáticamente a la regulación de estos parámetros, aportando ácido a la solución para rebajar el pH, o reduciendo la dosis de fertilizante en caso de que los niveles de salinidad sean elevados. Además, estos sistemas llevan incorporados unos contadores que permiten **conocer la cantidad de fertilizantes aportada** en cada momento, así como la cantidad total aplicada.

La programación integral del riego también permite **automatizar la limpieza de los filtros**, de tres formas distintas: por tiempos, por volúmenes, o por *pérdida de carga* en la red. En el primer caso se programa la fecha en que se pretende realizar la limpieza, de forma que al llegar ésta, comience el proceso. En el segundo caso la limpieza comenzará una vez que haya circulado por los filtros un volumen de agua previamente programado. Para automatizar la limpieza según la pérdida de carga que se produzca entre la entrada y la salida de los filtros se necesitan *manómetros* digitales que envíen información a la máquina de dicha pérdida de carga. Una vez alcanzado valor previamente programado, se inicia el proceso de limpieza.

Por último, las máquinas de riego, permiten la **detección de posibles anomalías** que pudieran ocasionarse durante el funcionamiento del equipo, gracias a unos sistemas de alarma que informan cualquier incidencia o valor extraño que envíen los sensores. En los modelos más sofisticados el aviso de las incidencias se realiza a través de **mensajes a teléfonos móviles**.

El control del funcionamiento de las máquinas de riego, la configuración de los parámetros que controla, o la modificación de alguno de ellos puede realizarse desde un ordenador conectado a la máquina y con un programa informático específico. De igual forma se puede obtener información de todos los aspectos relacionados con el riego (volúmenes de agua aportados, abonado, averías, etc.) a través del ordenador.

5.7. Resumen

La utilización de automatismos facilita la práctica de los riegos, al permitir el control automático de una parte o de todos los procesos que componen la ejecución de éstos, dependiendo del grado de automatización del sistema.

La programación de los riegos puede realizarse por tiempo o por volúmenes, según se determine el tiempo que debe durar cada riego, o el volumen de agua a aplicar en cada riego, respectivamente. Los elementos básicos para automatizar un sistema de riego son los programadores y las electroválvulas, de los que existen en el mercado un sinfín de modelos que permiten distintos niveles de automatización.

Los programadores pueden funcionar con distintas fuentes de energía, eléctrica, solar o a pilas, lo que permite automatizar jardines sin suministro eléctrico o zonas de difícil acceso. Además, con los sistemas sin hilo, que conectan programadores y electroválvulas por control remoto, se evita la realización de zanjas y el cableado del jardín que se desee automatizar.

Con los sistemas de programación integral, pueden conseguirse los mayores niveles de automatización posibles dentro de las instalaciones de riego. El uso de máquinas de riego conectadas a sensores, que suministran información sobre las condiciones ambientales existentes en el área regada o sobre la calidad de la solución nutritiva aportada, permiten la regulación automática de los parámetros de riego implicados, en caso que sea necesario.



AUTOEVALUACIÓN

1. Indique cuál de las siguientes afirmaciones se considera un inconveniente de la automatización del riego:

- a) La automatización permite un mayor control y ajuste de la dosis de riego.
- b) Los equipos necesarios para programar un riego necesitan, en la mayoría de los casos, energía eléctrica para su funcionamiento.
- c) La automatización permite programar los riegos en las horas en las que la energía es más barata.
- d) El uso de automatismos permite el control de otras operaciones del jardín, además del propio riego.

2. Los sistemas de automatización más utilizados hasta el momento para el riego de jardines se basan en la programación del volumen de agua a aplicar durante el riego.

Verdadero/Falso

3. La automatización por volúmenes se basa en:

- a) La programación de la hora de inicio y finalización de un riego.
- b) La programación del tiempo de duración de los riegos.
- c) La programación del volumen de agua a aplicar en cada riego.
- d) La programación del riego en función de la información enviada al programador por unos sensores instalados en la zona de riego.

4. Cuando el impulso eléctrico que actúa sobre una electroválvula provoca su apertura, se denomina:

- a) Electroválvula LACH.
- b) Electroválvula normalmente cerrada.
- c) Electroválvula normalmente abierta.
- d) Electroválvula abierta y cerrada.

5. Los programadores deben instalarse en lugares cubiertos, sin humedad, de fácil acceso y protegidos de cualquier agente desfavorable.

Verdadero/Falso

6. Los elementos utilizados en la programación por volúmenes, varían según el nivel de automatización, siendo los más utilizados:

- a) Sensores, programadores y consolas de riego.
- b) Válvulas hidráulicas, válvulas volumétricas y sensores de humedad.
- c) Válvulas hidráulicas, electroválvulas y programadores.
- d) Válvulas hidráulicas, válvulas volumétricas, electroválvulas y programadores.

7. Los llamados sistemas sin hilos se instalan en general:

- a) Cuando el programador y las electroválvulas están situados a corta distancia.
- b) En jardines particulares situados en la periferia de una ciudad.
- c) En los jardines en los que la energía eléctrica sea una limitación para la automatización.
- d) En los campos de deporte.

8. La programación integral del riego utiliza las llamadas máquinas de riego para poder realizar de forma automática procesos como el riego, la fertirrigación, la limpieza de los filtros, o la detección de anomalías en la instalación.

Verdadero/Falso

6.1. Introducción

El diseño de las instalaciones de riego de jardines debe permitir que el sistema aporte a las plantas el volumen de agua necesario para que éstas cubran sus necesidades, preservando al máximo la estética del jardín y sin que el coste de la instalación y mantenimiento sea excesivo. El proceso de diseño comienza con la **recopilación de información de tipo agronómico** relacionada con el tipo de suelo del jardín, la cantidad y calidad del agua de riego disponible, el clima reinante en la zona y las especies que compondrán la zona a regar. Todas estas características permiten **determinar las necesidades hídricas de las plantas, la disposición de los emisores en la instalación, y la frecuencia y el tiempo de riego necesarios** para cubrir dichas necesidades.

A continuación se procede al **diseño hidráulico de la instalación de riego**, en el que se calculan las dimensiones de los elementos que formarán parte de ésta. Durante el diseño se determinan **los diámetros de las tuberías de la red de distribución, los caudales** que circularán por éstas y **las presiones** alcanzadas en las mismas, así como **el sistema de bombeo y el tipo y dimensiones de los componentes del cabezal**.

6.2. Número, caudal y disposición de los emisores de riego localizado

En los sistemas de riego localizado el agua se aporta sólo a una parte del suelo, la más próxima a las raíces, por lo que previo a la elección del número, caudal y disposición de los emisores, se debe establecer un **volumen de suelo mínimo mojado** por éstos, que permita el desarrollo adecuado de las plantas y su anclaje al suelo, ya que si este volumen es muy reducido las raíces

que se concentren en él no lograrán absorber una cantidad de agua suficiente. Desde la perspectiva del diseño de las instalaciones de riego, el concepto de volumen de suelo humedecido se sustituye por el de **porcentaje de suelo mojado (P)**, que se corresponde con el porcentaje de superficie mojada por los emisores, en relación al área total a regar.



Figura 1.

El valor del porcentaje de suelo mojado se puede estimar en función de la densidad de las plantas a regar, del clima de la zona y del tipo de suelo. Teniendo en cuenta estos factores, unos **valores orientativos del porcentaje de suelo mojado** son los siguientes:

- ▶ Vegetación poco densa: 25-35%.
- ▶ Vegetación con densidad media: 40-60%.
- ▶ Vegetación muy densa: 70-90%.

En los tres casos los porcentajes varían entre el valor inferior y el superior del intervalo a medida que el clima es más árido y cuanto más ligera (arenosa) sea la *textura* del suelo.

La elección del porcentaje de suelo mojado (P) es importante para la seguridad del sistema, ya que a medida que se humedece un mayor volumen de suelo, las raíces se extienden más por su interior y presentan mayores posibilidades de supervivencia ante posibles averías de la instalación o en situaciones de *evapotranspiración* elevadas, favoreciendo, además,

el anclaje de las plantas al suelo. Pero también hay que tener en cuenta que **si se eligen valores elevados de P, los costes de la instalación aumentan**, ya que será necesario el uso de un mayor número de emisores y de tuberías de diámetro más elevado.

El número y disposición de los emisores de riego localizado dependerá del porcentaje de suelo mojado, de su textura y del tipo de planta que se vaya a regar, así como de su marco de plantación. En este sentido, los emisores pueden disponerse de tal manera que formen una **banda continua de humedad**, o bien un **bulbo húmedo** alrededor de la planta.

La disposición de los emisores para formar **bandas continuas de humedad** suele emplearse para el riego de **zonas de una elevada densidad de plantas**, el las que se desea conseguir un alto porcentaje de suelo mojado, como es el caso de setos, macizos o parterres de flores, y para el riego de zonas de césped mediante tuberías enterradas. La disposición típica del riego es una tubería lateral por cada línea de plantas, con un elevado número de emisores situados a corta distancia unos de otros (entre 20 y 40 centímetros) para mojar franjas continuas que coincidan con las líneas de plantas. En este tipo de disposición es fundamental que se produzca un **solape de los bulbos húmedos**, en primer lugar para conseguir el efecto de continuidad deseado, y además para evitar que queden plantas entre dos bulbos húmedos donde existe unas condiciones de mayor salinidad y menor humedad. Con la utilización de *tuberías exudantes* también pueden conseguirse franjas húmedas continuas.



Figura 2. Tubería lateral de goteo bajo una fila de rosales.

Un inconveniente de instalar un lateral de riego por cada línea de plantas para conseguir bandas de humedad es que se necesita gran cantidad de material, lo que puede suponer un coste elevado de implantación y una dificultad añadida para la ejecución de labores de mantenimiento del jardín. Por este motivo, en muchas ocasiones se recurre al uso de una tubería lateral por cada dos filas de plantas, para reducir costes, siempre que el tipo de suelo lo permita.

La disposición de los emisores para **formar bulbos húmedos** en la zona próxima a las raíces de las plantas se utiliza en aquellas zonas del jardín con una densidad de plantas baja o media, que generalmente coincide con la zona de árboles.

En el caso de riego de árboles, para evitar pérdidas por *evaporación*, conviene situar los emisores bajo la copa de los mismos. De igual forma, para disminuir las pérdidas por *filtración profunda* y aumentar así la eficiencia del sistema, es conveniente instalar más de un emisor por árbol, un número tal que no suponga un incremento notable en los costes de la instalación, pero siempre teniendo en cuenta que para un mismo porcentaje de suelo mojado "P", en suelos sueltos (arenosos) se necesitará un mayor número de emisores que para un suelo pesado (arcilloso). Por otra parte, la disposición de los emisores en los árboles, debe **favorecer el anclaje de las raíces y permitir su desarrollo en todas direcciones**, garantizando un buen soporte, por lo que las posiciones más frecuentes son las que se indican en la siguiente figura:

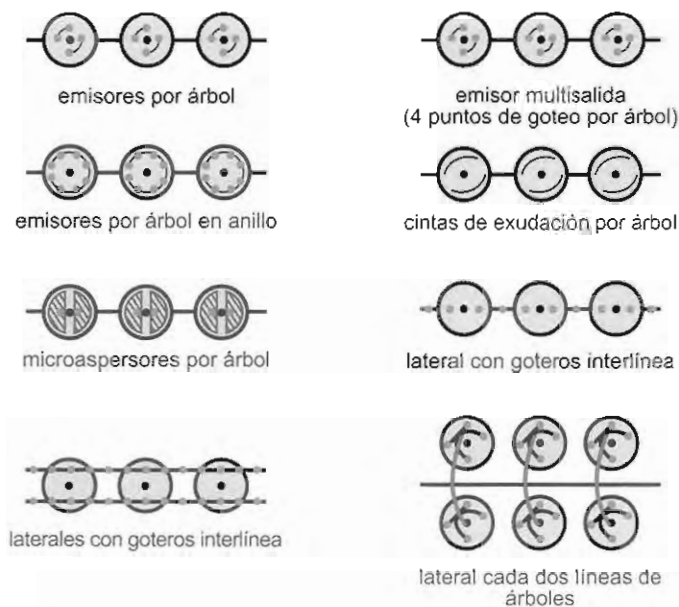


Figura 3. Disposiciones frecuentes de los emisores de riego localizado en árboles.

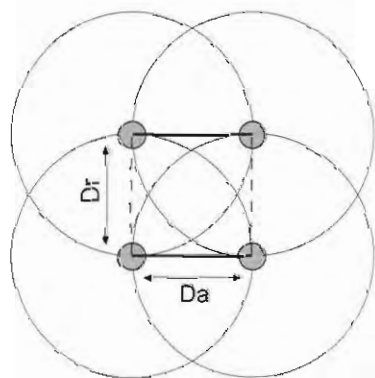
En los árboles jóvenes se suele colocar un número de emisores menor que el definitivo, que se irá aumentando a medida que el árbol crece. Sin embargo, el diseño hidráulico de la instalación habrá de hacerse teniendo en cuenta las máximas necesidades que se produzcan cuando la planta llegue a su estado adulto.

6.3. Marco de los aspersores y difusores

La forma de distribuir los aspersores o los difusores sobre la superficie del terreno ha de ser la que proporcione una distribución de la lluvia lo más uniforme posible. Para ello debe existir un **solape entre las áreas mojadas de emisores consecutivos**. Para asegurar dicho solape, se puede adoptar como norma que los emisores se sitúen con un espaciamiento igual a su alcance. Las separaciones existentes entre dos aspersores de un mismo ramal, por un lado, y entre ramales consecutivos, por el otro, determinarán el **marco de riego**, y su elección se hará de forma conjunta al tipo de emisor y a su boquilla.

Los marcos más frecuentes son el cuadrado, el rectangular y el triangular. Según el marco adoptado, la superficie de suelo que riega cada aspersor, estará determinada por la distancia entre aspersores y ramales. En la elección de uno u otro marco, uno de los factores que más influye, junto con la geometría de la zona a regar, es el viento, ya que los sistemas de riego por aspersión son los más sensibles a dicho agente meteorológico, desde el punto de vista de la uniformidad del riego.

Marco cuadrado: la distancia entre los aspersores de un mismo ramal (D_a) es igual a la distancia entre ramales (D_r). Para conseguir un solape adecuado, ambas distancias habrán de ser iguales al alcance.



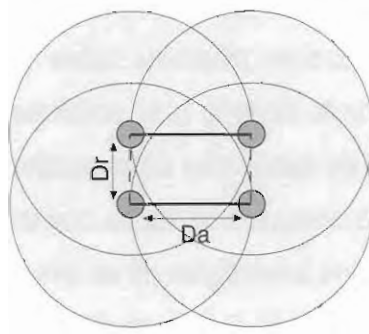
$$D_a = D_r$$

Figura 4.



La disposición en cuadrado se utiliza de manera general en aquellos casos en los que el **viento existente en la zona es escaso**. Este marco de riego proporciona además una buena cobertura en los bordes de los jardines y da lugar a una buena distribución del agua.

Marco rectangular: la distancia entre aspersores y entre ramales es diferente.



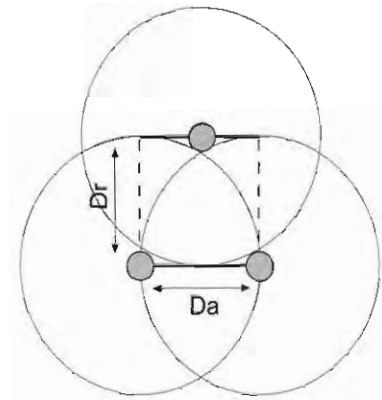
$Da \neq Dr$

Figura 5.

La disposición en rectángulo es recomendable en aquellas circunstancias en las que el **viento sea un condicionante permanente**. En caso de optar por este tipo de marco, la distancia entre los aspersores debe ser igual al radio de alcance del aspersor, y la distancia entre ramales de aproximadamente $2/3$ del diámetro de alcance del aspersor.

Estos marcos en comparación con los cuadrados, permiten una menor superficie regada para radios de alcance iguales, a costa de un incremento en la uniformidad de distribución del agua.

Marco triangular: la distancia entre dos aspersores consecutivos de un mismo ramal es inferior a la distancia entre ramales. Un caso particular del marco triangular es el **marco tresbolillo**, en el que los emisores de dos ramales consecutivos se sitúan en los vértices de un triángulo equilátero.



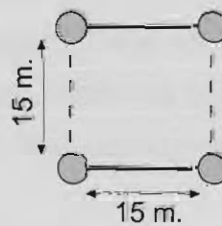
$$D_a < D_r$$

Figura 6.

El marco triangular **se recomienda en zonas de vientos frecuentes**. La distribución del agua en esta disposición es mejor que en el caso de marcos cuadrados. Además del tipo de marco, la geometría del jardín, condicionará la necesidad de usar aspersores o difusores de tipo sectorial, fijos de 45°, 90°, 180°, o regulables de ángulo de trabajo variable, en cuyo caso será conveniente instalar boquillas que mantengan la pluviometría prevista.

ejemplo

En un sistema de riego por aspersión, los aspersores se encuentran situados en un marco cuadrado a 15 m entre sí. Al tratarse de un marco cuadrado la distancia entre ramales también será de 15 m, por tanto la superficie que moja cada aspersor es:



$$S = 15 \times 15 = 225 \text{ m}^2$$



La geometría de la zona a regar también influye en la disposición de los emisores. En ocasiones se recurre a la combinación de los diferentes tipos de marcos, cuadrados, rectangulares y triangulares, para conseguir marcos de riego adaptados a la forma del jardín. Éste es el caso de los **marcos en curva**, que se logran mediante la mezcla de marcos rectangulares y triangulares.

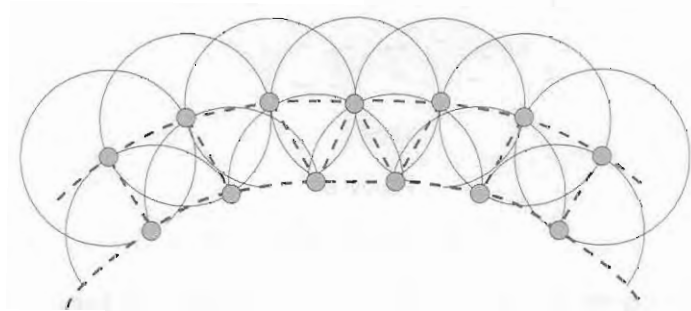


Figura 7.

6.4. Frecuencia y tiempo de riego

La **frecuencia de riego** hace referencia al **número de veces que se riega en una unidad de tiempo determinada** (semana, quincena, etc.), mientras que el **intervalo entre riegos** es el **tiempo transcurrido entre un riego y el siguiente**, de manera que cuanto menor sea el intervalo, mayor será la frecuencia del riego. El **tiempo de riego** es aquel durante el cual debe estar funcionando la instalación para que puedan ser aplicadas las necesidades de las plantas del jardín. La frecuencia y el tiempo de riego son dos conceptos relacionados entre sí, ya que, a mayor frecuencia o menor intervalo entre riegos, menor será la dosis que se necesite aplicar y, por tanto, menor el tiempo de riego.

Los riegos pueden ser de baja frecuencia, cuando el intervalo entre riegos sea amplio, o de alta frecuencia, si éste es pequeño. Los riegos de **alta frecuencia** permiten suministrar a las plantas **pequeñas dosis de agua** mediante la realización de **riegos muy cercanos en el tiempo**, mientras que los de **baja frecuencia** aportan **dosis más elevadas en riegos más espaciados**. En este último caso, las plantas pueden llegar a presentar problemas de falta de agua si la periodicidad de los riegos no es la correcta para cubrir sus necesidades en un momento dado.

La utilización de una frecuencia de riego alta o baja estará determinada por factores tales como el tipo de planta, el suelo, el clima, el tiempo disponible para realizar los riegos, etc. En general, se recomienda una **mayor frecuencia**:

- cuanto menos profundo sea el suelo.
- cuanto menor sea la profundidad alcanzada por las raíces de las plantas.
- cuanto menor sea la capacidad del suelo para retener agua (más arenoso).
- cuanto mayor sea la *evapotranspiración* de la zona.
- cuanto peor sea la calidad del agua de riego.

Por el contrario, se recomienda una **menor frecuencia**:

- cuando no se tenga garantizado el aporte de agua en verano.
- cuando se desee un buen anclaje de la planta al suelo por estar en zonas de fuertes vientos.
- en suelos pesados con alta capacidad de retención de agua.

En cualquier caso, para cada especie cultivada y tipo de suelo, se puede determinar un **intervalo máximo entre riegos**, superado el cual, la planta verá afectada su calidad ornamental al no poder absorber el agua necesaria para garantizarla. Este intervalo máximo puede ser estimado a partir de la expresión:

$$\text{Intervalo entre riegos (días)} = \frac{\text{Intervalo de Humedad Disponible} \times \text{Nivel de Agotamiento Permisible} \times \text{Profundidad de raíces (mm)}}{\text{Necesidades netas (milímetros/día)}}$$

$$I \text{ (días)} = \frac{IHD \times NAP \times Zr \text{ (milímetros)}}{Nn \text{ (milímetros/día)}}$$

En la expresión anterior, el **intervalo de humedad disponible (IHD)** representa la cantidad de agua que puede ser almacenada por el suelo y que teóricamente puede ser utilizada por las plantas, mientras que el **nivel de agotamiento permisible (NAP)** hace referencia al porcentaje del intervalo de humedad disponible que la planta puede agotar sin que su calidad ornamental se vea afectada (ver Unidad Didáctica 6 del Módulo 1 “Fundamentos del Riego”). Los valores de NAP se establecen en función de la disponibilidad de agua en la zona. En general, se utilizan valores próximos a 0,7 cuando no existen problemas de abastecimiento en la zona a regar y se desea mantener una calidad ornamental alta, y de 0,9, en caso contrario.



El tiempo de riego dependerá de las *necesidades brutas* de la especie a regar (ver Unidad Didáctica 2) y del caudal de los emisores seleccionados. Cuanto menor sea dicho caudal y mayores sean las necesidades brutas, mayor será también el tiempo de riego. Esta variable se calcula de forma general según la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo de riego (horas)} = \frac{\text{Necesidades brutas (milímetros)}}{\text{Nº de emisores/metro cuadrado} \times \text{Caudal suministrado por emisor (litros/hora)}}$$

Es importante tener en cuenta que el **tiempo de riego que se utilice para el diseño hidráulico** de la instalación será el necesario para el **periodo en que las necesidades de agua sean máximas**.

De esta manera el tiempo de riego calculado es el correspondiente al periodo para el que se hayan calculado las necesidades brutas (semana, quincena, etc.). Para saber el tiempo de duración de cada uno de los riegos que se realicen en ese periodo, bastará dividir el tiempo calculado entre el número de riegos, que a su vez dependerá de la frecuencia de los mismos.

ejemplo

Calcular el tiempo de riego necesario para regar mediante goteo un macizo de flores de 6 m². La zona se riega con 4 goteros/m², que suministran un caudal de 2 l/h cada uno. Las necesidades brutas son de 60 mm en un periodo de 15 días.

El tiempo que tendrá que funcionar el sistema será:

$$\text{Tiempo de riego (en la quincena)} = \frac{60 \text{ mm}}{4 \text{ emisores/m}^2 \times 2 \text{ l/h}} = 7,5 \text{ horas}$$

Si, por ejemplo, se van a realizar cuatro riegos en la quincena, el tiempo de riego para cada uno de ellos sería de $7,5/4 = 1,875 \text{ h}$.

Para pasar las fracciones de hora a minutos lo único que hay que hacer es multiplicar dicha fracción por 60. En este ejemplo se obtiene el siguiente resultado:

$$0,875 \times 60 = 53 \text{ minutos}$$

Así pues, se habrán de dar 4 riegos de 1 hora y 53 minutos.

En el caso del riego por aspersión es muy usual trabajar con el concepto denominado **lluvia media**, que representa la lámina de agua emitida por una determinada instalación en función del tipo de aspersor y del marco utilizado. La lluvia media se calculará mediante la expresión:

$$\text{Lluvia media (milímetros/hora)} = \frac{\text{Caudal suministrado por cada aspersor (litros/hora)}}{\text{Superficie del marco de riego (metros cuadrados)}}$$

En función de la lluvia media, la expresión de cálculo del tiempo de riego quedaría del siguiente modo:

$$\text{Tiempo de riego (horas)} = \frac{\text{Necesidades brutas de agua (milímetros)}}{\text{Lluvia media (milímetros/hora)}}$$

Como en el caso de riego localizado, el tiempo calculado corresponderá al periodo de tiempo para el que se hayan calculado las necesidades brutas.

ejemplo

Calcular el tiempo de riego necesario para aplicar 70 l/m² en quince días a un césped regado con aspersores que suministran un caudal de 1000 litros/hora y situados en un marco de 12 x 12.

$$\text{Lluvia media (mm/h)} = \frac{1000 \text{ l/h}}{144 \text{ m}^2} = 6,94 \text{ mm/h}$$

El tiempo que habrá de estar funcionando el sistema para aportar las necesidades brutas de agua de riego será:

$$\text{Tiempo de riego en la quincena} = \frac{70 \text{ mm}}{6,94 \text{ mm/h}} = 10,08 \text{ horas}$$



6.5. Sectorización del riego

Una de las cuestiones fundamentales a la hora de optimizar el consumo de agua en el riego de un jardín, es subdividirlo en *hidrozonas*. El número de especies diferentes que formen parte de una determinada hidrozona determinará la necesidad o no de disponer de más de un sistema de riego.

El término **área de riego** hace referencia a las **subdivisiones que se hacen dentro de una hidrozona**, correspondientes a cada uno de los sistemas de riego utilizados (localizado, aspersión, microaspersión, etc.). Muchas veces no será posible o conveniente regar toda un área al mismo tiempo, por lo que se habrán de dividir las áreas en porciones de terreno inferiores denominadas **sectores**, cuya superficie sí es regada simultáneamente. Como es lógico, **un sector de riego no podrá jamás regar a diferentes hidrozonas**, puesto que las necesidades de éstas son diferentes, lo cual implica que los tiempos de riego necesarios serán también diferentes.

El motivo de la división de las áreas de riego en sectores varía en función de la procedencia del agua de riego. Si ésta procede de la red municipal o de una red comunitaria de riego de caudal y presión preestablecida, los sectores se realizan por la limitación de *caudal*, ya que normalmente el disponible en la boca de riego no es suficiente para que todos los emisores del jardín puedan regar al mismo tiempo. Si el agua procede de un pozo o de una balsa, el caudal no va a ser limitante en principio. En estos casos la sectorización se realiza por limitaciones en el tiempo disponible para realizar los riegos, o para evitar tener que instalar una bomba de elevada potencia y unos elementos del cabezal de mayor dimensión, que encarecerían la instalación.

El número de sectores dentro de cada área de riego debe ser el mínimo posible, ya que un número elevado puede suponer *tiempos de riego* elevados, y la colocación de una mayor cantidad de elementos de control en la entrada de cada sector. Sin embargo, se debe tener en cuenta que si el número de sectores es demasiado reducido, también se incrementarán los costes de la instalación, ya que, además de un equipo de impulsión más potente y mayor dimensión de los elementos del cabezal, se necesitarán tuberías de mayor diámetro.

Cuando el **agua utilizada para el riego procede de la red pública**, el número de sectores en los que se puede dividir cada área, se calcula dividiendo el caudal que necesitan **todos los emisores de una determinada área** entre el disponible en la *toma de riego*. Si el resultado obtenido presenta cifras decimales, la cifra obtenida se redondea al número entero superior más próximo.



$$\text{Número de sectores} = \frac{\text{Caudal demandado (litros/minuto)}}{\text{Caudal disponible (litros/minuto)}}$$

Es importante recordar que **no se deben mezclar emisores diferentes (aspersores y difusores, por ejemplo) dentro de un sector de riego**. Ello es debido a que cada tipo de emisor proporciona unos caudales diferentes cuando trabajan a una misma presión, y si se mezclaran, se produciría un reparto irregular del agua.

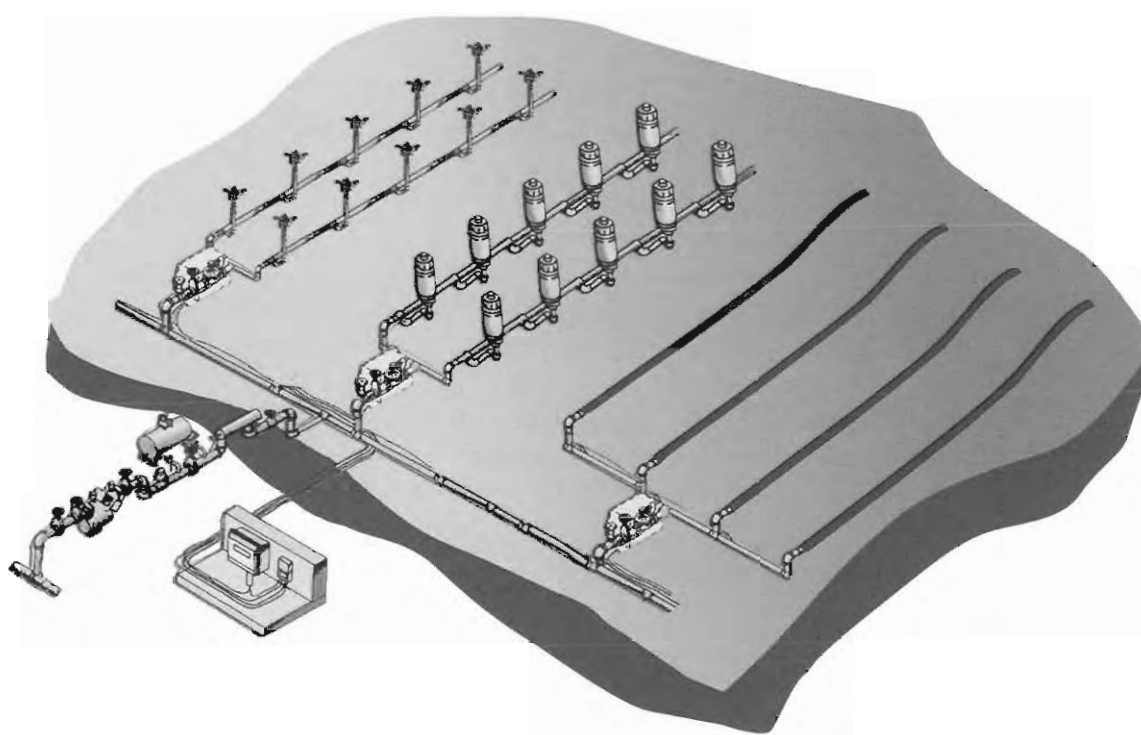


Figura 8. Diferentes sectores de riego dentro de una instalación.

ejemplo

Calcular el número de sectores en que se debe dividir una instalación de riego que consta de un área de riego por aspersión y otra de riego localizado. Se sabe que el caudal disponible en la boca de riego es de 30 l/min, y que los emisores disponibles tienen las siguientes características:



Aspersores

Cantidad	Tipo	Caudal unitario (l/min)	Caudal total (l/min)
7	360°	15,7	109,9
4	270°	11,7	46,8
5	180°	7,83	39,15
3	90°	3,91	11,73

Gotos

Cantidad (l/h)	Caudal unitario (l/h)	Caudal total
2.500	2	5.000

El número de sectores será

$$\text{Sectores de aspersión} = \frac{(235,5 + 140,4 + 109,62 + 27,37) \text{ l/min.}}{30 \text{ l/min.}} = 6,9 \approx 7$$

Puesto que un caudal de 30 l/min es equivalente a 1.800 l/h, análogamente al caso de la aspersión se tendría el siguiente número de sectores:

$$\text{Sectores de goteo} = \frac{5.000 \text{ l/h.}}{1.800 \text{ l/h.}} = 2,77 \approx 3$$

La subdivisión de los sectores debe ser tal, que todos ellos consuman un caudal similar, con objeto de optimizar las disponibilidades de caudal de la red.

Cuando el agua utilizada para el riego **procede de un pozo o de una balsa**, el número de sectores, se calcula dividiendo el tiempo disponible cada día para realizar los riegos (diferente para cada caso) entre el tiempo necesario para cada riego (ver apartado 6.4).

ejemplo

Un jardín que se abastece de un pozo necesita doce horas para cubrir las necesidades brutas de riego de una quincena. Calcular el número de sectores y el tiempo de riego de cada uno de ellos, conociendo:

ETr media diaria:	6 mm/día
Coefficiente de jardín (Kj):	0,65
Precipitación en la quincena (P):	0 mm
Intervalo de Humedad Disponible (IDH)	0,12
Nivel de Agotamiento Permissible (NAP):	0,9
Profundidad media de raíces (Zr):	250 mm
Tiempo de riego máximo disponible al día:	4 horas

En primer lugar se calcula el intervalo máximo entre riegos permisible:

$$I \text{ (días)} = \frac{IHD \times NAP \times Zr \text{ (mm)}}{Nn \text{ (mm/día)}} = \frac{0,12 \times 0,9 \times 250}{6 \times 0,65} = 6,92 \text{ días}$$

El intervalo entre los riegos no debe superar 6 días, por lo que el número mínimo de riegos que debe recibir el jardín en la quincena, será:

$$\text{nº mínimo de riegos} = \frac{15 \text{ días}}{6 \text{ días/riego}} = 2,5 \approx 3 \text{ riegos}$$

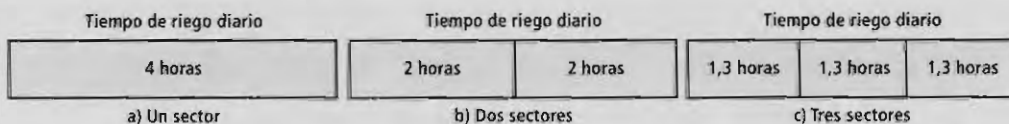
El número de riegos que se efectúen en la quincena podrá variar teniendo en cuenta el mínimo de tres, según el diseño de la instalación. A continuación se muestran tres posibles opciones de diseño.

- a) Si se realizan tres riegos en la quincena, para cubrir las necesidades brutas del jardín, la duración de cada riego ha de ser de 4 horas. Como el tiempo disponible al día para el riego es de 4 horas, se podría realizar esta opción estableciendo un solo sector de riego.

$$\text{Número de sectores} = \frac{\text{Tiempo disponible al día para el riego}}{\text{Tiempo necesario para el riego}} = \frac{4}{4} = 1 \text{ sector}$$

Si se desea realizar un diseño más económico, se podría ampliar el número de riegos en la quincena y de esta manera el área de riego se podría dividir en sectores. Así, el caudal necesario para regar el jardín sería menor y el equipo de bombeo a instalar también sería menor.

- b) Si se realizan seis riegos en la quincena en lugar de tres, el tiempo de duración de cada riego será de dos horas. El área de riego se podrá dividir en dos sectores, que se regarán durante dos horas cada uno. En este caso el caudal que ha de circular por la red de tuberías será la mitad que en el caso anterior.
- c) Otra posible alternativa sería realizar nueve riegos, de una hora y veinte minutos cada uno, y dividir el área de riego en tres sectores, que se regarán durante ese tiempo. Con esta alternativa el caudal circulante será la tercera parte del caudal que circule en el primer caso.



6.6. Diseño hidráulico de la instalación de riego

El diseño hidráulico de una instalación de riego consiste en el **cálculo de las dimensiones de todos los componentes que forman parte de ésta**, de manera que se puedan satisfacer las necesidades hídricas de las plantas de la forma más económica posible, tanto desde el punto de vista del coste inicial de la instalación, como de los requerimientos energéticos de impulsión del agua en el transcurso del riego.

Es importante que el sistema de riego funcione adecuadamente, para que el reparto del agua se realice de la forma más homogénea posible. Para ello, se debe procurar que todos los emisores sean de buena calidad y estén en buen estado. Además, es necesario que la presión con la que llega el agua a los emisores de un sector sea lo más homogénea posible, ya que el caudal aplicado por los emisores depende directamente de esta variable, excepto en el caso de que éstos sean autocompensantes. Una distribución homogénea de caudales redonda en una uniformidad de distribución adecuada.

Antes de comenzar con el diseño hidráulico propiamente dicho es **importante realizar un plano a escala de la instalación de riego** en el que se indiquen claramente:

- ▶ Las distintas áreas de riego con sus correspondientes emisores.
- ▶ Las construcciones (edificios, vivienda, piscina, etc).
- ▶ Las calles y zonas de descanso.
- ▶ La pendiente del terreno.
- ▶ La toma de agua.
- ▶ La disposición de las tuberías.
- ▶ La disposición de las electroválvulas y el programador, si los hubiere, y del cable de unión entre ambos, si fuera necesario.

A continuación, una vez establecido el número de sectores de cada una de las áreas de riego, y por tanto el número de emisores y el caudal necesario en cada sector, se realiza el trazado de las tuberías y el dimensionado de éstas. La red de tuberías de riego suele jerarquizarse en orden ascendente, es decir, de menor a mayor diámetro, del siguiente modo:

1. **Ramales portaaspersores** en riego por aspersión o simplemente **tuberías laterales** en el goteo, a las cuales irán conectados los emisores.
2. **Tuberías terciarias**, que surtirán a los ramales o a los laterales.
3. **Tuberías secundarias**, agruparán a las tuberías terciarias.
4. **Tuberías primarias**, que irán directamente conectadas al *cabezal de riego* o a la toma de la red pública, y de las cuales se derivarán las secundarias.

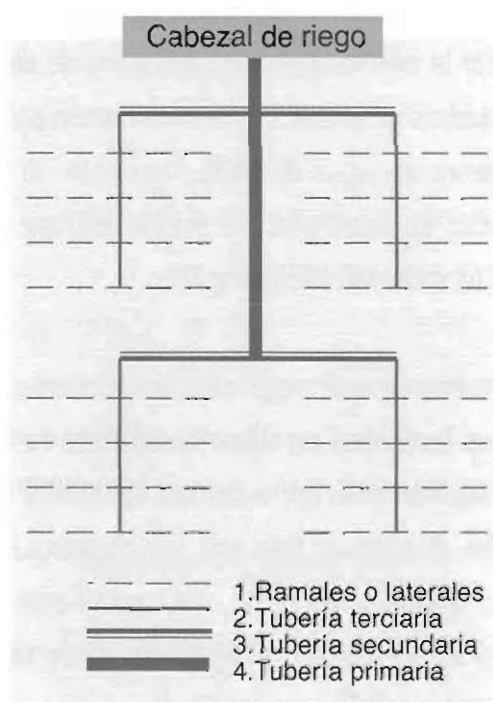


Figura 9.

La unidad constitutiva de una instalación de riego más simple será el *ramal de aspersión* o el lateral, de forma que, en función de la complejidad de la instalación, será necesaria o no la disposición de tuberías de mayor orden jerárquico.

La **elección de las tuberías** se realiza, básicamente, en función del caudal que ha de circular por ellas. En el proceso de diseño hidráulico de la instalación es preciso diferenciar entre el caso en el que el aprovisionamiento proceda de una toma de la red urbana, de aquel en el que sea preciso bombear el agua desde otra localización, tal como un pozo o embalse. En el primer caso el diseño se ha de desarrollar aprovechando la disponibilidad de presión y caudal con los que trabaja la red, mientras que en el segundo es necesario habilitar algún sistema de bombeo.



Para **seleccionar los timbrajes**, habrá que considerar que siempre deben tener como mínimo una presión estática de trabajo un 20% superior a la prevista. Respecto a los materiales a utilizar, se recomienda el **PE de baja densidad (PEBD)** para diámetros de hasta 50 mm, mientras que para tuberías mayores es más económico el uso de **PVC**.

APROVISIONAMIENTO DESDE LA RED MUNICIPAL URBANA O DE UNA RED COMUNITARIA DE RIEGO DE CAUDAL Y PRESIÓN PREESTABLECIDA

Si el agua procede de la red urbana o similar, **los datos de partida son precisamente el caudal y la presión** suministrados por la misma. Así pues, se habrá de disponer de algún procedimiento para medir estos datos. En muchas ocasiones esta información puede ser facilitada por la empresa gestora del aprovisionamiento de agua de cada municipio. Si no fuera posible conocer ni la presión de servicio ni el caudal suministrado, se puede realizar una aproximación a partir del diámetro de la boca de riego (ver Unidad Didáctica 3).

El criterio final que va a determinar una selección correcta o no de las dimensiones de las tuberías es **que los emisores trabajen en unas condiciones de presión suficientes para aplicar el agua de forma apropiada**. En la Unidad Didáctica 3 se ha hablado de la pérdida de presión o carga que sufre el agua al fluir por las conducciones de la instalación. Dicha pérdida de presión depende, fundamentalmente, del caudal que circula por las tuberías, de su diámetro y de su longitud. En el Anejo 2 se recoge a modo de tabla la relación existente entre estas variables, considerando los diámetros de las tuberías que normalmente se encuentran en el mercado.

Puesto que se conoce la presión del agua en la boca de la red urbana y aquella a la cual deben trabajar los emisores, la diferencia de presión entre ambas será la **presión máxima que se puede perder en las conducciones**.

El caudal real que aplican los emisores dependerá de la presión a la que trabajen. Así pues, es necesario que el conjunto de emisores que riegan simultáneamente dentro del sector de riego, lo haga de la forma más homogénea posible. Sin embargo, puesto que la *pérdida de carga* depende de la longitud de las conducciones, los emisores que estén más alejados en un mismo sector de riego, trabajarán a menor presión que aquellos que estén más cerca de su correspondiente tubería terciaria.

Otro factor que modifica la presión existente en cada punto de la instalación, es su cota, ya que cuanto más elevado esté un punto, más energía es necesario aplicar para elevar el agua al mismo y viceversa.

En resumen, se puede decir que **los emisores que se encuentren más alejados y más elevados trabajarán a menor presión, y por tanto, aplicarán menos caudal, que aquellos que estén cerca de las terciarias o se encuentren en los puntos bajos del sector de riego.**



Figura 10. La posición de los emisores en la instalación determinan los caudales aplicados y las presiones de trabajo en cada caso.

Para controlar que la diferencia en el caudal aplicado por cada uno de los emisores de un mismo sector de riego **no afecte en exceso a la homogeneidad en la aplicación del agua**, en el diseño hidráulico se ha de imponer un **límite a la diferencia de presión** existente entre los emisores que trabajen en unas condiciones más favorables, respecto a los que lo hagan en las más desfavorables. Para esta diferencia de presión se puede adoptar como norma general, un valor igual al **10% de la presión nominal de los emisores, en el caso del riego por goteo**, y de un **20%, en aspersión.**

Una excepción a esta regla es el caso de los emisores denominados autocompensantes, que poseen una especie de regulador de presión interno, de forma que aplican el mismo caudal independientemente de la presión, siempre que ésta se mantenga dentro de un determinado intervalo. En este caso, el control de presión referido anteriormente no procede. Tan sólo se habrá de tener la precaución de que la presión a la que trabajan los laterales de riego o los ramales portaaspersores no superen dicho intervalo.

Una consideración que se ha de tener siempre presente es que cuanto menor sea el diámetro de una tubería, mayores serán las pérdidas ocasionadas por el rozamiento del agua con las paredes de la misma. Por otro lado, cuanto mayor sea el diámetro mayor será el coste de las tuberías, por lo que en la selección del diámetro se habrán de equilibrar ambas tendencias para conseguir el dimensionado óptimo, prevaleciendo siempre el criterio hidráulico sobre el económico. Las pérdidas de carga producidas en las tuberías se pueden estimar a partir de tablas en las que se relacionan dichas pérdidas con los caudales y los diámetros nominales.

Otra cuestión importante es la **velocidad máxima** que el agua puede alcanzar dentro de las tuberías, ya que ésta no debe superar un determinado valor. En el caso del riego de jardines es habitual establecer ese **límite en 1,5 m/s**. Puesto que la velocidad que alcance el agua en una conducción depende del caudal que circule por la misma y de su sección, es fácil establecer la relación existente entre estas variables, lo cual aparece recogido en el Anejo 2 para el caso de los diámetros comerciales.

Además de las pérdidas ocasionadas en el interior de las tuberías, también denominadas lineales, se produce una disipación de la energía de la corriente cada vez que ésta ha de variar su dirección de forma brusca, como ocurre por ejemplo en las derivaciones, o en el caso que se produzcan impedimentos al flujo tales como la interposición de un regulador de presión. Estas **pérdidas de carga** son **denominadas singulares** y su estimación puede simplificarse considerando que suponen un **15% adicional** sobre el valor obtenido en las lineales.

Por último, se ha de tener en cuenta la **presión de entrada en los laterales y en los ramales** de cada sector de riego, puesto que los emisores están diseñados para trabajar dentro de un intervalo determinado de presiones, que debe ser facilitado por el fabricante, y habrá de ser tenido en cuenta a la hora de hacer el diseño de la instalación. Este intervalo de presiones es mucho más amplio en el caso de los emisores autocompensantes en los que además, las variaciones de caudal con la presión deben ser prácticamente inapreciables. Si la presión que llega a los ramales o laterales de riego está por encima de la presión máxima de trabajo del emisor habrá que instalar un regulador de presiones a la entrada de cada uno de los sectores de riego donde se de esta circunstancia.



ejemplo

Se desea calcular las dimensiones las tuberías de uno de los sectores de riego por aspersión de un jardín situado en una zona donde la pendiente es cero. Para los cálculos se considerará el sector más desfavorable, que en este caso será el más alejado de la toma de agua. En la siguiente figura se muestra un croquis del área de aspersión con los emisores dispuestos sobre ella:

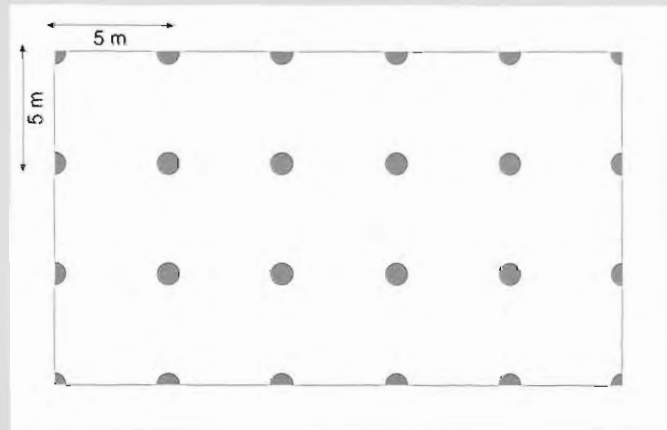


Figura 11.

Se dispone además de los siguientes datos de la toma de riego y de los aspersores a instalar:

Caudal de la toma: 100 l/min

Presión de la toma: $3,5 \text{ kg/cm}^2 = 35 \text{ m.c.a.}$

Caudal unitario de los aspersores (l/min):
 aspersor de 360° : 15,7
 aspersor de 180° : 7,83
 aspersor de 90° : 3,91

Presión nominal de los aspersores: 25 m.c.a. Los valores máximo y mínimo recomendados son 27,5 y 22,5 m.c.a., respectivamente.

Radio de alcance 5 m.

Marco: cuadrado.

En primer lugar se calcula el número de sectores de riego:

Aspersores			
Cantidad	Tipo (l/min)	Caudal unitario (l/min)	Caudal total
8	360°	15,7	125,6
12	180°	7,83	93,96
4	90°	3,91	15,64

$$\text{Número de sectores} = \frac{(125,6 + 93,96 + 15,64) \text{ l/min}}{100 \text{ l/min}} = 2,35 \approx 3 \text{ sectores}$$



Para que los caudales en los sectores sean lo más parecidos posible, el trazado de tuberías en cada uno de los sectores es el que se muestra en la siguiente figura:

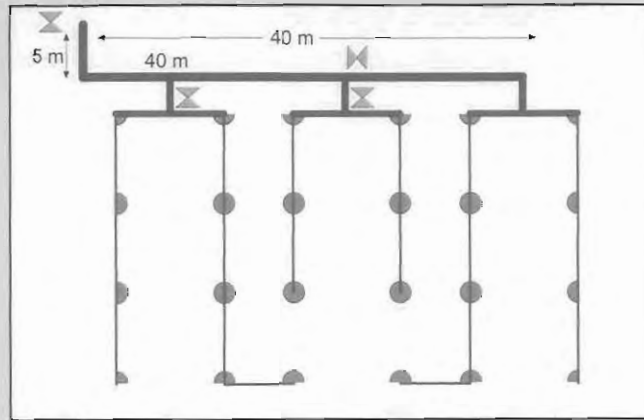


Figura 12.

Según este esquema, el caudal necesario en cada sector será:

- Sector 1: 2 aspersores de 90° + 5 aspersores de 180° + 2 aspersores de 360° → 78,37 l/min
- Sector 2: 2 aspersores de 180° + 4 aspersores de 360° → 78,46 l/min
- Sector 3: 2 aspersores de 90° + 5 aspersores de 180° + 2 aspersores de 360° → 78,37 l/min

Como se puede ver en la figura anterior, la instalación está constituida por 3 sectores con dos ramales portaaspersores cada uno. Los ramales se abastecen por terciarias de 5 m, que a su vez se unen a la principal por una secundaria. En este ejemplo, la tubería secundaria no se va a tener en cuenta por su escasa longitud. La tubería principal tiene una longitud de 45 m.

El cálculo de las tuberías se realizará para el sector más alejado de la toma. La longitud, presión nominal y diámetro de los distintos tramos de tubería, y los caudales circulantes, son los que se muestran en la figura 13:

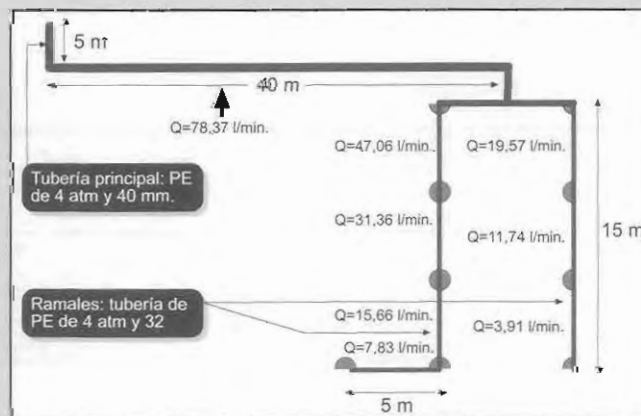


Figura 13.

En primer lugar se determina la pérdida de presión máxima admisible:

Presión en la boca de riego – Presión nominal de los emisores = 35 – 25 = 10 m.c.a.

A continuación se calculan las pérdidas de carga hasta el punto más desfavorable de la instalación:

Pérdidas de carga en la tubería principal:

Caudal circulante: 78 l/min

Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 4 kg/cm ²					
Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
40/35,2	4,32	72	12	1,23	4,68
	5,04	84	1,4	1,44	6,18
	7,2	120	2	2,06	11,75

$$PC (m) = \frac{J (m/100 m) \times L(m)}{100} = \frac{6,18 \times 45}{100} = 2,78 \text{ m.c.a.}$$

Pérdidas de carga en la tubería secundaria: son despreciables por la escasa longitud de esta tubería.

Pérdidas de carga en la tubería terciaria: se calculan para el tramo que abastece al ramal de mayor longitud (el de la izquierda de la figura 13):

Caudal circulante en la terciaria:

3 aspersores de 180° (caudal unitario = 7,83 l/min) 7,83 X 3 = 23,5 l/min
 2 aspersores de 360° (caudal unitario = 15,7 l/min) 15,7 X 2 = 31,4 l/min
 Caudal total = 23,5 + 31,4 = 54,9 ≈ 55 l/min

Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 4 kg/cm ²					
Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
40/35,2	3,24	54	0,9	0,92	2,79
	3,6	60	1	1,03	3,37
	4,32	72	12	1,23	4,68

$$PC (m) = \frac{J (m/100 m) \times L(m)}{100} = \frac{3,37 \times 2,5}{100} = 0,08 \text{ m.c.a.}$$



Pérdidas de carga en el ramal: se calculan utilizando el coeficiente de Christiansen.

Puesto que se impone un límite de velocidad de 1,5 m/s y el caudal que suministra el ramal es de 54,9 l/min se selecciona una tubería de 32 mm:

Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 4 kg/cm ²					
Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
32/28	2,88	48	0,8	1,3	6,77
	3,24	54	0,9	1,46	8,37
	3,6	60	1	1,62	10,12

Número de salidas	Valor de F	Número de salidas	Valor de F
5	0,403	20	0,367

$$PC (m) = \frac{F \times J (m/100 m) \times L(m)}{100} = \frac{0,403 \times 8,37 \times 20}{100} = 0,67 \text{ m.c.a.}$$

Considerando además las pérdidas de carga singulares (15% de las lineales), las pérdidas de carga totales ocasionadas hasta el aspersor más desfavorable serán:

$$PC = (2,78 + 0,08 + 0,67) \times 1,15 = 4,06 \text{ m.c.a.}$$

Al ser la pérdida de carga máxima permitida de 10 m, no hay limitación de presión para el diseño seleccionado.

Sin embargo, el problema puede provenir por el exceso de presión en los aspersores, ya que estos tienen un rango de presiones dentro del cual se garantiza un correcto funcionamiento.

Para comprobar que la presión que llega es la adecuada, se calcula la presión que llega al emisor que trabaja en condiciones más favorables.

Presión en la boca de riego: 35 m.c.a.

Pérdidas de carga en la tubería primaria: $2,78 \times 1,15 = 3,2$ m.c.a.

Pérdidas de carga en la terciaria: $0,08 \times 1,15 = 0,1$ m.c.a.

Presión que llega al emisor más favorable: $35 - 3,2 - 0,1 = 31,7$ m.c.a.

El rango de trabajo de los emisores seleccionados está entre 27,5 m y 22,5 m, y la presión que le llega es de 31,7 m.c.a., por lo tanto será necesario un regulador de presión a la entrada del sector de riego, que reduzca el valor original a 30 m.c.a. aproximadamente. En los otros dos sectores de riego, más próximos a la boca de riego, la presión en el aspersor



más favorable será superior a la calculada para este sector, por tanto también habrá que instalar un regulador de presiones a la entrada de estos. En este caso la presión en el aspersor más favorable sería:

Presión 1^{er} aspersor = Presión tras el regulador – Pérdidas de carga entre el regulador y el 1^{er} aspersor = $30 - (3,2 + 0,1) = 26,7$ m.c.a.

La presión calculada sí se encuentra dentro del intervalo de presiones recomendado.

Por último se comprueba la uniformidad de aplicación del riego en el sector, verificando que la diferencia de presión entre el aspersor que trabaja en condiciones más favorables y el que trabaja en condiciones más desfavorables, es inferior al 20% de la presión nominal de trabajo de los emisores.

Presión de trabajo en el aspersor más favorable: 26,7 m.c.a.

Pérdidas de carga hasta el aspersor más desfavorable: 4,06 m.c.a.

Presión en el aspersor más desfavorable: $30 - 4,06 = 25,94$ m.c.a.

Diferencia de presión entre el aspersor más favorable y el más desfavorable:
 $26,7 - 25,94 = 0,76$ m.c.a.

Esta diferencia de presiones debe ser inferior al 5 m.c.a., (20 % de la presión nominal de los emisores). Puesto que esta condición se cumple, el sector riega con una uniformidad adecuada.

En el ejemplo anterior se ha puesto en práctica el procedimiento habitual de diseño para el caso del riego por aspersión. En el **riego localizado**, este procedimiento se simplifica cuando el fabricante facilita los valores de la denominada "**longitud máxima permitida**" de los laterales. Dicha longitud es la máxima que puede tener un lateral para asegurar una determinada pérdida de carga desde la conexión con la terciaria. Otras veces, el dato de pérdida de carga se sustituye por el de variación de caudal entre los emisores.

La longitud máxima de los laterales variará según la pendiente del terreno, el diámetro del lateral, el caudal que circule y la distancia entre los emisores. En general, cuanto menor sea la pendiente, menor el caudal que transmite, mayor el diámetro, o mayor la separación entre emisores, mayor podrá ser la longitud del lateral.





Figura 14. La separación entre goteros influye en el incremento de las pérdidas de carga a lo largo de la tubería.

ejemplo

En un sector de riego localizado de un jardín, el lateral más desfavorable se diseña con una tubería de 12 mm de diámetro, y 20 m de longitud, con goteros insertados cada 50 cm. Dichos goteros emiten un caudal de 3 l/h, y se admite una variación del caudal del 5% respecto al caudal nominal. Se dispone además de la información facilitada por la casa fabricante, acerca de la longitud máxima permisible:

Diámetro (mm)	Caudal (l/h)	Variación de caudal (%)	Longitudes máximas permisibles para ramales en terreno llano (m)							
			Distancia entre los goteros (m)							
			0,30	0,40	0,50	0,60	0,75	1,00	1,25	1,50
12	3	3,5	15,7	20,2	24,3	28,1	33,0	41,4	49,5	55,4
		5	17,8	22,7	27,5	31,9	37,8	46,8	56,3	63,5
		7,5	20,8	26,3	32,0	36,7	43,9	54,9	64,1	74,3
		10	23,0	29,5	35,6	41,0	48,6	61,2	72,0	82,4

Según se desprende de la información facilitada por el fabricante, la longitud máxima permisible para las condiciones de diseño es de 27,5 m, la cual es superior a los 20 m considerados, por lo que se considera que el dicho diseño es válido.

APROVISIONAMIENTO CON ESTACIÓN DE BOMBEO

Si el agua procede de un pozo o de una balsa de riego, será necesario un **sistema de bombeo** para proporcionar al agua la energía que necesita para que los emisores la distribuyan correctamente. En este caso el diseño de la instalación se realiza de modo inverso a como se ha descrito si el aprovisionamiento es de la red, es decir, se parte de un diseño previo, con un determinado número de sectores de riego, y con unos emisores y unas tuberías determinadas. A partir de este diseño, se calcula la potencia que debe suministrar la bomba, previa determinación del caudal a elevar por la bomba y de la altura manométrica total (ver Unidad Didáctica 3). Por su parte los rendimientos del motor y el de la bomba, son datos suministrados por el fabricante, que pueden obtenerse mediante la consulta de catálogos comerciales.

El valor teórico de potencia calculado, es decir, el que asegura que el emisor más desfavorable trabaja correctamente, **debe ser mayorado en un 20%**. Son varias las razones que aconsejan éste sobredimensionado, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- ▶ Proveer a la instalación de una presión extra con objeto de facilitar el lavado de las conducciones abriendo los finales de los laterales de riego.
- ▶ Disponer de una potencia extra en previsión de un posible descenso en el rendimiento de la bomba ocasionada por el lógico desgaste de sus componentes.
- ▶ Pérdidas de carga no contempladas en el diseño, entre las cuales se puede citar una excesiva acumulación de suciedad en los filtros.

Una vez calculada la bomba necesaria en la instalación para las condiciones establecidas en el diseño del que se partió, éste se adoptará o no aplicando sobre todo un criterio económico, sin olvidar el criterio hidráulico.



ejemplo

Calcular la potencia de la bomba necesaria en una instalación de riego de un jardín, que se abastece de un pozo. Dicho jardín cuenta con tres sectores de riego por aspersión, y se dispone de la siguiente información de la instalación:

- Número de aspersores por sector: sector 1: 5 aspersores de 360°; 4 de 180°; 3 de 90°
sector 2: 7 aspersores de 360°; 5 de 180°; 3 de 90°
sector 3: 8 aspersores de 360°; 2 de 180°; 4 de 90°
- Caudales unitarios:
aspersor de 360°: 13 l/min
aspersor de 180°: 6,51 l/min
aspersor de 90°: 3,25 l/min
- Presión de trabajo de los aspersores: 25 m.c.a.
- Diferencia de nivel entre el agua en el pozo y la bomba: 5 m.
- Diferencia de nivel entre la bomba y el lugar más elevado de la instalación: 10 m.
- Pérdidas de carga en la tubería de aspiración: 35 m.c.a.
- Pérdidas de carga en las tuberías en el sector más desfavorable: 0,65 m.c.a.
- Pérdidas de carga en elementos singulares: 15% de las registradas en tuberías.
- Pérdidas de carga en el cabezal: 10 m.c.a.
- Rendimiento del motor y de la bomba: 0,7 y 0,8 respectivamente.

En primer lugar se calcula el caudal circulante en cada sector:

Sector	Asp. de 360°	Asp. de 180°	Asp. de 90°	Caudal total (l/min)	Caudal total (l/s)
1	5	4	3	100,79	1,68
2	7	5	3	133,3	2,22
3	8	2	4	130,02	2,17

Para el cálculo de la bomba se considerarán los datos del sector número 2, que es el que mayor caudal necesita.

En segundo lugar se calcula la altura manométrica total: $H_t = H_a + H_i + H_p + P_t$

Altura geométrica de aspiración: $H_a = 5$ m

Altura geométrica de impulsión: $H_i = 10$ m

Altura por pérdidas de carga: $H_p = 0,35 + (0,65 \times 1,15) + 10 = 11,1$ m.c.a.

Altura de presión de trabajo de los emisores: $P_t = 25$ m.c.a.

Altura manométrica total: $H_t = 5 + 10 + 11,1 + 25 = 51,1$ m.c.a.

Por último se determina la potencia de la bomba:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Caudal (l/s)} \times \text{Altura manométrica yoyal (Ht)(m)}}{75 \times \text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}} = \frac{2,22 \times 51,1}{75 \times 0,8 \times 0,7} = 2,7 \text{ CV}$$

El valor obtenido debe mayorarse un 20%: $2,7 \times 1,2 = 3,24$ CV

A la hora de seleccionar una bomba determinada se habrá de adquirir aquella que se encuentre más próxima al valor obtenido, siempre por exceso.



6.7. Dimensionado del equipo de filtrado

El equipo de filtrado debe dimensionarse adecuadamente con arreglo a las características del resto de la instalación de riego, para que pueda filtrarse el caudal de agua requerido y para que no se ocasionen unas *pérdidas de carga* por encima de las recomendadas por los fabricantes.

HIDROCICLONES

Este tipo de filtros se utiliza para **eliminar partículas minerales** en suspensión (arena, limo, arcilla), cuando el agua procede de un pozo, o aprovisionamiento subterráneo. Dentro del *cabezal de riego* se instalan antes de cualquier otro elemento de filtrado.

El volumen del filtro ha de ser tal que no ocasione una pérdida de carga superior a 2 m.c.a. El fabricante suele facilitar ábacos en los cuales se relaciona la pérdida de carga con el caudal de filtrado, por lo que del mismo se puede obtener una aproximación de las dimensiones. El volumen del filtro aumentará conforme mayor sea el caudal de la instalación y el tiempo entre limpiezas del colector, y será más efectivo cuanto mayor sea el tamaño de las partículas a filtrar. Es importante **no sobredimensionar** este elemento del sistema de filtrado para garantizar su correcto funcionamiento.

FILTROS DE ARENA

Estos filtros se utilizan fundamentalmente para **eliminar materia orgánica** suspendida en el agua. Además del volumen de filtrado, el funcionamiento apropiado o no del filtro dependerá del tipo de arena utilizado. Ésta se caracteriza fundamentalmente por el denominado **diámetro efectivo**, que es el correspondiente al tamaño de orificio de un tamiz que permite el paso del 10% en peso de la arena. Este concepto sirve de referencia para la elección del tipo de arena que se ha de utilizar, puesto que el diámetro de paso del emisor debe ser superior a la séptima parte del diámetro efectivo de la arena que se utilice en el filtro.

El tamaño del filtro deberá ser tal que **permita filtrar unos 60 m³/h de agua por m² de lecho filtrante**. Además, la profundidad del bloque de arena no deber ser inferior a 50 cm.

Los filtros de arena, al ser cilíndricos suelen caracterizarse a partir de su diámetro exterior, cuyo valor se suele expresar en pulgadas (1" = 2,54 cm).



ejemplo

Calcular las dimensiones de un filtro de arena con el que se pretende filtrar un caudal de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1.000 \text{ l}/\text{min}$).

Puesto que el criterio de referencia para el dimensionado del filtro es que éste debe filtrar $60 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 de lecho de arena, el filtro habrá de tener aproximadamente 1 m^2 de superficie. En los catálogos comerciales de una determinada marca se ha encontrado la siguiente información:

Diámetro en pulgadas (")	16	20	40	50
Superficie de lecho de arena (m^2)	0,11	0,16	0,7	1,26

De los que aparecen en la tabla el único que tiene una superficie de lecho de arena superior a 1 m^2 es el de 50", por tanto, éste sería el seleccionado.

FILTROS DE MALLA Y ANILLAS

Los filtros de mallas y anillas se utilizan para **interceptar todo tipo de partículas sólidas** en suspensión. En este tipo de filtros, la capacidad de retención se mide por el **número de mesh**, cuyo valor deberá ser suficiente para que el elemento filtrante no permita el paso de las partículas superiores a $1/8$ del diámetro mínimo de paso del emisor. Como referencia se puede utilizar la siguiente tabla:

Diámetro del emisor (mm)	Orificio menor que (micras)	Número de mesh
1,50	214	65
1,25	178	80
1,00	143	115
0,90	128	125
0,80	114	150
0,70	100	170
0,60	71	200

El volumen de los filtros ha de ser tal que la **pérdida de carga** originada en su interior **no sea superior a 1 ó 2 m con el filtro limpio**. Además se recomienda que la velocidad no exceda $0,6 \text{ m/s}$.

6.8. Resumen

El diseño de una instalación de riego comprende una serie de procesos que realizados de forma correcta, permiten un buen funcionamiento del sistema diseñado, es decir, permiten aplicar a las plantas el volumen de agua necesario para cubrir sus necesidades. Durante el diseño hidráulico de una instalación se dimensionan todos los elementos que forman parte de ésta, las tuberías, los emisores, el sistema de bombeo, y el de filtrado, así como cualquier otro elemento que forma parte de la instalación de riego (reguladores de presión, válvulas, etc.)

Dentro de los procesos de diseño cabe destacar la determinación del número y disposición de los emisores según el sistema de riego empleado; el cálculo de la frecuencia de los riegos y el tiempo de duración de los mismos; la división de la zona a regar en sectores según el caudal disponible; el cálculo de las tuberías de la red de distribución, y el cálculo de las dimensiones de los elementos del sistema de filtrado.

La procedencia del agua de riego es uno de los factores que determinan el diseño de una instalación, ya que si ésta procede de la red municipal, se parte de un caudal y de una presión fijos y a partir de aquí se realizan los cálculos, teniendo en cuenta el criterio hidráulico por encima del económico. Si el agua se toma de un pozo, los elementos necesarios en la instalación varían y la forma de calcular sus dimensiones también lo hace, ya que en este caso se parte de un diseño preestablecido, que se adoptará finalmente o no, teniendo en cuenta sobre todo el criterio económico.

AUTOEVALUACIÓN

1. Los sistemas de riego localizado se caracterizan por:

- a) Localizarse fácilmente dentro de las instalaciones de riego. De ahí su nombre.
- b) Por mojar totalmente la superficie del suelo donde son utilizados.
- c) Por mojar parcialmente la superficie del suelo donde son utilizados.
- d) Por utilizar marcos de riego, que les permiten realizar una distribución circular del agua de riego, en forma de lluvia.

2. ¿Cómo se puede conseguir una banda continua de humedad con un sistema de riego localizado?

- a) Aumentando la separación entre los emisores de un lateral.
- b) Situando un lateral por cada línea de plantas con los emisores situados entre 20 y 40 cms.
- c) Evitando que se produzca solapa entre bulbos húmedos.
- d) Instalando una tubería lateral por cada dos líneas de plantas.

3. El marco cuadrado se caracteriza por presentar la misma distancia entre aspersores y entre ramales, y está especialmente recomendado en aquellos casos en los que exista viento.

Verdadero/Falso

4. En qué caso aumentaría la frecuencia de riego:

- a) Cuando la profundidad del suelo es elevada.
- b) En aquellos casos que la profundidad de las raíces de las plantas es elevada.
- c) Si el agua de riego es de buena calidad.
- d) En suelos con poca capacidad de retención de agua, como los arenosos.

5. El tiempo de riego representa el tiempo que debe estar funcionando la instalación de riego, para aportar a las plantas las necesidades brutas de agua que precisan para mantenerse en un estado óptimo.

Verdadero/Falso

6. Indicar cuál de estas afirmaciones sobre los sectores de riego es verdadera

- a) Suelen estar compuestos por emisores pertenecientes al mismo sistema de riego, y que funcionan todos al mismo tiempo.
- b) Deben encontrarse en el mayor número posible dentro de las instalaciones de riego, para un mejor reparto del caudal de existente en la boca de riego.
- c) Se calcula dividiendo el caudal disponible en la boca de riego entre el caudal demandado por la instalación.
- d) Si se mezclasen distintos tipos de emisores dentro del mismo sector de riego, el reparto del agua sería más uniforme.

7. ¿Por qué es importante conocer la disponibilidad de agua en la boca de riego?

- a) Para ahorrar dinero en la elección de las tuberías, ya que a menor agua disponible, habrá que colocar menores longitudes de tubería.
- b) Para poder calcular el coste del litro de agua empleado para el riego del jardín.
- c) Para conocer los caudales máximos y mínimos que se van a tener en la instalación.
- d) Sirve de poco. En realidad es poco importante su conocimiento.

8. El volumen de los filtros de malla y anillas debe ser tal que la pérdida de carga originada en su interior no sea superior a 1 ó 2 m con el filtro limpio, y se recomienda que la velocidad del agua en su interior no exceda 0,6 m/s.

Verdadero/Falso

7.1. Introducción

El riego de jardines, tanto urbanos como particulares, se realiza cada vez más con sistemas de aspersión o localizado. La evaluación de las instalaciones permitirá **comprobar si su funcionamiento es adecuado** para poder aplicar los riegos de forma óptima, esto es, **satisfaciendo las necesidades del jardín y** al mismo tiempo **minimizando las pérdidas de agua**.

Es muy importante que los técnicos de la empresa instaladora del sistema de riego realicen **una evaluación completa, en presencia del propietario o de la persona encargada del jardín, una vez terminada la obra**, para garantizar el funcionamiento adecuado de la instalación, así como la *uniformidad de aplicación* que durante el proceso de diseño se haya estimado como adecuada. Posteriormente el responsable del riego del jardín se encargará de hacer **periódicamente una sencilla evaluación para controlar la uniformidad de aplicación**. También deberá realizar una evaluación siempre que sospeche de la existencia de algún problema en algún punto de la instalación, como *obturaciones*, fugas, etc.

Tanto o más importante que la evaluación de los componentes de la instalación de riego es el **mantenimiento periódico de la misma**, necesario para que éstos no se deterioren con el paso de los años y para que la uniformidad y eficiencia del agua aplicada no disminuya con el tiempo. Un buen mantenimiento de la red de riego del jardín ayudará a **prevenir problemas como obturaciones de las boquillas** de los emisores, en caso de riego localizado, o algún defecto de funcionamiento en los emisores en riego por aspersión y difusión. Todos estos problemas, evitables, causarán una baja uniformidad de aplicación y un gasto innecesario de agua.

7.2. Evaluación en sistemas de goteo

En aquellos jardines en los que se cuente con un sistema de riego localizado, es importante realizar una evaluación de los distintos componentes y piezas que formen parte de la instalación, así como de la uniformidad de aplicación del agua de riego, con el fin de **detectar y analizar los problemas de funcionamiento** y **plantear las soluciones más sencillas y económicas**.

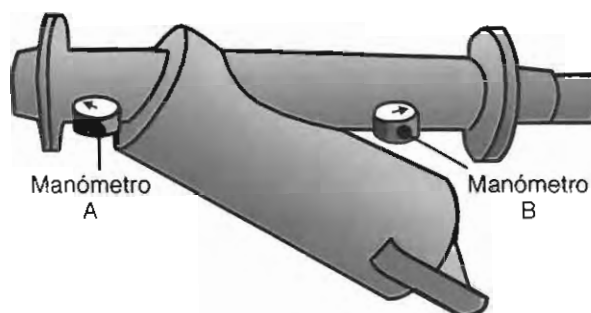


Figura 1. Instalación de riego localizado.

Si la instalación tiene equipo de filtrado, habrá que tomar nota del número de filtros, así como de la **capacidad de filtrado o caudal que puede filtrar el sistema**. Las características y el estado del elemento filtrante (arena, malla o anillas) también habrán de tenerse en cuenta, ya que de éste dependerá el buen funcionamiento del filtro. Así, **en los filtros de arena la capa de arena deberá ser uniforme**, tener un espesor mínimo de 50 centímetros, un tamaño de grano igual al diámetro mínimo de paso de agua en el emisor, y estar exenta de precipitados y adherencias. En los de **malla**, el **número de mesh**, o número de orificios por pulgada lineal, **es el indicador de la capacidad de retención** del filtro, no siendo recomendables mallas de más de 200 mesh, ni mallas con deformaciones ni roturas o con algún tipo de adherencia. En caso de disponer de filtros de **anillas**, será importante comprobar que todas tienen las **mismas características en cuanto al color, tamaño, material**, etc., y que carecen de grietas y de incrustaciones entre las ranuras.

Otro aspecto importante a tener en cuenta al evaluar los filtros es **la presión existente a la entrada y a la salida** de cada uno de ellos, instalando un manómetro en cada punto. La lectura de estos manómetros permitirá calcular la **diferencia de presión** entre ambos (**pérdida de carga**) y así poder determinar el momento de la **limpieza de los filtros**. En general, los filtros se limpiarán cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida de los mismos sea **superior a 5-6 m.c.a.**

En el caso de contar con filtros autolimpiantes también será necesario comprobar las pérdidas de carga para asegurar su correcto funcionamiento.



diferencia de presión en el filtro = lectura del manómetro A – lectura del manómetro B

Figura 2. Determinación de la diferencia de presión existente a la entrada y a la salida de un filtro de malla.

El **equipo de fertirriego** será evaluado al mismo tiempo que los filtros para poder **asegurar la incorporación de nutrientes** a todas las especies que compongan el jardín. Además, se deberá revisar la **dosis de fertilizante** que se esté aplicando así como el **funcionamiento de los inyectoros** (en caso de haberlos) y el **estado del tanque fertilizante**, que deberá limpiarse aproximadamente cada 15 días.

La evaluación de los **elementos de control, piezas especiales y automatismos** consistirá principalmente en tomar nota de la cantidad de cada uno de ellos, de su estado general así como de su situación dentro del sistema de riego. Es importante **comprobar el estado de todas las uniones y juntas** en este tipo de elementos para evitar fugas de agua, que puedan afectar a la uniformidad de aplicación. En caso de disponer de una **instalación automatizada**, será fundamental comprobar que la **dosis y frecuencia de riego son adecuadas**. También es importante revisar el estado de todas las conexiones eléctricas para prevenir desgastes y corrosiones.

Por último, se realizará la evaluación de los **laterales y emisores de riego** que consistirá en la realización de un pequeño croquis en el que se anote la disposición de los laterales respecto a las plantas, sus diámetros y la disposición de los emisores en cada lateral. De los *emisores* se anotará su **tipo, caudal nominal, diámetro mínimo de paso del agua**, y si existen de distinto tipo o marca, también se tomará nota de los tratamientos que se empleen para prevenir obturaciones. Es importante prevenir a los jardineros y jardineras de la utilización de *emisores* sin marca o con un alto coeficiente de variación de fabricación, por lo que habrá que contabilizar la presencia de este tipo de emisores. También se comprobará la **existencia de fugas y de obturaciones** ya que su eliminación ayudará a una mayor uniformidad de aplicación y a un mayor ahorro de agua.

La anotación de los componentes y características de la instalación de riego será la base para posteriores operaciones de mantenimiento, por lo que deberán quedar reflejadas en un croquis con las observaciones correspondientes sobre averías, reposiciones, etc. Esto será de gran ayuda para realizar un plan racional de mantenimiento.

EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

El proceso de evaluación de una instalación de riego localizado incluye el **estudio de la uniformidad** con que se esté aplicando el agua de riego y junto a ella los fertilizantes y demás productos fitosanitarios. Una **baja uniformidad** daría lugar a un **mal reparto de agua y de abono** con zonas del jardín que reciban un exceso de *nutrientes* y de agua y zonas deficitarias, lo que se traduce principalmente en una **estética paisajística inaceptable**.

Para evaluar la uniformidad del riego de un sector se elegirá un determinado número de **emisores distribuidos uniformemente**, que dependerá del tamaño de la instalación, del número de ramales y de la longitud de los mismos. Si la zona a evaluar cuenta con más de cinco líneas de emisores, se deben seleccionar la primera, la última y dos intermedias; en cualquier caso, se emplearán **el primer emisor, el último y dos o tres intermedios** en cada lateral a evaluar. El coeficiente a calcular es el **coeficiente de uniformidad de caudales (CUC)**, cuyo valor permitirá detectar faltas de eficiencia y solucionar pequeños problemas que mejoraran el funcionamiento del sistema y por tanto la eficiencia en el uso del agua de riego.

Antes de efectuar la medición de los caudales, se debe **comprobar el valor de la presión a la entrada del sector de riego que se esté evaluando**, con el fin de verificar que la presión disponible es la prevista para su correcto funcionamiento. En caso de no ser así, se regulará la presión hasta llegar a los límites adecuados.

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales se medirá, con la ayuda de una probeta o de un vaso graduado, el **volumen que cada uno de los emisores seleccionados suministra** en un tiempo determinado. El tiempo de medida del caudal **será igual para todos los emisores** y oscilará entre tres y cinco minutos. Con las medidas obtenidas se calculará el **caudal que suministra cada uno de éstos**.

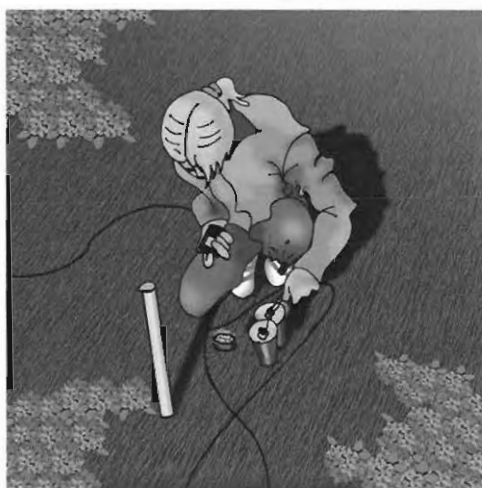


Figura 3. El coeficiente de uniformidad se determina mediante la medición del volumen de agua suministrado por cada gotero.

Una vez conocido el caudal que suministra cada uno de los emisores seleccionados para realizar la evaluación, se calculará el coeficiente de uniformidad de caudales siguiendo los pasos siguientes:

Primero: se calcula la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de los de más bajo caudal ($q_{25\%}$).

ejemplo

En un jardín se seleccionan ocho emisores de riego localizado para realizar una evaluación, repartidos en dos laterales. Se mide el caudal en $\text{cm}^3/\text{tiempo}$ de muestreo de cada emisor, siendo los resultados los que se muestran en la siguiente tabla. Con estos datos se desea calcular la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de más bajo caudal.

	CAUDAL (CENTÍMETROS CÚBICOS/TIEMPO DE MUESTREO)			
	Primer emisor	Emisor 1/3	Emisor 2/3	Último emisor
Lateral 1	290	350	300	330
Lateral 2	310	330	320	340

El jardinero que está realizando la evaluación ha seleccionado ocho emisores, por tanto tendrá que tomar los dos de menor caudal (señalados en azul) para calcular la media:

$$\text{Caudal medio de los emisores de menor caudal } (q_{25\%}) = \frac{290 + 300}{2} = 295 \text{ cm}^3/\text{tiempo de muestreo}$$



Segundo: se calcula la media de los caudales medidos en todos los emisores (q_m).

ejemplo

Con los datos de los caudales de la tabla del ejemplo anterior, el jardinero desea calcular la media de los caudales de todos los emisores:

$$\text{Caudal medio } (q_m) = \frac{290 + 310 + 350 + 330 + 300 + 320 + 330 + 340}{8} = 321,25 \text{ cm}^3/\text{tiempo de muestreo}$$

Tercero: una vez conocida la media de los caudales que representan la cuarta parte de más bajo caudal y la media de todos los caudales medidos durante la evaluación, $q_{25\%}$ y q_m , se calcula el coeficiente de uniformidad de caudales (CUC) con la siguiente expresión:

$$\text{CUC} = 100 \times \frac{\text{media de la cuarta parte con menor caudal}}{\text{caudal medio en todos los emisores}}$$

ejemplo

La persona encargada del jardín de una urbanización ha decidido realizar una evaluación de la uniformidad del riego en las fases o estaciones con riego localizado. Tras medir los caudales suministrados por los ocho emisores seleccionados, calcula su media (q_m) y la media de los dos que menos caudal proporcionan ($q_{25\%}$). Los resultados que obtiene son los siguientes:

$$\begin{aligned} q_{25\%} &= 295 \text{ cm}^3/\text{tiempo de muestreo} \\ q_m &= 321 \text{ cm}^3/\text{tiempo de muestreo} \end{aligned}$$

Con estos datos quiere calcular el coeficiente de uniformidad de caudales.

Solución:

$$\text{Coeficiente de uniformidad de caudales} = 100 \times \frac{\text{media de la cuarta parte con menor caudal}}{\text{caudal medio en todos los emisores}}$$

$$\text{CUC} = 100 \times \frac{295}{321} = 91,9\% \approx 92\%$$



Dependiendo del valor del coeficiente de uniformidad de caudales obtenido se le puede asignar una clasificación al sector de riego evaluado:

Valor del coeficiente de uniformidad	Calificación
Mayor de 94%	Excelente
De 86-94%	Bueno
De 80-86%	Aceptable
De 70-80%	Pobre
Menor de 70%	Inaceptable

Si el CUC no es aceptable, sería conveniente realizar medidas de presión en puntos críticos del sector de riego. Para ello se seleccionan las mismas líneas de emisores que se seleccionaron para medir el caudal, y con la ayuda de un manómetro se mide la presión en la cola de los ramales, y se compara con la existente a la entrada del sector. Si la diferencia de presión es superior al 10%, para goteros **no autocompensantes**, es necesario acortar la longitud de los ramales o aumentar su diámetro, es decir redimensionar la instalación. **En ningún caso se debe solventar este problema aumentando la presión de la red**, puesto que el problema persistiría e incluso aumentaría la descompensación de caudales.

En caso de disponer de **goteros autocompensantes** las medidas de presión entre la entrada del sector de riego y la cola de los ramales, deberá estar comprendida dentro del rango de compensación del emisor. Si no es así, habrá que modificar la presión para ajustarla a dicho rango y habrá que redimensionar el sector o los sectores de riego que presenten este problema.

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RIEGO

Para concluir la evaluación de un sistema de riego localizado, además de analizar la uniformidad del riego y el estado de los distintos componentes, se deberá comprobar si el manejo que se está haciendo del riego es correcto. Para ello será necesario conocer la **frecuencia**, la **duración de los riegos** y la **cantidad de agua aplicada en cada riego**. Con esto, la persona en cargada de realizar la evaluación, previa estimación de las *necesidades netas* y *brutas* de los días anteriores a la evaluación, podrá **comprobar si la cantidad de agua aplicada en los últimos riegos coincide o no con las necesidades brutas del jardín**.



7.3. Evaluación en sistemas de aspersión y difusión

Igual que ocurre en jardines con riego localizado, en aquellos con uno o varios sectores de riego por aspersión o difusión será necesario realizar una evaluación de los componentes y de la *uniformidad de aplicación* del agua de riego, para poder **detectar posibles problemas de funcionamiento y determinar la calidad de los riegos**.



Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 4. Las instalaciones de riego por aspersión necesitan ser evaluadas para garantizar su correcto funcionamiento.

La evaluación de los componentes consistirá básicamente en una **inspección a simple vista** de todos ellos, tuberías, juntas, emisores, elementos de control, piezas especiales, etc. En primer lugar se comprobará si los aspersores y difusores son idénticos en marca, modelo, tipo y diámetro de boquilla. Es fundamental que **en un mismo sector de riego no se mezclen aspersores con difusores**, y que **los emisores de ese sector sean todos idénticos**, de forma que se pueda asegurar que todas las zonas reciben la misma cantidad de agua. Otro aspecto importante en esta inspección visual es **comprobar si existen fugas en las juntas entre tuberías** de aspersión o en cualquier otro elemento de la instalación, especialmente en las conexiones a las *tomas o bocas de riego*.

Finalmente se deberá **tomar nota de la existencia o no de elementos de medida y control** de agua: *manómetros, tomas manométricas, reguladores de presión, contadores*, etc. También se anotará la cantidad que existe de cada uno de ellos, su ubicación dentro de la instalación y el estado general de los mismos.

EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

En las instalaciones de riego por aspersión o por difusión se debe realizar una evaluación de la uniformidad de aplicación del riego para **evitar la presencia de zonas con un exceso de agua y otras con un déficit** dentro del jardín. Además, una baja uniformidad implicará la aplicación de un exceso de agua para que las zonas que reciban menos cantidad estén suficientemente abastecidas.

Para evaluar la uniformidad de un riego por aspersión o difusión, es conveniente elegir un día de viento en calma, para evitar errores no imputables a la instalación. El primer paso es **seleccionar un sector de riego representativo** en cuanto a las características de los *aspersores* o *difusores*, marco de aspersión, número de boquillas y diámetros. Esta zona también ha de ser representativa en cuanto a la presión media de la instalación. A continuación se colocarán **vasos pluviométricos repartidos homogéneamente formando una malla** entre dos ramales de la zona a evaluar, de la que se seleccionarán 4 ó 6 emisores. Los vasos se situarán sobre el suelo cuando las plantas de la zona no alteren la lluvia de los *aspersores*, y justo por encima de éstas en el caso contrario. Como vaso se podrá utilizar cualquier recipiente de al menos **10 centímetros de diámetro y bordes agudos y sin deformaciones**.

Dependiendo del marco en el que están colocados los *aspersores* o los *difusores*, normalmente entre 8 y 10 metros para los primeros, y entre 3 y 5 metros para los segundos, la red de vasos pluviométricos será tal que entre cuatro emisores el número total de vasos oscile entre 4 y 25. Así, por ejemplo, en el caso de un jardín con *aspersores* cada 10 metros los vasos se colocarán como se muestra en la figura.

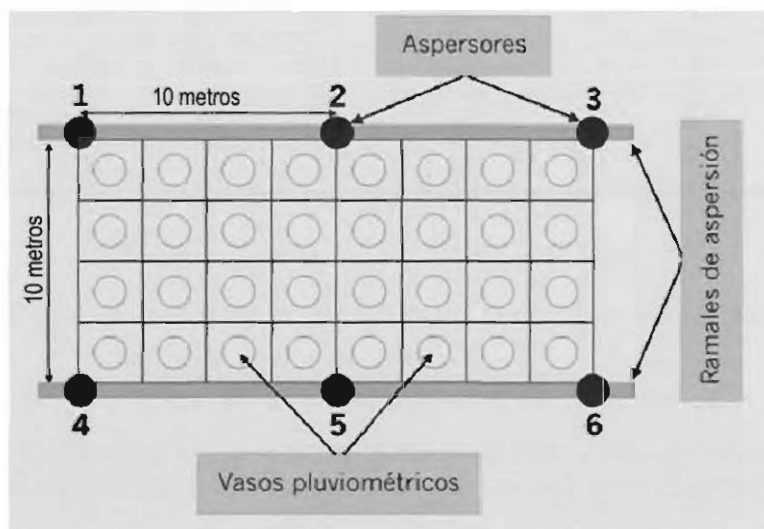


Figura 5.



Los vasos pluviométricos recogerán la lluvia de los aspersores o difusores y posteriormente, con ayuda de una probeta, se medirán los volúmenes suministrados por cada uno de ellos. Cuanto mayor sea el tiempo durante el cual los vasos recogen agua, más fiables serán los resultados de la evaluación. El tiempo que debe durar la recogida será como mínimo de **60 minutos**, transcurrido el cual se corta el riego, de manera momentánea si éste no ha finalizado, para **medir el volumen recogido en cada vaso**. Los volúmenes se medirán en centímetros cúbicos (cm³) y con ellos se calculará un coeficiente de uniformidad (CU), siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Primero:** se calcula la media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos (V_m).
- Segundo:** se calcula la media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua ($V_{25\%}$).
- Tercero:** el **coeficiente de uniformidad de la zona evaluada (CU_{zona})** se obtendrá utilizando la siguiente fórmula:

$$CU_{zona} = 100 \times \frac{\text{volumen medio de la cuarta parte de los vasos con menos agua}}{\text{volumen medio de todos los vasos}} = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

ejemplo

Para realizar la evaluación de la uniformidad del riego en un jardín cuyos aspersores están situados en un marco de 8 x 8, la persona encargada de la evaluación coloca una red de vasos pluviométricos de 2 x 2 entre seis aspersores y mide los volúmenes que se muestran en la siguiente tabla. Con ellos quiere calcular el coeficiente de uniformidad de la zona evaluada.

Volúmenes recogidos en los vasos (centímetros cúbicos, cm ³)							
187	159	205	125	166	160	198	150
165	164	197	131	169	139	173	164
172	137	181	168	174	142	190	146
151	130	200	169	186	171	195	149

Solución:

En primer lugar se calcula la media de los volúmenes recogidos en todos los vasos (V_m)

$$\text{Volumen medio} = V_m = 166 \text{ centímetros cúbicos}$$

A continuación se calcula la media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que hayan recogido menos agua, los ocho destacados en azul en la tabla anterior, ($V_{25\%}$).



Volumen de la cuarta parte de los vasos con menos agua = $V_{25\%} = 137,4 \text{ cm}^3$

Por último se calcula el coeficiente de uniformidad de la zona evaluada.

$$CU = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m} = 100 \times \frac{137,4}{166} = 82,77\%$$

Si se dispone de tiempo y medios, la evaluación de la uniformidad de riego se debería realizar en todos los sectores de la instalación. De esta forma, los resultados obtenidos serán bastante más fiables y las soluciones que se adopten, en caso de existir algún problema, más acertadas.

EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EVALUACIÓN Y ARRASTRE

La uniformidad de aplicación en riego por aspersión se ve afectada de forma negativa por la **evaporación de las gotas de agua que producen los aspersores y por el arrastre de las gotas por efecto del viento**. Estas pérdidas también están influenciadas por el tamaño de las gotas que generan los aspersores, siendo mayores cuanto menor sea el tamaño de gota y mayor el viento y la temperatura.

Las pérdidas por evaporación y arrastre se pueden cuantificar de forma general teniendo en cuenta **la velocidad del viento y la humedad del ambiente**. Así:

- Se considerarán unas pérdidas de aproximadamente un 5% en situaciones de poco viento, menor de 2 m/s.
- Las pérdidas ascenderán en torno al 10% cuando el viento sea moderado, entre 2 y 4 m/s.

Estos valores deberán incrementarse siempre que se observe que las gotas se pulverizan en exceso, posiblemente porque el aspersor esté trabajando a una presión por encima de la adecuada, y cuando el ambiente sea muy cálido y seco. En estos casos las pérdidas pueden suponer **hasta un 20% del agua aplicada** por los aspersores.

Es importante que los **aspersores y difusores trabajen siempre dentro del rango de presión recomendada por el fabricante**. En situaciones de viento, si es aconsejable disminuir de forma



moderada esta presión recomendada para disminuir las pérdidas por arrastre y conseguir una mayor uniformidad de aplicación, si bien esto puede modificar los valores de pluviometría del emisor y reducir la uniformidad.

EFICIENCIA DE APLICACIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA DE RIEGO

La eficiencia de aplicación óptima o eficiencia de aplicación máxima que se puede conseguir con el sistema de riego, es la utilizada en la programación de riegos para calcular las necesidades brutas de riego a partir de las necesidades netas (ver Unidad Didáctica 2).

La eficiencia de aplicación es el **tanto por ciento del agua de riego que es realmente utilizada por el cultivo con respecto al total de agua aplicada**. Para calcularla hay que considerar las pérdidas de agua originadas por *filtración profunda* y por *escorrentía*. Para el caso de riegos por aspersión y difusión es preciso introducir pérdidas por evaporación y arrastre del viento, pudiéndose considerar nulas las pérdidas por escorrentía, que no existirán si el sistema está bien diseñado y no existen fugas. La eficiencia de aplicación será:

$$\text{Eficiencia de aplicación} = 100 - \text{filtración profunda} - \text{evaporación y arrastre}$$

Las pérdidas por filtración profunda se obtienen fácilmente de la relación existente entre el coeficiente de uniformidad obtenido en la evaluación, el déficit de agua del cultivo y la filtración profunda. De esta forma, conociendo el coeficiente de uniformidad del sistema de riego y aceptando que se produzca un cierto déficit, se puede determinar la filtración profunda. El porcentaje de déficit deberá determinarlo la persona encargada del riego en función de varios factores entre los que destacan:

- ▶ **Disponibilidad de agua**, pudiendo asumir un mayor déficit cuanto menor sea el agua disponible.
- ▶ **Estado de desarrollo de las plantas**, el déficit asumido podrá ser mayor en los periodos menos críticos.
- ▶ **Tiempo de riego**, el número de horas disponibles para el riego determinará un mayor o menor porcentaje de déficit.
- ▶ **Resistencia del cultivo a una deficiencia de agua**, cuanto mayor sea esta resistencia, mayor podrá ser el déficit asumido.

En general, el porcentaje de déficit que se asume toma un valor máximo de un 10-15%.

Filtración profunda (%)					
Déficit (%)	CU (%)				
	75	80	85	90	95
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	-
10	6	2	1	-	-
15	3	1	-	-	-
20	1	-	-	-	-

ejemplo

Tras realizar la evaluación en un jardín con riego por difusión se ha obtenido un coeficiente de uniformidad del 85% y unas pérdidas por evaporación y arrastre del 18%. Admitiendo un déficit de 5%, ¿qué eficiencia de aplicación se habrá de considerar para obtener las necesidades brutas de riego a partir de las necesidades netas?

Filtración profunda (%)					
Déficit (%)	CU (%)				
	75	80	85	90	95
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	-
10	6	2	1	-	-
15	3	1	-	-	-
20	1	-	-	-	-

Según se desprende de la tabla, para un déficit de 5% y un CU del 85%, el valor de la filtración profunda es de un 5%, por tanto, la eficiencia de aplicación a considerar en el cálculo de las necesidades brutas de riego será:

$$\text{Eficiencia de aplicación (Ea)} = 100 - \text{filtración profunda} - \text{evaporación y arrastre} = 100 - 5 - 18 = 77\%$$

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RIEGO

La evaluación del sistema de riego es la última parte de la evaluación de un sistema de riego por aspersión o por difusión. Consiste simplemente en comprobar si la **cantidad de agua que se está aplicando con el riego coincide o no con las necesidades brutas de riego estimadas** en los días previos a la evaluación.

7.4. Mantenimiento de las instalaciones

Las instalaciones que forman parte del sistema de riego de un jardín deben **mantener un buen estado de conservación para garantizar un funcionamiento adecuado a lo largo de los años**. Esto supondrá realizar revisiones periódicas de todos los componentes implicados en el riego, desde emisores hasta sensores o automatismos. Con esto se conseguirá mantener una uniformidad y una eficiencia de aplicación aceptables.

PREVENCIÓN DE OBTURACIONES DE LOS GOTEROS

Uno de los principales problemas del riego localizado es la **obturación de los goteros**, lo que se traduce en una pérdida de uniformidad y eficiencia del riego.

Las obturaciones suelen descubrirse cuando su estado es muy avanzado, momento en que la solución no es nada fácil. Por esto, **la mejor forma de lucha frente a este problema es la prevención**, mediante un buen programa de mantenimiento y una buena elección de los emisores, teniendo en cuenta factores como el *diámetro mínimo de paso*, el diseño o el tipo de emisor a instalar. Así por ejemplo, los emisores de bajo caudal (menos de 16 l/hora) presentan mayor riesgo de taponamiento por tener un diámetro de paso del agua más pequeño.

Según el diámetro mínimo, la sensibilidad de obturación de los emisores será:

Díámetro mínimo (milímetros)	Sensibilidad a las obturaciones
Menor de 0,7	Alta
Entre 0,7 y 1,5	Media
Mayor de 1,5	Baja

Otro factor importante que afecta a la aparición de obturaciones es la **aplicación de fertilizantes** con el agua de riego. Para evitar que las partículas *fertilizantes* que no se disuelvan puedan obstruir los goteros es importante exista a un **filtro de mallas o de anillas entre la salida del equipo de fertirriego y la conducción general**.

Según el agente causante, las obturaciones se pueden clasificar en: físicas, químicas y biológicas.

Obturaciones físicas

Este tipo de obturaciones está causado por la presencia de partículas sólidas que el agua de riego lleva en suspensión, **obturaciones internas**, o bien por la entrada de materiales desde el exterior, **obturaciones externas**.

Las obturaciones internas se producirán con mayor o menor facilidad según la calidad del agua de riego. Para prevenirlas es importante que los filtros de la instalación de riego estén **bien dimensionados**, procurando que el diámetro de paso sea el adecuado. Las externas, se pueden prevenir fácilmente **evitando el contacto de la salida del emisor con el suelo**, colocando los emisores a una determinada altura o instalándolos con los orificios hacia arriba. En el caso de riego subterráneo se podría evitar la entrada de raíces aplicando un herbicida a través de la red de riego, bajo el control y asesoramiento de personal especializado; también se pueden emplear emisores impregnados de herbicida, así como emisores antisucción para evitar la entrada de partículas externas, o mecanismos que inyecten aire a presión justo en el momento de cesar el riego.



Figura 6. La colocación de los goteros en una posición correcta, previene de posibles obturaciones internas en los mismos.

Obturaciones químicas

Este tipo de obturaciones se produce por la **precipitación de sustancias disueltas en el agua** de riego, principalmente calcio, hierro y fertilizantes.

Los **precipitados de calcio** se suelen producir en forma de carbonatos y generalmente a la salida de los emisores o en los puntos donde el agua queda en reposo entre un riego y el siguiente. Para evitar su aparición se le suele añadir al agua de riego **ácido nítrico**, empleando una dosis que dependerá de las características del agua, por lo que habrá que determinarla en un laboratorio tras un análisis químico. Como **dosis orientativa** se recomienda **un cuarto de litro por metro cúbico de agua de riego**. La dosis de ácido se puede también calcular por tanteo, es decir añadiendo poco a poco ácido a una cantidad determinada de agua, por ejemplo diez litros, hasta conseguir bajar el pH hasta índices óptimos para la instalación (entre 5,5 y 6). Posteriormente se calcula la cantidad de ácido necesaria por cada metro cúbico de agua de riego.

ejemplo

Para reducir el pH de una muestra de 10 litros de agua son necesarios 3 centímetros cúbicos de ácido nítrico, ¿que cantidad de ácido será necesaria aportar por cada metro cúbico de agua de riego?

Solución

Sabiendo que 1m³ son 1000 litros,

10 litros	—————→	3 cm ³ de ácido
1000 litros	—————→	x cm ³ de ácido

$$x = 3 \times 1000/10 = 300 \text{ cm}^3 \text{ de ácido}$$

Los **precipitados de hierro** se producen en aguas que llevan hierro disuelto, éste al oxidarse precipita y forma pequeños depósitos de color marrón que provocan las obturaciones. Para prevenir la aparición de estos precipitados se debe evitar su entrada en la red de riego, mediante la **oxidación y precipitación del hierro antes de su paso por los filtros** a través de una agitación mecánica del agua. Si esto no es posible, se puede **clorar el agua**, ya que el cloro oxida el hierro y el precipitado que se produce puede ser filtrado. La cantidad de cloro a inyectar se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{ppm de cloro} = 0,65 \times \text{ppm de hierro en agua}$$



La práctica del fertirriego también puede producir obturaciones en los emisores por **precipitación, mala disolución o incompatibilidad de los fertilizantes** al realizar la solución nutritiva. Con una mezcla de abonos adecuados, un uso de abonos totalmente solubles y un adecuado manejo de la *fertirrigación*, se puede evitar la aparición de estas obturaciones.

En cualquiera de estos casos, si las medidas preventivas no son suficientes y aparecen las obturaciones, se puede **aplicar ácido nítrico al agua de riego en el caso de las cálcicas, y sulfúrico en el de las férricas**. Si se opta por tratamientos con ácido habrá que tener en cuenta que se trata de un producto **altamente corrosivo** que debe ser manejado con especial cuidado, es decir utilizando guantes, gafas y ropa adecuada.



Figura 7. La manipulación de productos ácidos o peligrosos debe realizarse utilizando prendas de protección adecuadas.

En general, las obturaciones químicas se tratan con ácido nítrico, sulfúrico, fosfórico y clorhídrico; las dosis de cada uno de ellos han de determinarse tras un análisis químico del agua a tratar, pero como dosis orientativas pueden emplearse las que se indican a continuación, **siempre teniendo en cuenta aplicar un riego sólo con agua durante minutos antes y después de los tratamientos**.

- ▶ **Ácido nítrico**, para tratamientos preventivos se utilizan unos 0,25 l/m³ de agua. Si se va a realizar un tratamiento de limpieza, la dosis se debe aumentar hasta 0,5-1 l/m³ de agua.
- ▶ **Ácido sulfúrico**, la dosis media que suele utilizarse es de unos 0,5-1 l/m³.
- ▶ **Ácido fosfórico**, suele emplearse en concentraciones de 0,25-0,5 cm³/l de agua.



- **Ácido clorhídrico**, para tratamientos preventivos es recomendable una dosis de unos 0,5-1 cm³/m³ de agua, y si se trata de eliminar precipitados ya formados, se deberá aumentar la dosis hasta 5-10 cm³ de ácido por litro de agua.

Cuando en el interior de las tuberías se producen precipitados resistentes a los tratamientos de limpieza, es conveniente realizar una limpieza en profundidad con mayores dosis de ácido. Para ello es conveniente llenar la red después de un riego, siempre que se garantice la estanqueidad, con agua y ácido en cantidad suficiente para bajar el pH a 3. Esta mezcla debe dejarse en reposo en el interior de la red de riego durante unas 24 horas, transcurridas las cuales se realizará un riego abundante con más presión de lo habitual. Si es posible, conviene destapar los ramales portagoteros durante un minuto o dos, para evacuar los precipitados no disueltos por el ácido, y evitar así que obturen los emisores.

Obturaciones Biológicas

Las obturaciones biológicas se producen por **la acumulación de algas, bacterias o restos vegetales en la red de riego**, lo que suele suceder cuando el agua de riego permanece estancada en albercas, balsas o depósitos antes de ser utilizada para el riego. El riesgo de obturaciones biológicas es mayor cuando el riego se realiza con agua residual depurada. En ambos casos como medida de **prevención** se deberá **clorar el agua con hipoclorito sódico**, teniendo especial precaución cuando se rieguen cultivos sensibles al cloro.

Las dosis recomendadas para el control de algas y bacterias con hipoclorito sódico son las que se recogen en la siguiente tabla:

	Hipoclorito sódico (100 gramos de cloro activo/litro)
Prevención	0,1 - 0,15 litros/m ³
Limpieza	1 - 3 litros/m ³

Es muy importante tener en cuenta que **no se pueden mezclar tratamientos con hipoclorito sódico con tratamientos con ácido**, ya que en este caso el cloro se desprende en forma de gas, lo que resulta extremadamente venenoso.



MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

El objetivo de un buen mantenimiento de las instalaciones de riego es conseguir que **todos los componentes se conserven adecuadamente**. Esto implica la preparación de todos ellos antes de comenzar a regar, así como revisiones periódicas de los mismos durante el tiempo que estén funcionando, para comprobar su estado general.

En las instalaciones de riego localizado es importante realizar una **limpieza de tuberías y laterales** una vez terminadas las obras de instalación del sistema y antes de comenzar a regar, **dejando los finales de todas las tuberías abiertos** durante el tiempo que se estime para limpiar posibles restos de plástico y suciedad generada en el interior de la red durante el montaje. Independientemente del método de riego empleado, un buen mantenimiento de las instalaciones pasa por un **control de todos los componentes**, desde los filtros hasta los emisores de riego, pasando por válvulas, sensores, automatismos, cables eléctricos, etc.

En lo que se refiere al **sistema de filtrado**, es importante **revisar periódicamente los componentes internos**, arena, mallas o anillas y cambiarlos si fuera necesario. Además esta revisión determinará el **momento de la limpieza**, cada semana o cada diez días, según la lectura de los *manómetros*. En caso de disponer de filtros con sistemas de limpieza automática, se deberá comprobar su funcionamiento, así como el estado de los cables y conexiones eléctricas.

El mantenimiento de contadores, válvulas, reguladores de presión y demás **elementos de medida y control**, pasa por su **limpieza e inspección periódica** para evitar fugas y comprobar que operan correctamente. En el caso de los automatismos, se comprobará el estado general de los contactos y conexiones eléctricas, y el correcto funcionamiento de todos los accesorios y sensores.

Por último se deberá **revisar visualmente toda la red de riego** a fin de **detectar fugas en cualquier punto** y repararlas si se presentan, revisar el estado general de todas las *juntas* y descubrir signos de deterioro o daños causados por animales o vandalismo y en su caso, sustituir los elementos dañados. Con esta revisión también se podrá verificar el correcto funcionamiento de los emisores y sustituir o reparar los que lo requieran.





Foto cedida por Toro-Riego Verde, S. A. (Riversa)

Figura 8. Para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, se deben revisar periódicamente todos sus componentes, y reparar los posibles daños que pudieran haberse ocasionado en los mismos.

7.5. Manejo del riego

Un sistema de riego bien diseñado e instalado es necesario para poder realizar un uso adecuado del agua de riego. De igual forma, para cumplir este objetivo es imprescindible un manejo correcto durante su uso, que permita conseguir una **elevada uniformidad de aplicación y reducir al mínimo las pérdidas de agua**. Para optimizar los resultados del riego se deberán emplear algunas prácticas de mejora, en general sencillas y poco costosas, entre las que destacan el control de la presión de trabajo de aspersores y difusores y el riego en situaciones de viento.

CONTROL DE LA PRESIÓN DE TRABAJO

La presión de trabajo durante el riego debe ser **conocida y próxima a la recomendada por el diseño**, o si se desconoce, por el fabricante de los equipos. Para esto es necesario que la persona encargada del riego del jardín la conozca consultando catálogos o preguntando directamente a la casa comercial o a la persona responsable de la instalación del sistema de riego.



Tabla de rendimiento de la Serie 2001

kg/cm ²	PSI	Juego de boquillas 6				Juego de boquillas 9				Juego de boquillas 12				Juego de boquillas 18				Juego de boquillas 24			
		Rad	l/mn	Δ	□	Rad	l/mn	Δ	□	Rad	l/mn	Δ	□	Rad	l/mn	Δ	□	Rad	l/mn	Δ	□
2,8	39,8	15,3	19,3	4,5	5,0	15,9	29,4	6,1	7,0	16,2	38,7	7,7	8,9	16,8	55,5	10,2	11,8	17,4	69,3	11,9	13,8
3,5	49,7	15,6	21,8	4,7	5,4	16,2	33,1	6,6	7,6	16,5	44,2	8,5	9,8	18,3	63,5	9,9	11,4	19,2	79,8	11,2	13,0
4,2	59,7	15,9	23,9	4,9	5,7	16,5	36,5	7,0	8,1	16,8	49,1	9,1	10,5	19,2	71,3	10,0	11,6	20,4	88,2	11,0	12,7
4,9	69,6	16,2	25,9	5,1	5,9	16,8	39,7	7,3	8,5	17,1	53,7	9,6	11,1	19,8	78,0	10,3	11,9	21,7	96,2	10,7	12,3
5,6	79,6	16,5	27,8	5,3	6,1	17,1	42,6	7,6	8,8	17,7	57,7	9,6	11,1	20,7	84,6	10,2	11,8	22,3	104,8	11,0	12,7
6,3	89,5	16,8	29,6	5,5	6,3	17,7	45,5	7,5	8,7	18,0	61,7	9,9	11,4	21,0	90,4	10,6	12,2	22,6	110,8	11,3	13,0
7,0	99,5	17,1	31,3	5,6	6,4	18,3	48,3	7,5	8,7	18,6	69,0	10,4	12,0	21,4	95,7	10,9	12,6	23,5	118,4	11,2	12,9

*Δ La pluviometría es para espaciamientos triangulares, se indica en milímetros por hora y está calculada al 50% del diámetro.
 □ La pluviometría es para espaciamientos cuadrados, se indica en milímetros por hora y está calculada al 50% del diámetro.
 Todas las especificaciones de rendimiento se basan en la presión de trabajo indicada en la base de la cabeza del aspersor.

Figura 9. La presión de trabajo de los emisores es una información que puede ser conocida mediante la consulta de catálogos comerciales.

En los sistemas de riego por aspersión y difusión, si la presión de trabajo es demasiado baja las gotas emitidas son de gran tamaño, y si es demasiado alta, el chorro de agua se pulveriza en exceso. En ambos casos **la distribución del agua no es la adecuada**. En el segundo caso los efectos del viento se acentúan y además se produce un mayor consumo de energía. Por este motivo es importante **conocer la presión existente al inicio de la instalación**, en la boca o toma de riego, y modificarla, si fuera necesario. En caso de disponer de una presión demasiado elevada, será necesario instalar un **regulador de presión** que permita disminuirla hasta el valor adecuado; por el contrario, si la presión es demasiado baja, será necesario un **equipo de bombeo** que la eleva hasta el valor requerido. Cuando el jardín se abastece de la red urbana, es frecuente que la presión sufra variaciones, por lo que en estos casos la mejor solución para mantener la presión de la instalación es instalar un regulador de presiones, ya que las llaves de paso son muy sensibles a los cambios de presión aguas arriba y no son demasiado fiables.

RIEGO EN SITUACIONES DE VIENTO

El viento es un factor negativo del riego por aspersión y difusión ya que **disminuye la uniformidad de aplicación** del agua lanzada por el aspersor. Cuanto mayor sea la velocidad del viento mayores son las pérdidas por evaporación y arrastre de las gotas de agua.

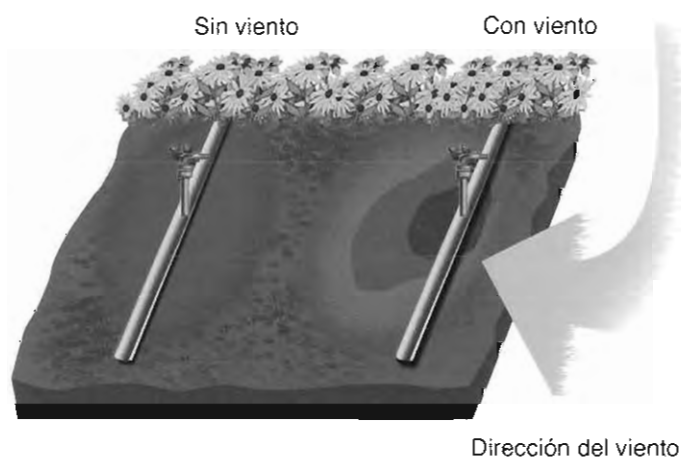


Figura 10. Efecto del viento en la distribución del agua en un riego por aspersión.

En zonas típicas de viento, siempre que sea posible, se recomienda situar los aspersores o los difusores en un marco triangular para conseguir mayor uniformidad de aplicación, o bien situarlos en un marco más reducido que en aquellas zonas donde los vientos no sean un factor limitante de la uniformidad de aplicación.



Cuando la velocidad del viento es **superior a 8 km/h** (unos 2 m/s) se recomiendan una serie de medidas que disminuyen los efectos del viento:

- ▶ Utilizar **marco triangular** siempre que sea posible.
- ▶ Utilizar una **presión de trabajo algo inferior a la recomendada por el fabricante**.
- ▶ Si es posible, **regar durante la noche**, ya que la velocidad del viento suele ser menor.
- ▶ Regar en **pequeños ciclos repetidos**.
- ▶ Utilizar aspersores o difusores de **menor alcance**.

Con vientos de moderados a fuertes, por encima de los **20 km/h** (unos 5 m/s) se recomienda **no regar**.

7.6. Manejo de la fertirrigación y quimigación

La incorporación de sustancias fertilizantes al agua de riego recibe el nombre de **fertirrigación**. Su realización es cada vez más frecuente, sobre todo en los sistemas de riego localizado, en los que se consigue una mayor eficacia en la aplicación de los elementos nutritivos que necesitan las plantas.

En riego localizado la práctica del fertirriego aporta numerosas **ventajas** entre las que destacan:

- ▶ El ahorro de *fertilizantes* debido a su aplicación directamente en la zona de las raíces.
- ▶ La mejor asimilación de los *nutrientes* aplicados disueltos en agua en la zona de raíces.
- ▶ La posibilidad de dosificar los fertilizantes en función de las necesidades de la planta en cada momento
- ▶ La posibilidad de actuar con rapidez en estados carenciales de un determinado elemento nutritivo
- ▶ La reducción del impacto ambiental negativo que ocasionan las pérdidas de fertilizantes por lixiviación.
- ▶ La posibilidad de automatizar el proceso, lo que dará lugar a una dosificación y momento de aplicación más ajustados.

Los **inconvenientes** del fertirriego en los sistemas de riego localizados, menos numerosos que las ventajas, **pueden evitarse con un adecuado manejo de la técnica**, como ocurre en caso de *obturación* de los emisores o de aumento de la *salinidad* del agua de riego.

Para evitar las obturaciones se deben emplear **abonos totalmente solubles y realizar mezclas de aquellos que sean compatibles**, es decir que al entrar en contacto unos con otros no formen precipitados; además, es importante realizar la solución nutritiva en función del fertilizante menos soluble, para que el volumen de agua en el que se disuelvan sea el adecuado. Un punto muy importante al fertirrigar, es **iniciar y finalizar el proceso sólo con agua**, para limpiar las conducciones y lavar el exceso de sales acumuladas en el *bulbo húmedo*. Se recomienda que al menos un 20% del tiempo total destinado al riego, se emplee en este proceso de limpieza.

La dosis de abono varía en función de numerosos factores, tipo de planta, estado de desarrollo, tipo de abono, etc., como recomendación general se debe aplicar un máximo de 0,5 gramos de abono por litro de agua de riego. En casos excepcionales se puede llegar a 1 gramo por litro de agua. En cualquier caso, la conductividad eléctrica del agua de riego cuando se está aplicando abono, nunca debe sobrepasar los 2,5 mmhos.

A través del equipo de fertirriego también se pueden incorporar otras sustancias, como productos fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, funguicidas, nematicidas, etc.), y otros productos químicos (ácidos) para la limpieza y prevención de obturaciones en los emisores de riego y, en el caso de emisores enterrados, para evitar la entrada de raíces en los mismos. La **incorporación de productos agroquímicos con el agua de riego**, recibe el nombre de **quimigación**.



Figura 11. La quimigación permite la aplicación de productos fitosanitarios como los plaguicidas, a través del agua del riego.

La fertirrigación y quimigación, aunque menos frecuente que en riego localizado también puede llevarse a cabo en los sistemas de riego por aspersión. En estos casos pueden producirse otros inconvenientes ya que se trata de sistemas de cobertura total, lo que puede provocar **manchas en la superficie de las plantas, e incluso quemaduras** por acumulación de sales o de cualquier otro componente de la solución nutritiva, una vez evaporada el agua de la superficie de éstas. Para evitar esto es importante **aumentar el tiempo de lavado**, es decir, dedicarle más de un 20% del tiempo total de riego a la aplicación únicamente de agua, que posibilite el lavado de la superficie de las plantas.

FRECUENCIA DE LA FERTIRRIGACIÓN

La incorporación de las sustancias nutritivas, de los productos fitosanitarios, y demás elementos que pueden aplicarse en el agua de riego a través del equipo de fertirriego, puede realizarse de forma continua o fraccionada. Según el caso, puede distinguirse entre fertilización continua y fertilización fraccionada.

La **fertilización continua** incorpora los nutrientes en función de la demanda de la planta, con la misma frecuencia que el agua de riego. Este sistema está más extendido en el caso de cultivos hidropónicos y de plantas de alto valor económico que requieran un control muy estricto del abonado. El agua de riego está permanentemente fertilizada; la dosis de abonado se varía en función de los resultados obtenidos de análisis periódicos del agua de drenaje de estas plantas. Es la forma ideal para nutrir los vegetales.

La **fertilización fraccionada** incorpora los fertilizantes y demás productos en distintas fases de desarrollo de las plantas que componen el jardín, aprovechando la capacidad del suelo de retener e intercambiar nutrientes con las plantas. En los sistemas de riego localizado esta capacidad se ve reducida por el continuo lavado a que está sometida la zona de bulbo húmedo. En estos casos es importante realizar la fertirrigación más frecuentemente que cuando se emplea otro sistema de riego.

La fertilización fraccionada se utiliza más que la continua, si bien la fertirrigación en general no está demasiado extendida en jardinería. En la actualidad la fertilización continua se está llevando a cabo principalmente en campos de golf, en los que es muy importante mantener el césped con una buena calidad.

7.7. Resumen

El objetivo de la realización de evaluaciones periódicas de las instalaciones, tanto de riego localizado como por aspersión o difusión, es comprobar que los riegos se realizan de manera adecuada, satisfaciendo las necesidades del jardín. Además, en una evaluación se analizará el funcionamiento de todos los componentes del sistema, lo que permitirá detectar problemas de funcionamiento y plantear soluciones sencillas y económicas.

En las instalaciones de riego localizado, la uniformidad del riego se evalúa a través del coeficiente de uniformidad de caudales (CUC). En las de riego por aspersión o por difusión, además del coeficiente de uniformidad, es importante considerar las pérdidas por evaporación y arrastre del viento para calcular la eficiencia de aplicación máxima que se puede conseguir con el sistema de riego.

Además de evaluaciones periódicas de las instalaciones de riego es importante un mantenimiento adecuado de las mismas, para que todos los componentes funcionen correctamente, y la uniformidad y eficiencia de aplicación no disminuya con el paso del tiempo. Al mismo tiempo se deberán emplear algunas prácticas de mejora que permitan optimizar los resultados de los riegos, como el control de la presión de trabajo y del riego en situaciones de viento.

La aplicación de fertilizantes (fertirrigación), y de productos agroquímicos (quimigación) con el agua de riego, son técnicas cuyo uso se está incrementando en jardinería, y que llevadas a cabo con un adecuado manejo, ofrecen numerosas ventajas en las zonas donde se realicen.



AUTOEVALUACIÓN

1. Una evaluación de una instalación de riego permite detectar problemas de funcionamiento y analizar las soluciones más adecuadas.

Verdadero / Falso

2. La evaluación de la uniformidad de aplicación del agua de riego en un jardín se debe realizar:

- a) En una esquina del jardín.
- b) En un sector de riego representativa de la instalación.
- c) En toda el área del jardín puesto en riego.
- d) No es necesaria evaluar la uniformidad de aplicación en jardines.

3. En un mismo sector de riego se podrán combinar distintos tipos de aspersores y difusores.

Verdadero / Falso

4. En un jardín regado por aspersión, una vez seleccionada la zona donde se va a realizar la evaluación:

- a) Se colocan varios vasos pluviométricos repartidos al azar.
- b) Se colocan los vasos pluviométricos homogéneamente formando un círculo alrededor de los aspersores.
- c) Se colocan los vasos pluviométricos homogéneamente formando una malla.
- d) Se colocan tres vasos pluviométricos por aspersor.

5. Las pérdidas por evaporación y arrastre, en un riego por aspersión están influenciadas por:

- a) La temperatura y el viento.
- b) El tamaño de las gotas de agua que dan los aspersores.
- c) La presión de trabajo de los aspersores.
- d) Todas las respuestas son correctas.

6. El problema de la obturación de los emisores de riego localizado tiene fácil solución, por este motivo no se debe actuar hasta detectar el problema.

Verdadero / Falso

7. Cuando la velocidad del viento es superior a 8 km/h, se recomienda:

- a) Utilizar un marco de los aspersores en cuadrado.
- b) Situar la presión de trabajo por encima de la recomendada por el fabricante.
- c) Siempre que sea posible, regar durante la noche.
- d) Aumentar el marco de riego.

8. La fertirrigación consiste en:

- a) La aplicación de insecticidas con el agua de riego.
- b) La aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios con el agua de riego.
- c) La aplicación de sustancias fertilizantes con el agua de riego.
- d) Regar con agua procedente de una depuradora.

9. En caso de realizar fertirrigación y quimigación durante un riego por aspersión el tiempo de lavado deberá ser:

- a) Menos de un 20% del tiempo total de riego.
- b) Más de un 20% del tiempo total de riego.
- c) En riego por aspersión no es necesario realizar un lavado sólo con agua.
- d) Entre un 10 y un 15% del tiempo total de riego.



8.1. Introducción

El riego por superficie ha sido el sistema de aporte de agua más utilizado en jardinería a lo largo de la historia, hasta la aparición de métodos más modernos y eficientes, como los sistemas de riego localizado, y por aspersion.

En los sistemas de riego por superficie el agua es aportada al suelo, cubriéndolo en su totalidad o circulando sobre éste, a la vez que se infiltra en su interior. **La distribución del agua sobre la superficie del suelo, es la responsable de algunos de los inconvenientes de este sistema**, como el elevado consumo de agua, las pérdidas originadas y los efectos erosivos provocados en los suelos.

Pero no todas las características de los sistemas de riego por superficie son negativas, ya que **favorecen la creación de efectos estéticos y ambientales sobre el jardín**, al conjugar la belleza de la vegetación con la sensación de frescor y vida que aporta al conjunto la presencia visible del agua, formando parte esencial de algunos tipos de jardín.

En este sentido, **la actuación sobre determinados factores** que condicionan el manejo de estos sistemas, **puede permitir la reducción de los posibles efectos negativos** derivados de su empleo, y hacer recomendable su inclusión dentro de los sistemas de riego utilizados en jardinería.

8.2. El agua como elemento integrado del jardín. Valor ornamental del riego por superficie

El agua juega un papel muy importante en los jardines mediterráneos. Su utilización como elemento integrado en estos procede de los árabes, para los cuales el jardín era un símbolo del Paraíso, que imaginaban provisto de grandes cantidades de agua, escasa en sus regiones de origen y de gran valor para ellos. Esta forma de pensamiento aparece recogida en los escritos del Corán (el libro sagrado para los musulmanes), como puede comprobarse en el siguiente pasaje del mismo:

“Mas los que temen al Señor, habitarán en jardines regados por corrientes de agua, y allí permanecerán eternamente.”

El Corán: Sura III, Aleya 197

La importancia que el agua tenía en el mundo árabe era tal que el tamaño de la alberca del jardín era símbolo del poder de su propietario, de manera que a medida que ésta era más amplia, la cantidad de agua que poseía y dominaba era mayor, siendo por lo tanto más poderoso.



Figura 1. La presencia del agua en los jardines árabes jugaba un papel fundamental.

El uso del agua en jardinería no sólo permite la supervivencia de las plantas, sino que también contribuye a la **creación de ambientes húmedos y efectos sensoriales y estéticos**, que proporcionan al visitante sensaciones de frescor y bienestar, haciéndole agradable la estancia en el jardín. Estos efectos sensoriales se consiguen fundamentalmente aprovechando el movimiento del agua a través de canales, su salida al exterior a través de fuentes, o su inmovilidad almacenándola en albercas o estanques.

- ▶ **Los canales se caracterizan por crear arroyos artificiales** por los que discurre el agua, para lo cual deben presentar algo de pendiente. Este movimiento del agua permite aportar naturalidad al jardín y sonidos agradables.
- ▶ **Las fuentes, por su parte, proporcionan paz y frescura al entorno**, aprovechando la salida del agua a través de uno o varios chorros, regulables tanto en altura como en caudal, y a los que se les puede dotar de movimiento. La inclusión de iluminación artificial en éstas, permite la creación de espectáculos llenos de luz y colorido.
- ▶ **Los estanques y albercas, además de permitir el almacenamiento del agua, pueden dar lugar a la creación de jardines acuáticos**, mediante la incorporación de especies vegetales como los nenúfares, capaces de sobrevivir en condiciones de inundación. También pueden incluirse en su composición especies animales, como peces, y existe la posibilidad de dotarlos de iluminación artificial, al igual que las fuentes.



Figura 2. Tanto los estanques, como las fuentes, contribuyen a la creación de belleza en los jardines.

La irregularidad de la lluvia producida en las zonas de clima mediterráneo a lo largo del año, obliga a que **el manejo del agua deba llevarse a cabo de la forma más óptima posible**, sin que su uso conlleve un despilfarro. En este sentido los jardines con sistema de riego por superficie utilizan algunas de las infraestructuras descritas para la creación de efectos estéticos, para su funcionamiento, participando de esta forma en el proceso de creación de belleza del jardín.

Así, tradicionalmente, las **albercas** se localizaban en posiciones más elevadas que las zonas a regar, **para captar el agua de lluvia y facilitar su distribución sobre el jardín**. En ocasiones se han llegado a disponer varias de ellas formando terrazas escalonadas, para el riego de áreas situadas a distintas alturas. La aparición de los equipos de presión, evitan tener que recurrir al emplazamiento de las albercas en posiciones elevadas, permitiendo su inclusión en jardines de topografía llana.



Figura 3. La disposición de las albercas de riego formando terrazas escalonadas, ha sido utilizada en los sistemas de riego tradicionales para facilitar el transporte del agua.

Los **canales se utilizan para el transporte de agua a las distintas zonas a regar**. Un ejemplo de su empleo se tiene en el riego por alcorques, donde se utilizan como elemento de unión entre éstos, permitiendo el paso del agua de un alcorque a otro.

Igualmente, la propia conformación del suelo del jardín en su preparación para el riego, recreando formas y figuras, contribuye a la generación de sensaciones agradables al discurrir por ellas el agua de riego.

8.3. Tipos de sistemas de riego por superficie

Los sistemas de riego por superficie pueden clasificarse en función de cómo tenga lugar el reparto del agua. En este sentido, pueden distinguirse:

- **Riego por inundación**, el agua se aplica sobre el terreno, quedando acumulada sobre éste y posteriormente se infiltra en su interior.
- **Riego por escurrimiento o vertido**, el agua es aplicada en la cabecera de la zona a regar, y discurre por ésta aprovechando el desnivel existente en el terreno, a medida que se infiltra en el mismo.

Según la forma de distribuir el agua sobre la superficie del suelo, se distinguen los siguientes tipos:

- **Riego por alcorques y pozas**: son sistemas de riego por inundación, en los cuales el agua se distribuye sobre una superficie de pequeño tamaño y poca profundidad, excavada alrededor de la vegetación a regar.
- **Riego de compartimentos cerrados**: pertenecen también al grupo de sistemas de riego por inundación, y se utilizan para el riego de áreas grandes donde se moja todo el suelo.
- **Riego por surcos**: se encuadran dentro de los sistemas de riego por escurrimiento o vertido, y realizan el reparto del agua a través de unos surcos preparados en el terreno.



Figura 4. El riego por surcos es uno de los sistemas de riego por superficie usados en jardinería.

8.4. Pozas y alcorques

Dentro de los sistemas de riego por superficie, por inundación y cubrimiento parcial del terreno, se encuentran los riegos por pozas y por alcorques.

- ▶ **Las pozas** son unas cavidades de pequeña profundidad realizados sobre suelo laboreable, cuya misión consiste en delimitar el riego a una porción del suelo que suele coincidir con la zona sombreada por la planta.
- ▶ **Los alcorques** se utilizan con la misma finalidad que las pozas, pero en este caso la zona regable, también de suelo laboreable, se encuentra delimitada por una obra de fábrica o cualquier otro sistema. Los alcorques suelen aparecer insertados dentro de un área compacta, como aceras, enlosados o pavimentos blandos.



Figura 5a. Poza.



Figura 5b. Alcorques.

Aunque ambos elementos pueden usarse para el riego de diversas especies vegetales, generalmente se utilizan para el riego de **árboles y arbustos de gran tamaño o arbustos agrupados**. El riego se efectúa mediante la inundación del área delimitada por la poza o por el alcorque, quedando almacenada el agua sobre el suelo, a medida que se infiltra en el mismo. Las raíces de las plantas regadas por este sistema suelen desarrollarse en las proximidades de las zonas húmedas y presentarán cierta tendencia a ser superficiales.

Tanto las pozas como los alcorques, pueden encontrarse aislados unos de otros, o comunicados entre sí mediante canales de riego. En el caso de encontrarse comunicados, los excesos de agua producidos durante la realización del riego pasarán al siguiente alcorque o poza, circulando a

través del canal de riego. Si por el contrario se encuentran aislados, el riego se realizará mediante el llenado individual de cada uno.



Figura 6. Alcorques unidos.

No existe una regla exacta para determinar las dimensiones de pozas y alcorques. Las primeras suelen tener un tamaño que coincide con el área sombreada por la planta alrededor de la que se realice. Por su parte, los alcorques deben realizarse lo suficientemente amplios para que las raíces del árbol o arbusto a regar se desarrollen adecuadamente, asegurando una correcta absorción de agua y *nutrientes*, así como un buen anclaje al suelo. Algunos Ayuntamientos establecen dimensiones mínimas que pueden ir desde 40 x 40 cm para especies de pequeño porte, hasta 100 x 100 cm, para el caso de árboles de mayor tamaño.

En general, **se recomienda que los diámetros de los alcorques presenten la mayor amplitud posible**, y si el tránsito de las personas se ve dificultado como consecuencia de la colocación de alcorques de gran tamaño, pueden disponerse emparrillados sobre los mismos para facilitar el paso por encima de éstos. Los emparrillados pueden levantarse para la realización periódica de labores de mantenimiento, como el abonado del árbol, el aireado del suelo, etc.

En cuanto a la **profundidad libre** que deben presentar alcorques y pozas, se recomienda que ésta sea al menos de 20 cm para que puedan almacenar un volumen de agua suficiente.

El riego de alcorques tal y como se realiza en la actualidad genera gran cantidad de problemas en los desarrollos radiculares. Por esto, se propone que para situar el agua y los nutrientes a cierta profundidad, se coloquen uno o varios **tubos corrugados verticales** y se realice el riego y el



abonado a través de ellos. Los tubos deberán tener un diámetro entre 40 y 60 mm, y se dispondrán en ambos extremos del alcorque hasta una profundidad entre 70 y 90 cm. En la parte superior de cada tubo se insertará un *gotero* de alto caudal, que proporcione entre 8 y 24 l/h, o bien una manguera de riego con un bajo caudal; y su interior podrá o no estar relleno de grava. Se recomienda tapar la parte superior de los tubos para evitar la entrada de tierra. Para que el sistema no quede visible, puede cubrirse con una capa de acolchado o mulch.

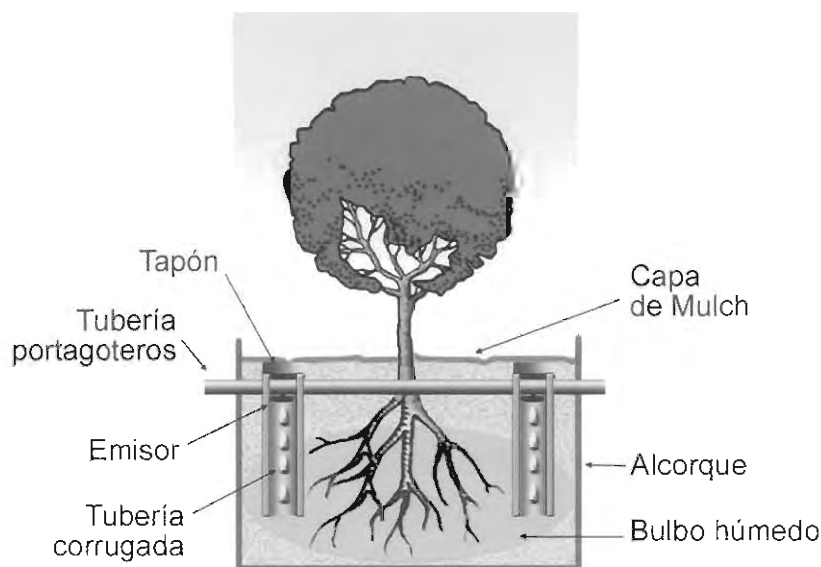


Figura 7.

La utilización de tubos corrugados es esencial en árboles recién plantados, sobre todo durante los primeros años de vida, al ser éste el periodo en el que se conforma su sistema radicular. Igualmente son muy útiles para realizar aportaciones de agua excepcionales, en caso de sequía extrema. Gracias a estos sistemas se consigue que las raíces del árbol no se establezcan exclusivamente en la superficie del alcorque, como puede suceder en los árboles que se riegan con el método tradicional. Las tuberías corrugadas también se emplean cuando se disponen plantas sobre superficies con césped, para conseguir que el desarrollo de las raíces tenga lugar en profundidad, ya que de no ser así, éstas tenderían a dirigirse hacia la superficie, buscando la humedad en la capa más alta.

8.5. Sistemas de riego por surcos

En estos sistemas de riego el agua se distribuye sobre el terreno, circulando a través de unos surcos realizados sobre éste, mientras se infiltra en su interior. **La infiltración se produce tanto horizontal como verticalmente**, de forma que, si el suelo es de textura arenosa, predominará la componente vertical de la infiltración, y si es de textura arcillosa, la componente horizontal de la misma. Por este motivo, los suelos de textura arenosa o gruesa no suelen ser muy recomendables en este tipo de riego, y en caso que deban utilizarse, requieren surcos cortos y estrechos, con pequeñas dosis de agua y bajos tiempos de aplicación.

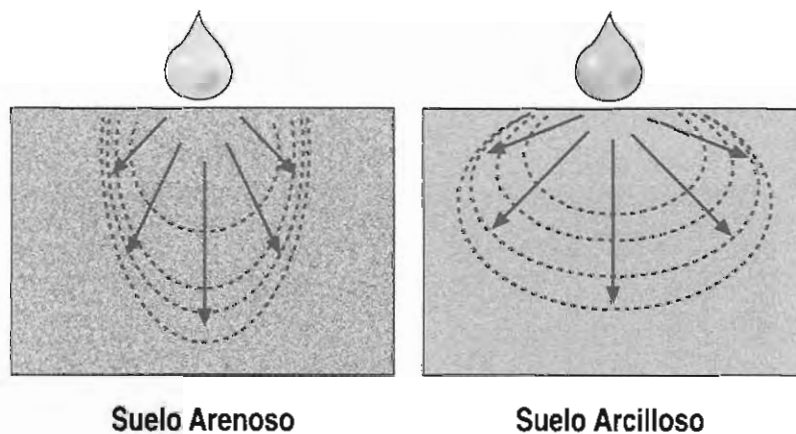


Figura 8. Patrones de infiltración típicos de suelos arenosos y arcillosos.

Los sistemas de riego por surcos están indicados para aquellas especies que sean sensibles al encharcamiento, pero no se aconseja su utilización si las plantas son poco resistentes a salinidad, ya que si el agua presenta sales disueltas, tenderán a acumularse en las proximidades de las raíces, pudiendo ocasionar problemas de toxicidad.

A la hora de realizar el diseño de los surcos, hay que tener en cuenta los siguientes factores de diseño:

- ▶ **Forma:** la más común es en "V", aunque en suelos poco permeables se utilizan surcos en forma de "U", más anchos que los anteriores.
- ▶ **Anchura:** debe ser tal, que asegure el mojado del volumen de suelo ocupado por las raíces.



- ▶ **Longitud:** deberá adaptarse a las dimensiones del área a regar, si no es excesivamente larga.
- ▶ **Pendiente:** debe ser la misma a lo largo de toda la longitud del surco. Los valores más adecuados de pendiente se encuentran entre el 0,2 y el 1%, y se pueden aumentar ligeramente si los surcos presentan menor longitud, o si los caudales circulantes van a ser pequeños.

En jardinería suele ser poco usual el empleo de sistemas de riego por surcos, pero en ocasiones pueden encontrarse algunos ejemplos, aunque de manera aislada. Una forma de uso de este sistema de riego es la realización de surcos formando dibujos o formas geométricas, con lo que aumenta el valor estético del jardín. Sí suelen emplearse en viveros dedicados a la producción de plantas para jardinería, junto a otros sistemas de riego, como aspersión o localizado.



Figura 9.

8.6. Desarrollo y manejo de los sistemas de riego por superficie

El desarrollo y la evolución de un riego por superficie puede dividirse en fases, durante las que tendrá lugar la distribución y la infiltración del agua en el suelo. Al mismo tiempo, se pueden establecer una serie de tiempos característicos que permiten determinar la duración de cada fase.

FASES DEL RIEGO

Las fases del riego hacen referencia a las diferentes etapas que pueden distinguirse en referencia al movimiento del agua sobre la zona a regar, su almacenamiento y su infiltración en el perfil. En un desarrollo habitual de un riego por superficie se pueden distinguir cuatro fases, aunque en determinados casos alguna de ellas puede no existir.

El riego comienza con el **avance del agua sobre la superficie** del suelo. Esta fase se prolonga hasta que el frente de agua alcanza el punto más alejado, y se considera que ha finalizado cuando todos los puntos a los que debe llegar el agua se han mojado. La duración de la **fase de avance** puede ser muy variable, dependiendo del tipo de sistema de riego empleado, pero fundamentalmente es función del caudal aplicado, de la pendiente del terreno, de la longitud del área a regar y de la capacidad de *infiltración* del suelo.

Una vez completado el avance, si se continua aplicando agua, ésta comienza **almacenarse sobre el suelo** a la vez que se sigue infiltrando. La **fase de almacenamiento** se inicia cuando termina el avance y continua hasta que se corta el suministro de agua. Una vez que finaliza el aporte de agua al suelo, la lámina de agua existente sobre la superficie va desapareciendo poco a poco, se produce el **agotamiento progresivo del agua**. Se considera que la tercera fase del riego, o **fase de agotamiento** comprende desde el momento en que se deja de aportar agua al suelo, hasta que comienzan a aparecer zonas del suelo descubiertas, momento en el que empieza la última etapa o **fase de receso**, que se prolonga hasta que el agua desaparece totalmente de la superficie del suelo. Si el área regada no presenta pendiente y no se produce escorrentía, el receso tendrá lugar en todos los puntos a la vez, mientras que en caso contrario, generalmente comienza en la cabecera y finaliza en la cola del área regada.

TIEMPOS CARACTERÍSTICOS DEL RIEGO

Los tiempos característicos que permiten la determinación de la duración de cada fase dentro del desarrollo de los riego por superficie, son los siguientes:

- **Tiempo de avance:** es el tiempo que tarda el agua en llegar a todos los puntos de la zona a regar.



- ▶ **Tiempo de receso:** representa el tiempo en que todo el agua desaparece de la superficie del suelo. Se mide desde el comienzo del riego.
- ▶ **Tiempo de infiltración:** es el tiempo que el agua permanece en contacto con el suelo, a medida que se infiltra en su interior. Para cada punto, se calcula como la diferencia entre el tiempo de receso y el tiempo de avance registrados en el mismo. Normalmente suele ser mayor en la *cabecera* que en la *cola* del área a regar.
- ▶ **Tiempo de aplicación del riego o tiempo de riego:** representa el tiempo durante el cual tiene lugar el aporte del agua durante la ejecución del riego.

Lo habitual es que en riego por superficie, todos estos tiempos se midan en minutos.

La representación gráfica de los tiempos de avance y receso a lo largo de toda la zona regada, permiten la obtención del **"diagrama de avance-receso"**. La utilidad fundamental de este diagrama es que permite visualizar el tiempo que la lámina de agua aplicada está en contacto con la superficie, que se corresponde con la distancia vertical existente entre ambas líneas. Esta información es fundamental ya que el volumen infiltrado en cada punto puede estimarse a partir de dicho tiempo de contacto.

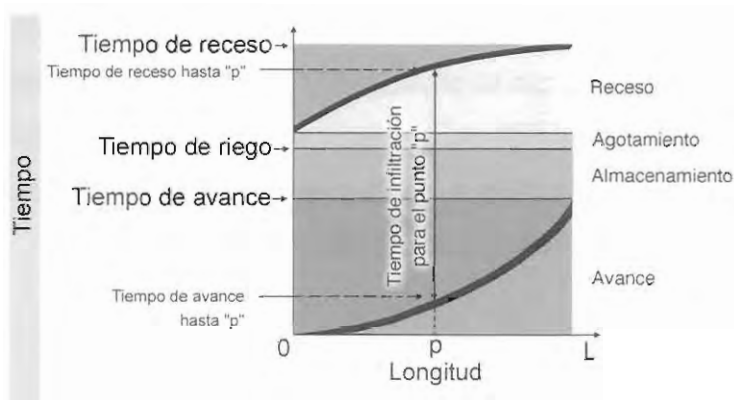


Figura 10. Fases del riego por superficie, tiempos característicos y representación del tiempo de infiltración

Considerando el volumen infiltrado en cada punto se puede valorar la calidad del riego a partir de índices tales como la *eficiencia de aplicación* y la *uniformidad*. Este diagrama también permite la deducción de los tiempos de infiltración del agua en cada punto, lo cual es de gran interés para determinar la eficiencia del sistema de riego y la uniformidad del mismo. De esta forma, a medida

que los tiempos de infiltración en cada punto presentan mayor igualdad entre ellos, el diagrama de avance-receso del sistema de riego indica que éste es más uniforme.

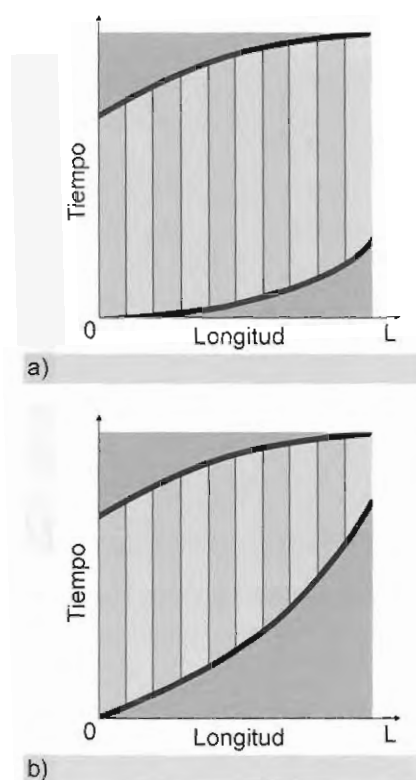


Figura 11. En el caso a) los tiempos de infiltración son más parecidos a lo largo de la zona regada que en el caso b), por lo que, si el suelo es más o menos homogéneo, dará lugar a una mayor uniformidad de distribución.

MANEJO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR SUPERFICIE

Los principales factores que condicionan el manejo de los sistemas de riego por superficie son el caudal a emplear y el tiempo de aplicación del riego.

Caudal

Se encuentra determinado por el caudal disponible en la zona que se pretende regar, que puede proceder de la red de abastecimiento de la ciudad, de algún pozo, o de los camiones cisterna de la empresa municipal encargada del mantenimiento de los jardines públicos. **El caudal disponible establece el caudal máximo que podrá ser utilizado durante el riego.**

Para determinar el caudal a emplear, hay que considerar las dimensiones del área que se pretende regar, la pendiente existente y las características de infiltración del suelo. Dicha cuantía puede ser

muy variable, pero para evitar que pudieran ocasionarse en los suelos posibles **problemas de erosión** durante el riego, se recomiendan una serie de **caudales máximos no erosivos**, que son función de la facilidad del suelo para ser erosionado y de la pendiente del terreno.



Figura 12. Las características del área al regar influyen en la determinación del caudal a utilizar.

Un suelo es fácilmente erosionable si carece de estructura, es decir, si se encuentra muy suelto, de forma que el impacto del agua aplicada o el avance de ésta sobre el terreno provocaría su arrastre y su consiguiente pérdida. Por el contrario, un suelo será menos erosionable si está húmedo, bien estructurado, o presenta restos vegetales en superficie. En el siguiente cuadro se muestran unos valores orientativos del caudal a emplear en un riego por surcos, según el tipo de suelo y la pendiente del terreno.

Caudal máximo no erosivo para riego por surcos (litros/segundo)				
Tipo de suelo	Pendiente (%)			
	0,1	0,2	0,3	0,5
Suelo muy erosionable	1,1	0,45	0,25	0,12
Suelo poco erosionable	2,15	0,85	0,50	0,25

Es posible estimar, de manera orientativa, la superficie de jardín que puede ser regada por superficie en función de la textura del suelo y del caudal disponible en la zona. En este sentido, si se establece un rango de caudales comprendido entre 0,25 y 2,5 litros por segundo, aproximadamente podrán regarse las siguientes superficies.

Estimación de la superficie de jardín que puede regarse, según el tipo de suelo y el caudal disponible en la zona (metros cuadrados)

Tipo de suelo	Caudal disponible (litros/segundo)					
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
Arenoso	2-7	8-13	18-23	27-32	38-43	46-51
Franco	7-11	14-21	30-37	47-54	63-70	79-86
Arcilloso	35-45	75-85	155-165	235-245	315-325	395-405

Tiempo de aplicación del riego

El tiempo de aplicación del riego o tiempo de riego, es una variable fácilmente modificable por el jardinero. En general, **el tiempo de riego depende de las necesidades hídricas de las plantas y del caudal disponible.**

El tipo de suelo también influye en la determinación del tiempo de riego, al ser diferente la velocidad de infiltración del agua en cada caso. En los suelos pesados o arcillosos, por ejemplo, esta infiltración tendrá lugar de manera lenta, por lo cual, el tiempo de aplicación del riego tendrá que ser mayor para conseguir que se infiltre la misma cantidad de agua que en otro suelo menos pesado.



Figura 13. El tipo de suelo determinará el tiempo de duración de los riegos por superficie.

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO, LA DOSIS Y LA DURACIÓN DE LOS RIEGOS

Para la estimación del número de riegos a realizar, las dosis de agua a emplear en cada riego y la duración de los mismos, es necesario considerar las **necesidades hídricas de las plantas**, que indican el volumen de agua que hay que suministrar, y la **capacidad de almacenamiento del**



suelo, que determinará la cantidad de agua existente en la zona del perfil del suelo ocupada por las raíces.

Las necesidades hídricas de las plantas dependen de los niveles de evapotranspiración registrados en la zona, y se calculan aplicando los principios establecidos en la Unidad Didáctica 2.

Por su parte, para la determinación de la **capacidad de almacenamiento del suelo**, es necesario considerar los siguientes factores:

- ▶ La *textura* del suelo, que determina el Intervalo de Humedad Disponible (IHD) del mismo.
- ▶ La profundidad de la capa del suelo ocupada por las raíces de las plantas.
- ▶ El nivel de agotamiento permisible (NAP).

El **intervalo de humedad disponible (IHD)** representa la cantidad de agua almacenada en el suelo que teóricamente puede ser utilizada por las plantas, y su valor depende principalmente de la textura del suelo. Esto es debido a que cada clase textural se caracteriza por presentar valores de porosidad diferentes, de forma que los suelos que tengan una mayor porosidad, serán capaces de almacenar cantidades de agua mayores que los que presenten una menor porosidad. Además, en suelos pesados, como los arcillosos, la capacidad de retención de agua del suelo es mayor que en los ligeros, como los arenosos.

El intervalo de humedad disponible se mide en milímetros de agua por metro de profundidad de suelo, siendo los siguientes valores bastante representativos para los suelos que se indican:

Textura	Intervalo de humedad disponible (mm/m)
Arenoso	70-100
Franco-arenoso	90-150
Franco	140-190
Franco-arcilloso	170-220
Arcilloso	200-250

Con respecto a la **profundidad de la capa de suelo ocupada por las raíces**, en jardinería puede realizarse una aproximación, dependiendo del tipo de planta al que pertenezcan las especies que se pretenden regar. En este sentido, se pueden asumir las siguientes profundidades:

Tipo de planta	Profundidad radicular (m)
Cesposas y hierbas ornamentales	0,25
Vivaces y tapizantes	0,40
Arbustos	0,65
Árboles	1

Por último, el **nivel de agotamiento permisible (NAP)** representa el porcentaje del intervalo de humedad disponible que determina la reserva de agua que se va a agotar en el perfil del suelo. Si el contenido de agua en el perfil se situara por debajo de esta reserva de agua, las plantas sufrirían mermas en su calidad ornamental. Se trataría, por tanto, de regar antes de que se agotase la cantidad de agua que representa el IHD.

Los valores de NAP suelen establecerse en función de la disponibilidad de agua existente en la zona, y presentan valores entre 0,7 y 0,9. Se utilizarán valores próximos a 0,7 cuando no existan problemas de abastecimiento de agua en la zona, y valores de 0,9 en caso contrario.

En este sentido, considerando los valores de todos estos factores, se pueden estimar los siguientes intervalos de capacidades de almacenamiento, según el tipo de suelo en el que se establezca el jardín:

Tipo de suelo	VALORES DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO (mm)							
	NAP = 0,7				NAP = 0,9			
	Profundidad de raíces (m)				Profundidad de raíces (m)			
	0,25	0,4	0,65	1	0,25	0,4	0,65	1
Arenoso	12-18	20-28	32-46	49-70	16-23	26-36	41-59	63-90
Franco-Arenoso	16-27	26-42	41-69	63-105	23-34	33-54	53-88	81-135
Franco	25-34	40-54	64-87	98-133	32-43	51-69	82-112	126-171
Franco-Arcilloso	30-39	48-61	78-101	119-154	39-50	62-80	100-129	153-198
Arcilloso	35-44	56-70	91-114	140-175	45-57	72-90	117-147	180-225



Conocida la capacidad de almacenamiento del suelo, para **calcular el número de riegos a realizar durante un período de tiempo determinado** se dividen las necesidades brutas de agua en dicho período, entre la capacidad de almacenamiento del suelo, aproximando el resultado obtenido al número entero superior más próximo (por ejemplo: 1,3 → 2). De esta manera se asegura que, durante el período de tiempo considerado, los riegos se realicen con una frecuencia que garantice el correcto estado hídrico de la planta.

$$\text{Número de riegos} = \frac{\text{Necesidades brutas de agua de riego (mm)}}{\text{Capacidad de almacenamiento del suelo (mm)}}$$

La dosis de agua a suministrar en cada riego se calcula dividiendo las necesidades brutas de las plantas entre el número de riegos obtenido.

$$\text{Dosis de riego (mm)} = \frac{\text{Necesidades brutas de agua de riego (mm)}}{\text{Número de riegos}}$$

Esta dosis de riego corresponde con el volumen de agua que se necesita aplicar en cada riego. Su valor debe ser inferior al de la capacidad de almacenamiento del suelo, ya que, en caso contrario, se generaría un exceso de agua que se perdería por debajo de la zona de raíces.

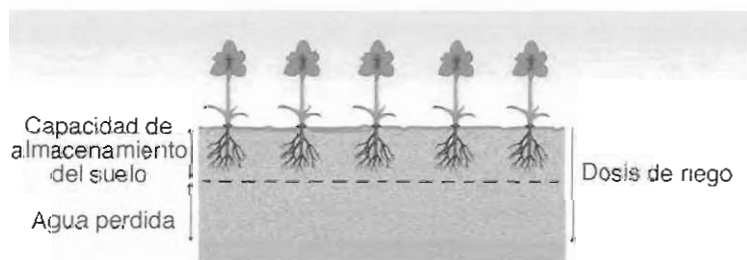


Figura 13.

Generalmente, el cálculo del número de riegos y de las dosis, suele establecerse para períodos de tiempo quincenales.

ejemplo

Calcular el número y la dosis de riego necesarias durante la quincena del 1 al 15 de junio para regar un macizo de flores compuesto por *Begonia sempervirens*, a) en caso de un suelo arcilloso y b) en caso de uno arenoso, sabiendo que las necesidades brutas de las flores durante la quincena son de 90 mm y que la profundidad de raíces es de 0,40 cm. Como se prevé que no existan problemas de abastecimiento en la zona, se considera un NAP de 0,7.

En primer lugar será necesario estimar la capacidad de almacenamiento del suelo en cada caso, según la tabla. Se considerará el valor intermedio del intervalo.

Tipo de suelo	Valores de capacidad de almacenamiento del agua en el suelo (mm)			
	NAP = 0,7			
	Profundidad de raíces (m)			
	0,25	0,4	0,65	1
Arenoso	12-18	20-28	32-46	49-70
Arcilloso	35-44	56-70	91-114	140-175

a) Para el caso de un suelo arcilloso:

$$\text{Número de riegos} = \frac{90}{63} = 1,42 \rightarrow 2$$

$$\text{Dosis de riego} = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm}$$

De esta forma, si se realizan dos riegos, cada uno de 45 mm, se conseguirá suministrar a las plantas la cantidad de agua correspondiente a sus necesidades brutas en esa quincena, sin que el contenido de agua existente en el suelo llegue a agotarse, no afectando por tanto a la calidad ornamental de las plantas.

b) Para un suelo arenoso:

$$\text{Número de riegos} = \frac{90}{24} = 3,75 \rightarrow 4$$

$$\text{Dosis de riego} = \frac{90}{4} = 22,5 \text{ mm}$$

En este caso, habría que realizar 4 riegos con dosis de 22,5 mm cada uno, para cubrir las necesidades brutas de las plantas y no agotar el perfil del suelo.

De ambos casos se desprende que a medida que la capacidad de almacenamiento del suelo es menor, es necesaria la aplicación de un mayor número de riegos y por tanto, más frecuentes, con unas dosis de riego inferiores.



Una vez conocida la cantidad de riegos que hay que realizar, y la *dosis de riego* en cada uno de ellos, hay que determinar la forma en la que se va a llevar a cabo la distribución del agua, y el tiempo de duración del riego.

La distribución del agua debe realizarse de la forma más uniforme posible y en un corto espacio de tiempo, con objeto de que su *infiltración* en el suelo sea similar en todos los puntos de la superficie a regar. Esto puede conseguirse mediante de aplicación de caudales elevados en un principio y su posterior reducción poco antes de alcanzar el final del área regada, o mediante el aporte del caudal a partir de varios puntos distintos, de manera simultánea.

Para calcular el **tiempo de aplicación del riego**, en primer lugar se determina la superficie de suelo (metros cuadrados) sobre la que se pretende distribuir el agua, y posteriormente el volumen total de agua a aplicar (litros).

$$\text{Superficie (metros cuadrados)} = \text{Anchura (metros)} \times \text{Longitud (metros)}$$

$$\text{Volumen total a aplicar (litros)} = \text{Dosis de riego (milímetros)} \times \text{Superficie (metros cuadrados)}$$

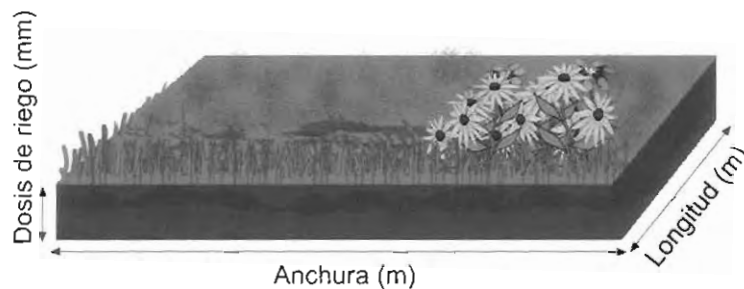


Figura 14.

Conocidos el volumen total de agua a aplicar y el caudal disponible en la zona (litros/segundo), el tiempo de aplicación del riego vendrá determinado por el cociente entre ambos:

$$\text{Tiempo de aplicación del riego (minutos)} = \frac{\text{Volumen total de agua a suministrar (litros)}}{\text{Caudal disponible (litros/segundo)}} \times \frac{1}{60}$$

ejemplo

Calcular el volumen de agua a aplicar sobre un macizo de flores que se localiza en un parterre de 4 metros de ancho por 6 metros de largo, sabiendo que la dosis de riego es de 45 mm y el caudal disponible es de 1,5 l/s.

$$\text{Superficie} = 4 \times 6 = 24 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen a aplicar} = 45 \times 24 = 1080 \text{ litros}$$

$$\text{Tiempo de aplicación del riego} = \frac{1080}{1,5} \times \frac{1}{60} = 12 \text{ minutos}$$

De esta forma, durante 12 minutos, se suministra a la superficie regada el volumen de agua necesario para cubrir las necesidades brutas de las plantas en cada riego.

8.7. Mejora del manejo del riego por superficie

Los sistemas de riego por superficie se caracterizan por presentar un consumo de agua más elevado que el resto de los sistemas de riego, y por producir un mayor volumen de pérdidas durante su ejecución, principalmente por *filtración profunda*, debidas a un mal diseño del sistema o a un manejo inadecuado del mismo.

Para contribuir a la mejora de estos sistemas, pueden ponerse en práctica una serie de medidas encaminadas a la realización de un **mejor manejo del riego por superficie**, que permita obtener un ahorro de agua, conservar la calidad del suelo y conseguir una buena uniformidad en su infiltración. Dentro de estas medidas destacan el manejo adecuado del tiempo de riego, la realización de riegos por pulsos y la aplicación del recorte de caudal.

MANEJO DEL TIEMPO DE RIEGO

En los sistemas de riego por superficie se recomienda **detener el suministro de agua cuando ésta haya llegado al final del área regada**. Con esta acción se consigue que el tiempo de avance sea igual que el tiempo de riego, y la reducción de las pérdidas por escorrentía, en el caso de que se generaran.



Pero **si el caudal aplicado es pequeño, o la capacidad de infiltración del suelo es alta**, el avance del agua sobre la superficie del mismo puede llegar a ser muy lento, lo cual puede provocar que se infiltre gran cantidad de agua en la cabecera, y se genere demasiada filtración profunda. En estos casos lo que se recomienda es **detener el suministro de agua antes que alcance el final del área regada**, donde llegará gracias al efecto producido por la pendiente.

RIEGO POR PULSOS

El tiempo que el agua permanece sobre el suelo durante el riego no es el mismo para todos los puntos del suelo, por lo que la cantidad de agua que se infiltre tampoco será igual, lo que contribuirá a la pérdida de uniformidad del riego.

Para mejorar la uniformidad de los sistemas de riego por superficie, puede emplearse el riego por pulsos, que consiste en **realizar el suministro de agua al sistema de manera intermitente**. Los procesos que componen su ejecución son los siguientes:

- ▶ Se comienza aportando agua durante un tiempo determinado, y pasado éste se detiene dicho aporte, hasta que desaparezca todo el agua existente sobre la superficie del suelo.
- ▶ Posteriormente se reanuda el suministro, circulando el agua inicialmente sobre el suelo húmedo, y posteriormente sobre el suelo seco. Tras un cierto tiempo, vuelve a detenerse el suministro de agua.
- ▶ Las pulsaciones se van repitiendo hasta que se consiga que el agua llegue al final de la superficie a regar, pudiendo continuar o no la aplicación del agua, dependiendo del criterio del jardinero, una vez comprobada en los primeros riegos la profundidad del perfil humedecido en varios puntos del área regada.

Cuando el agua avanza en la primera pulsación lo hace sobre suelo seco, pero en las pulsaciones siguientes, el agua se infiltra de manera más lenta sobre el suelo humedecido por la pulsación anterior, avanzando sobre éste de forma más rápida. De esta forma se evita que se genere una filtración profunda excesiva en las zonas más próximas al punto de aplicación del agua, contribuyendo al aumento de la uniformidad del sistema.

RECORTE DE CAUDAL

Para reducir las pérdidas por *escorrentía* generadas durante la práctica de los riegos, que provocan la pérdida de eficiencia del sistema, se puede emplear el **recorte de caudal**, que consiste en la **disminución del caudal aplicado una vez que el agua haya alcanzado el final de la superficie a regar**.

Esta práctica puede llevarse a cabo aplicando caudales elevados al principio, pero que no produzcan erosión, de forma que el agua alcance el final de la zona a regar de manera rápida, momento en el cual se reduce el caudal. Para llevar a cabo esta práctica, resulta **fundamental la experiencia del jardinero**, que le permitirá aportar los caudales adecuados durante la misma.



Figura 15. El uso de compuertillas regulables en los canales de riego, permite la práctica del recorte de caudal.

8.8. Resumen

La incorporación del agua como elemento integrante del jardín aporta belleza y frescor a su entorno, permitiendo a sus visitantes disfrutar de una estancia agradable. Esto se consigue mediante la inclusión de canales, fuentes y estanques en los jardines, que en ocasiones forman parte de los sistemas de riego por superficie.

El riego por superficie se utiliza para el riego de jardines junto con los sistemas de riego localizado y por aspersión. Los sistemas riego por superficie más utilizados son los que riegan mediante pozas, alcorques, compartimentos cerrados y surcos. Los tres primeros sistemas riegan por inundación, mientras que el último lo hace por escurrimiento o vertido.

Uno de los factores que caracterizan el riego por superficie es el elevado consumo de agua frente a otros sistemas de riego. Por este motivo es necesario adoptar medidas, relacionadas con el caudal y el tiempo de aplicación del riego, encaminadas a la mejora del manejo de los riegos. De esta forma se podrá conseguir un importante ahorro de agua y una infiltración uniforme, al tiempo que se conserva la calidad del suelo.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Por qué es importante la utilización del agua como parte integrante del jardín?

- a) Porque es indispensable para la supervivencia de la fauna que habita en éste.
- b) Para que los visitantes del mismo la utilicen para refrescarse en verano.
- c) Para proporcionar sensaciones de frescor, bienestar y belleza al visitante.
- d) Esta utilización del agua supone un despilfarro, por lo que se encuentra totalmente desaconsejada.

2. Los sistemas por escurrimiento o vertido, se utilizan en zonas con pendiente, y se caracterizan porque el agua es aplicada en la cabecera de la zona a regar, y discurre por ésta aprovechando el desnivel existente en el terreno, mientras se va infiltrando.

Verdadero/Falso

3. Indicar cual de las siguientes afirmaciones sobre los alcorques y las pozas es cierta.

- a) Los alcorques y las pozas siempre se disponen de manera aislada dentro de los jardines, debiéndose regar cada uno de manera independiente.
- b) Las dimensiones de los alcorques debe coincidir siempre con el área sombreada por la copa del árbol.
- c) Generalmente se utilizan para el riego de flores, aunque pueden utilizarse en el riego de céspedes.
- d) Son sistemas de riego por inundación, en los que el agua se distribuye en una pequeña superficie alrededor de la planta a regar.

4. Los sistemas de riego por surcos están indicados para aquellas especies que sean resistentes al encharcamiento, y especialmente recomendados cuando las plantas son poco resistentes a salinidad.

Verdadero/Falso

5. Las fases en que se puede dividir un riego por superficie son:

- a) Almacenamiento e infiltración.
- b) Avance, almacenamiento, agotamiento y receso.
- c) Admisión, retroceso, impulsión y salida.
- d) Avance, retroceso, recorte de caudal e infiltración.

6. Dentro de los tiempos característicos del riego por superficie, el tiempo de receso se define como:

- a) El tiempo que tarda en desaparecer todo el agua que cubre el suelo.
- b) El tiempo que tarda el agua en llegar hasta el final del surco.
- c) El tiempo que el agua permanece sobre el terreno, mientras se infiltra el agua.
- d) El tiempo necesario para que se realice todo el aporte de agua previsto.

7. Si en un riego los tiempos de infiltración son muy similares en todos los puntos de la zona regada, la uniformidad del riego es bastante elevada.

Verdadero/Falso

8. Los principales factores que condicionan el manejo de los sistemas de riego por superficie son:

- a) El tiempo de receso y el tiempo de infiltración.
- b) La presión existente en la boca de riego y el caudal disponible.
- c) La pendiente del terreno solamente.
- d) El caudal a emplear y el tiempo de aplicación del riego.

9. En la mejora de los sistemas de riego por superficie, los jardineros pueden actuar sobre aquellas medidas relacionadas con el manejo del mismo, permitiendo de esta forma la obtención de un ahorro de agua, la conservación de su calidad y la del suelo, y la consecución de una buena uniformidad en su infiltración.

Verdadero/Falso



9.1. Introducción

En un jardín eficiente desde el punto de vista de la utilización del agua, en el que el sistema de riego utilizado sea el más adecuado en cada caso, y en el que la dosis de riego se calcula para que no se produzcan pérdidas de agua ni por escorrentía ni por precolación profunda, **cabría pensar que la instalación de un sistema de drenaje sería innecesaria. Sin embargo esta conclusión es errónea**, ya que, por ejemplo, la presencia de una capa freática próxima a la superficie, un subsuelo o capa de suelo impermeable, o la caída de una lluvia intensa, podrían dar lugar a que la capacidad de almacenamiento del suelo se viera superada, siendo necesaria la evacuación del agua sobrante hacia la red pública de alcantarillado.

De esta forma, tras el estudio de las características del suelo y la realización de las enmiendas oportunas para garantizar una buena capacidad de almacenamiento e *infiltración* del agua, y una aireación adecuada del suelo, **debe diseñarse un sistema de drenaje en aquellos casos en los que el suelo no pueda eliminar de forma natural el exceso de agua en la zona ocupada por las raíces.**

9.2. El exceso de agua en el suelo: efectos derivados de los encharcamientos en jardinería

El papel del suelo como almacén de agua es de gran importancia para el manejo del riego. **La capacidad de almacenamiento de agua es posible gracias al volumen de poros que componen la estructura del suelo**, que retienen agua en su interior. De esta forma, es posible establecer varios niveles de humedad del suelo, en función del volumen de *poros* ocupado por el agua (ver Unidad Didáctica 4 del Módulo 1 “Fundamentos de Riego”).

Dentro de estos niveles de humedad, se encuentra el **estado de saturación del suelo**. Éste se caracteriza por encontrarse **todo el espacio poroso del suelo ocupado por agua**, de forma que si ésta sigue llegando al suelo, se produce su pérdida, bien en profundidad por percolación, o en superficie por escorrentía, si existe pendiente. El estado de saturación del suelo puede ser alcanzado por diversos motivos:

- ▶ **Por causas de tipo climático**, como fuertes tormentas o lluvias copiosas.
- ▶ **Por la presencia de capas freáticas poco profundas.**
- ▶ **Debido a problemas estructurales del suelo**, que den lugar al encharcamiento del mismo.
- ▶ **Por un manejo inadecuado de los riegos.**
- ▶ **Por un aporte adicional al agua de lluvia, como consecuencia del vertido desde zonas impermeables** (suelos losados, tejados, etc.), que rodeen el jardín.



Figura 1. Un volumen de agua de riego superior a la capacidad de almacenamiento del suelo, da lugar a que se alcance el estado de saturación.

El estado de saturación del suelo es indeseable, y los efectos derivados del mismo suelen ser bastante graves, presentando consecuencias desfavorables tanto para el suelo, como para las plantas situadas sobre éste, destacando principalmente las siguientes:

- ▶ **Problemas de asfixia radicular**, como consecuencia de la falta de espacio poroso en el suelo para el almacenamiento de oxígeno.
- ▶ **Desarrollo de microorganismos anaerobios** (que viven en ambientes sin oxígeno), que producen elementos tóxicos para las plantas, como nitritos, sulfuros y etanol.
- ▶ **Imposibilidad para el desarrollo de microorganismos aerobios** (que necesitan oxígeno para vivir), que se encargan de procesos como la humificación de la materia orgánica, la fijación del nitrógeno atmosférico, y la mineralización de los nutrientes, entre otros.
- ▶ **Se limita la profundidad del suelo** como consecuencia del desarrollo de capas freáticas próximas a la superficie, lo cual obliga a las raíces de las plantas a extenderse por los horizontes más superficiales del suelo.
- ▶ Los **riesgos de salinización** son también mayores, ante la imposibilidad de poder realizar un lavado del suelo.

Todos estos efectos negativos pueden evitarse mediante el diseño de sistemas de drenaje, que permitan la evacuación de los excesos de agua producidos.



Figura 2.

9.3. Clasificación de los sistemas de drenaje

En general, los sistemas de drenaje pueden clasificarse atendiendo a tres criterios:

- ▶ La forma de conducir el agua.
- ▶ La disposición de la red en el terreno.
- ▶ El sistema utilizado para facilitar el acceso del agua a las tuberías de drenaje.



SEGÚN LA FORMA DE CONDUCIR EL AGUA

Según esta clasificación, los sistemas de drenaje pueden ser superficiales o de sistema abierto, y subterráneos.

Los sistemas de drenaje superficial se caracterizan por utilizar zanjas excavadas en el terreno para la evacuación del agua sobrante. **En jardinería no suelen ser utilizados** ya que presentan múltiples inconvenientes, como por ejemplo la alteración de la estética del jardín por la presencia de las zanjas, la pérdida de espacio utilizable por los usuarios, los riesgos de accidentes y la dificultad para la realización de las operaciones de mantenimiento del jardín.

Los sistemas de drenaje subterráneos están formados por una red de tuberías enterradas, fabricadas generalmente en PVC corrugado y perforado. Esta red está compuesta por **tuberías de drenaje o drenes** que recogen el agua sobrante y la conducen por gravedad hasta otras tuberías de mayor diámetro llamadas **colectores**, desde donde es evacuada o bien conducida a otros colectores de mayor entidad.

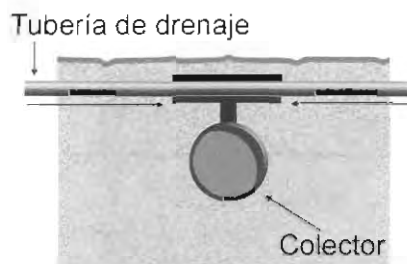


Figura 3. Tubería subterránea de drenaje y colector.

Los sistemas de drenaje subterráneos suelen ser los más utilizados en jardines y campos de deporte, cuando se requiere de su instalación.

SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE LA RED EN EL TERRENO

Los sistemas de drenaje pueden clasificarse en función de la disposición de los drenes con respecto al colector, y según la disposición de las tuberías de drenaje en relación a las curvas de nivel del terreno.

Dependiendo de la **disposición de los drenes con respecto al colector**, los sistemas de drenaje pueden ser:

- **En parrilla**, cuando los drenes se unen al colector formando un ángulo recto.
- **En peine**, si los drenes se unen al colector formando un ángulo.
- **En espina de pez**, los drenes se unen con el colector a ambos lados, formando un ángulo.

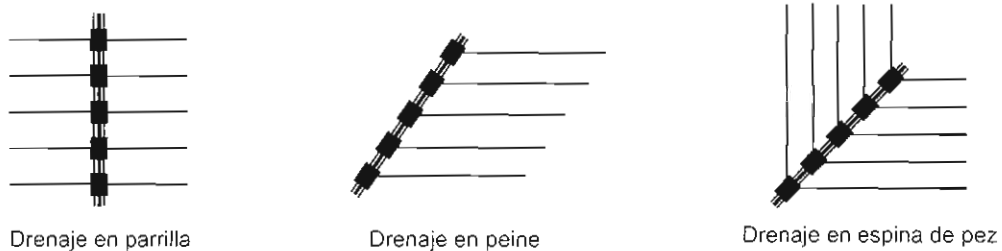


Figura 4.

Por su parte, **respecto a la posición de las tuberías de drenaje en relación a las curvas de nivel del terreno**, se habla de:

- **Drenes longitudinales**: cuando los drenes se disponen perpendicularmente a las curvas del nivel del terreno.
- **Drenes transversales**: cuando los drenes se colocan paralelos a las curvas de nivel.
- **Drenes oblicuos**: cuando las curvas de nivel y los drenes forman un ángulo determinado.
- **En zig-zag**: cuando la dirección del colector cambia a lo largo de su recorrido, formando los drenes un ángulo con éste.

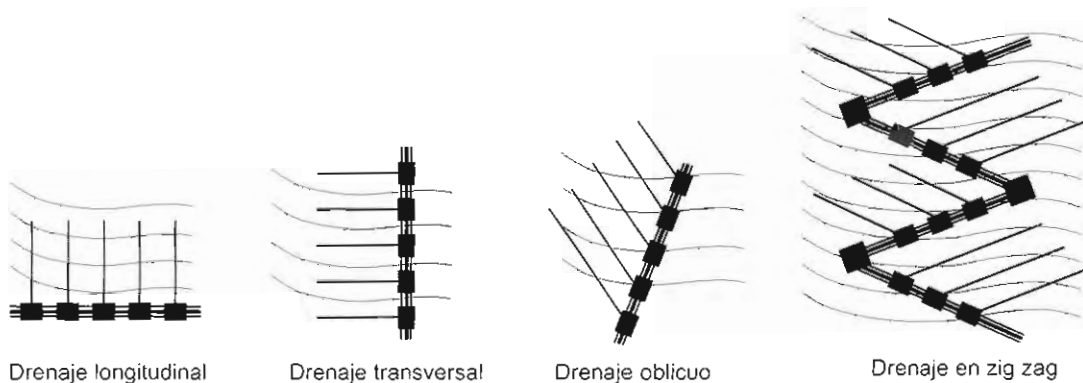


Figura 5.



SEGÚN EL SISTEMA QUE FACILITE EL ACCESO DEL AGUA A LAS TUBERÍAS DE DRENAJE

En ocasiones el perfil del suelo es poco permeable como consecuencia de las actividades realizadas en la superficie del mismo, que pueden dar lugar su compactación, algo que sucede por ejemplo en los campos de deporte. **Esto obliga a combinar las redes de drenaje con sistemas que permitan la infiltración del agua a través del perfil del suelo**, de forma que ésta pueda ser recogida por las tuberías laterales. Dentro de estos sistemas, los más utilizados son los siguientes:

Drenaje con tuberías, grava y arena: en estos sistemas la red de tuberías se dispone en el fondo de zanjas excavadas en el terreno, y para facilitar la llegada del agua a éstas, se rellenan con grava y arena. Por encima del material drenante, se sitúa la capa de enraizamiento. Cuando el material en contacto con la tubería es muy fino, conviene rodearlas con algún sistema de protección para evitar el taponado de los drenes, como fibra de coco o con tejido de fibra de vidrio.

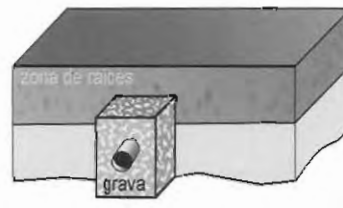


Figura 6.

Drenaje con tuberías y rendijas de drenaje: como el sistema anterior, está compuesto por un sistema de tuberías colocadas en zanjas que se rellenan con grava. Además incluye unas bandas transversales a las tuberías de material permeable (rendijas) que comunican la superficie del suelo con el relleno de grava de las zanjas. Las rendijas facilitan el drenaje, sin embargo con ellas no se consigue una buena aireación de la zona de raíces.

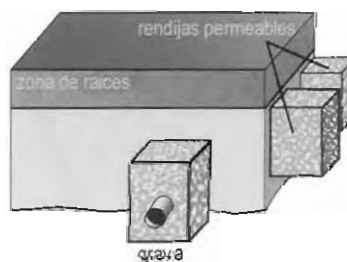


Figura 7.

Drenaje con tuberías, rendijas de drenaje y tapiz de arena: se utilizan para solucionar el problema de aireación de las raíces del sistema anterior. Para ello se añade a toda la superficie del suelo una capa de arena entre 100 y 150 mm de espesor, que facilita la aireación de las raíces de las plantas. La capa que queda bajo la arena hará de reservorio de agua y nutrientes, por lo que las raíces deberán penetrar en ella. Es muy importante evitar la compactación de esta capa, ya que en ese caso, este sistema habrá fracasado.

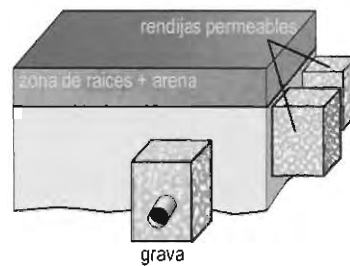


Figura 8.

Una alternativa a la realización de rendijas es **modificar la composición de la zona de raíces** para dotarla de una buena permeabilidad. En estos casos **se mezcla con el suelo una cantidad de arena**, suficiente para conseguir una red de macroporos que facilite la infiltración del agua. La dificultad de esta alternativa radica en la cantidad que ha de añadirse, ya que de no ser la adecuada, la superficie resultante puede ser de menor calidad que la original. Por lo tanto, para determinar el porcentaje de arena que debe ser aplicado, habrá que tener en cuenta la *textura* original del suelo, la *textura* que se pretende conseguir en la zona de raíces y la profundidad de suelo que se pretende modificar.

Para la realización de las mezclas, la mejor arena es la de río, que debe lavarse si existe riesgo de salinidad, debiendo rechazarse las procedentes de canteras destinadas a construcción. Normalmente, en los céspedes de los campos de golf, suelen utilizarse para este fin mezclas de arena-turba y mezclas de arena-tierra, aunque últimamente se está tendiendo al empleo de las primeras, al presentar una granulometría más gruesa y una capacidad de drenaje mayor que las segundas. En las mezclas de arena-turba, el USGA (Asociación de Golf de los Estados Unidos) recomienda las siguientes composiciones (% en peso) y granulometrías para las capas de enraizamiento:

Material	Diámetro de partícula (milímetros)	Recomendaciones (tanto por ciento en peso)
Grava fina	2,0-3,4	Menos del 10% del total, incluyendo como máximo un 3% de grava fina, o preferiblemente nada.
Arena muy gruesa	1,0-2,0	
Arena gruesa	0,5-1,0	Como mínimo, el 60% del total
Arena media	0,25-0,50	
Arena fina	0,15-0,25	Menos del 20%
Arena muy fina	0,05-0,15	Arena y limo, 5% como máximo. Arcilla, 3%. Entre las tres no pueden superar el 10% del total
Limo	0,002-0,05	
Arcilla	<0,002	

Fuente: USGA (1993)

Estos datos pueden servir como orientación a la hora de modificar la composición de la capa de enraizamiento de los suelos en jardinería.

9.4. Diseño hidráulico de las instalaciones de drenaje

Para **realizar el diseño hidráulico de una instalación de drenaje**, son necesarios una serie de parámetros que determinen la capacidad natural de drenaje del suelo y los requisitos que debe presentar la instalación. Los principales parámetros utilizados son: el tipo de suelo, la profundidad de las raíces de las plantas, y la tolerancia al encharcamiento de las especies implantadas.

TIPO DE SUELO

El agua que exista en el suelo *drenará* con mayor o menor facilidad según el tipo de suelo. En este sentido, la propiedad que es necesario conocer para **evaluar la capacidad drenante del suelo, es la textura**, que proporciona información sobre dos características relacionadas con el movimiento del agua en su interior:

- ▶ **La conductividad hidráulica**, que da idea de la facilidad con la que el agua es capaz de atravesar el perfil del suelo.
- ▶ **El espacio poroso drenable**, que proporciona el porcentaje de macroporos existentes en la estructura del suelo, en los que tiene lugar el almacenamiento y la circulación del agua.



En la tabla siguiente se recogen los intervalos de variación de la conductividad hidráulica y del espacio poroso drenable, en función del tipo de suelo:

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica (centímetros/hora)	Espacio poroso drenable (tanto por ciento)
Arenoso	2,5 - 25	20,4 - 22,7
Franco arenoso	1,3 - 7,6	18,2 - 26
Franco	0,8 - 1,2	10 - 18,7
Franco arcilloso	0,25 - 1,25	7,6 - 17,1
Arcillo limoso	0,03 - 0,5	4 - 13,9
Arcilloso	0,01 - 1	4,3 - 13,8

De estos datos se desprende que los **suelos de textura gruesa**, como los arenosos, presentarán una **mayor facilidad de drenaje que los suelos de textura más fina**, como los arcillosos.

PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES

La **profundidad de las raíces** de las plantas, determinará la **profundidad a la que pueda instalarse la red de tuberías de drenaje**, es decir la profundidad mínima a la que pueda llegar la capa freática en el perfil del suelo para evitar el encharcamiento de la zona ocupada por las raíces. Así, en zonas donde se localicen plantas con sistemas radicales poco profundos, la capa freática podrá situarse más cerca de la superficie del suelo que en aquellas zonas donde la profundidad alcanzada por las raíces sea mayor.



Figura 9. Representación esquemática de la altura mínima de la capa freática.



TOLERANCIA AL ENCHARCAMIENTO DE LAS ESPECIES CULTIVADAS

La tolerancia al encharcamiento de las plantas, permite **estimar el tiempo en el cual la instalación de drenaje debe reducir la altura de la capa freática hasta la profundidad deseada**. Para ello se establecen tres niveles de tolerancia al encharcamiento en las especies utilizadas (ver Anejo 3), que se pueden relacionar con el número de días en los que el sistema debe eliminar el exceso de agua del suelo.

Tolerancia al encharcamiento	Tiempo para eliminar el exceso de agua (días)
Baja	1 día
Media	3 días
Alta	6 días

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE DRENAJE

Durante el diseño de una instalación de drenaje se deben seguir los siguientes pasos:

- ▶ Establecimiento de la profundidad de instalación de los drenes.
- ▶ Determinación del espaciamiento entre drenes.
- ▶ Determinación de la pendiente y la longitud de los drenes.
- ▶ Elección de los diámetros adecuados para los drenes y lcs colectores.

Profundidad de instalación de las tuberías de drenaje

Para determinar la profundidad de instalación de las tuberías de drenaje es **necesario considerar la profundidad de raíces de las plantas del jardín**. Este valor será indicativo de la profundidad mínima de los drenes para que la capa freática no alcance la zona de raíces. A partir de esta profundidad y en función de los medios disponibles para excavar el terreno, del presupuesto para el sistema de drenaje, etc., la profundidad de instalación queda a voluntad del proyectista, teniendo en cuenta que **se debería optar por una mayor profundidad de los drenes cuanto menor sea la conductividad hidráulica del suelo**, ya que en este caso el agua drena más fácilmente. Si en el terreno existe una capa impermeable, la profundidad máxima quedará limitada por la profundidad a la que se encuentre ésta.

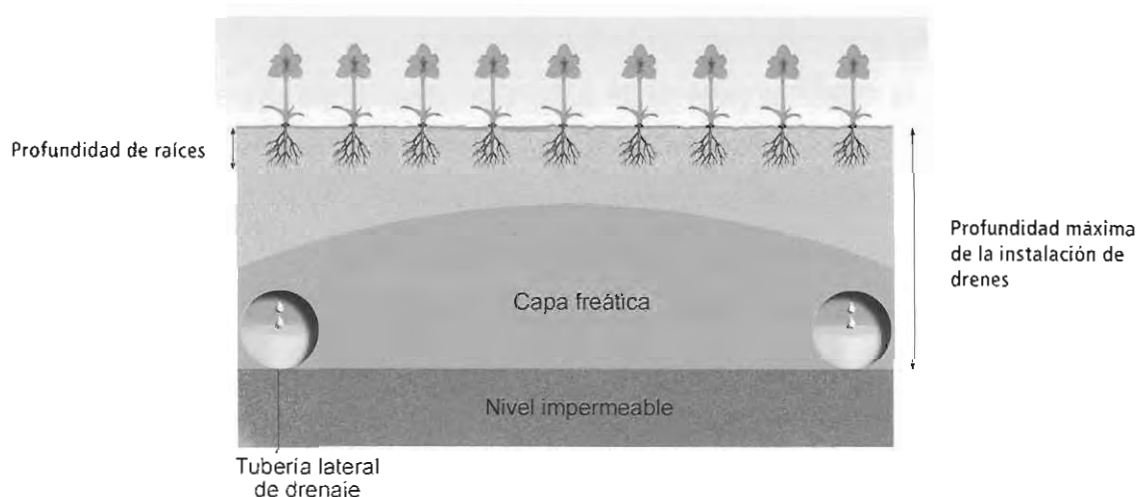


Figura 10.

Para simplificar, se pueden establecer tres alternativas de profundidad, alta (0,40 m) media (0,25 m) y baja (0,10 m), cuyo valor se sumará al de la profundidad de raíces para determinar dónde instalar las tuberías. A continuación se dan unos valores orientativos de la profundidad de raíces según el tipo de planta.

Profundidad de raíces (m)	
Cespidosas	0,25
Vivaces y tapizantes	0,4
Arbustos	0,65
Árboles	1

ejemplo

¿A qué profundidad habría que situar las tuberías de drenaje en la zona de césped de un campo de golf, situado sobre un suelo de baja conductividad hidráulica?

Al tratarse de un suelo de conductividad hidráulica baja, se deberá optar por un nivel de profundidad alto.

Profundidad de las tuberías = profundidad de raíces + nivel de profundidad = 0,25 + 0,40 = 0,65 m



Determinación del espaciamiento entre drenes

La distancia a la que se sitúen las tuberías de drenaje depende de los siguientes parámetros:

- La profundidad de las raíces de las plantas (tipo de especie).
- La profundidad de instalación de los drenes (alta, media o baja).
- La tolerancia al encharcamiento de las especies utilizadas.
- El tipo de suelo.

El valor del espaciamiento entre drenes se ha tabulado para *cespitosas*, *vivaces* y *tapizantes*, arbustos y árboles, y para cada una de las alternativas de profundidad (alta, media o baja) citadas con anterioridad (ver Anejo 3).

ejemplo

Calcular el espaciamiento entre las tuberías del sistema de drenaje de un jardín situado sobre un suelo arcillo-limoso, sabiendo que la especie que compone el jardín es *Cynodon dactylon*, una cespitosa con baja tolerancia al encharcamiento. Se considera una profundidad de drenaje media.

El valor del espaciamiento entre drenes se obtiene consultando en el anejo 3 la tabla que se corresponda con las condiciones dadas:

Profundidad de raíces: 0,25 m

Tipo de especie: Cespitosas

Profundidad de drenaje: MEDIA (0,25 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja al encharcamiento	Tolerancia media al encharcamiento	Tolerancia alta al encharcamiento
Arenoso	6,61	11,45	16,2
Arcilloso	1,06	1,83	2,59
Arcillo Limoso	2,24	3,88	5,49
Franco	4,04	7	9,9
Franco Arenoso	4,78	8,28	11,71
Franco Arcilloso	3,66	6,34	8,97

En este caso el espaciamiento entre drenes de 2,24 m.

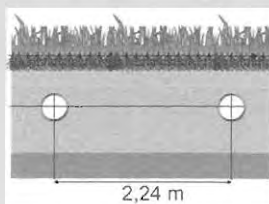


Figura 11.

Es importante tener en cuenta que a medida que los drenes se colocan a mayor profundidad, el espaciamiento entre estos puede ser mayor, y que, a medida que los drenes se colocan más próximos entre sí, los costes de la instalación son mayores. En este sentido, si con un valor de profundidad inicial se obtiene un valor de espaciamiento pequeño, es posible aumentarlo si los drenes se pueden colocar a una profundidad mayor. De esta forma, podrían obtenerse valores de espaciamiento entre drenes que fueran acordes a las necesidades de drenaje del jardín, y adecuados desde el punto de vista económico.

Determinación de la pendiente y la longitud de las tuberías de drenaje

Las tuberías de drenaje deben tener cierta **pendiente para que el agua pueda circular por su interior y ser evacuada**. La pendiente, en ocasiones, puede venir determinada por la **granulometría** del terreno, de forma que si se produce la entrada de partículas de suelo al interior de la tubería, la pendiente debe ser tal que permita el arrastre de dichas partículas, evitando de esta forma la colmatación de la tubería.

Los drenes deben proyectarse con la mayor pendiente posible para poder desaguar el máximo caudal con la mínima sección. Como mínimo, la pendiente deberá ser del 0,1% , siendo deseable llegar hasta el 0,3% siempre que sea posible. En suelos con cierta pendiente los drenes podrán trazarse paralelos a la superficie del terreno.

La **longitud máxima** de los laterales de drenaje depende de la pendiente que estos tengan y su relación con la del terreno, de las características geométricas del jardín donde se instale el sistema de drenaje, y de las necesidades de mantenimiento de los drenes. Como norma general, si el terreno es llano los drenes no deben tener una longitud superior a 250-300 metros; en terreno con pendiente, siempre que ésta lo permita los drenes podrían alcanzar los 1000 metros, aunque en este caso, sería necesario instalar pozos de registro cada 250 metros aproximadamente para poder realizar las operaciones de mantenimiento de las tuberías.

Elección de los diámetros de los drenes y los colectores

El **diámetro de los drenes** depende del caudal máximo que se estima que van a conducir y de la pendiente con la que son instalados. En general **suelen ser de diámetros pequeños**, lo que puede suponer un inconveniente de tipo económico, ya que este tipo de tuberías puede alcanzar en el mercado precios más elevados que otras de diámetros mayores. A este problema se le une



que en ocasiones, se originan problemas de sifonamiento en las instalaciones de drenaje como consecuencia de errores cometidos en la nivelación durante la colocación de las tuberías.

Una **posible solución** sería **elegir drenes con diámetros mayores de los teóricamente necesarios**. De esta forma, el diseño de la instalación de drenaje podría resultar más económico y más seguro. En este sentido, para el diseño de las instalaciones de drenaje en los sistemas de riego de jardines, **se recomienda la utilización de drenes de 10 cm de diámetro**.

De la misma manera, **el diseño de los colectores** debe realizarse teniendo en cuenta el caudal máximo que deben conducir, que corresponderá con la suma de todos los caudales aportados por los drenes laterales unidos al colector, y la pendiente con la que se instalen. Para **determinar el caudal que conduce el colector** hay que calcular previamente el caudal que evacua cada dren, cuyo valor resulta de multiplicar el caudal específico por metro lineal evacuado por éste, por la longitud de dicho dren.

El caudal específico se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/h)} = \frac{\text{Separación entre los drenes (m)} \times \frac{\text{Profundidad de raíces (m)}}{\text{Espacio poroso drenable (en tanto por uno)}}}{24 \times \text{tiempo para eliminar el exceso de agua (días)}}$$

En la siguiente tabla, para colectores de PVC corrugado, se relaciona el diámetro interior de la tubería con la pendiente y con el caudal máximo que puede conducir.

Caudales circulantes (l/s)					
Diámetro interior (cm)	Pendientes				
	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%
10	2,60	3,68	4,51	5,21	5,83
15	7,63	10,80	13,21	15,26	17,06
20	16,55	23,41	28,68	33,11	37,02

Así por ejemplo, un colector que reciba de los drenes un caudal de aproximadamente 3 l/s, y que tiene una pendiente del 0,3%, deberá tener un diámetro interior de 10 cm.



9.5. Resumen

En ocasiones es necesario el diseño y la instalación de sistemas de drenaje en los jardines, con el fin de garantizar la evacuación de los excesos de agua que pudieran generarse por cualquier causa: de tipo climática, estructural, accidental, etc., ya que los encharcamientos suelen presentar consecuencias muy negativas para el suelo y la vegetación existente en el mismo.

En este sentido existen diferentes tipos de sistemas de drenaje, que pueden clasificarse en función de la forma de conducir el agua, de la disposición de la red en el terreno, y del sistema que facilite el acceso del agua a las tuberías drenantes. En jardinería y campos de deporte suelen utilizarse generalmente sistemas de tuberías subterráneas.

Para realizar el diseño hidráulico de la instalación de drenaje son necesarios una serie de parámetros (tipo de suelo, profundidad de las raíces y tolerancia de las plantas al encharcamiento), que determinen la capacidad natural de drenaje del suelo y los requisitos de la instalación. El diseño propiamente dicho consta de los siguientes procesos: establecimiento de la profundidad de instalación de las tuberías de drenaje, determinación del espaciamiento entre drenes, y elección de la pendiente, la longitud y los diámetros interiores de las tuberías y colectores utilizados.



AUTOEVALUACIÓN

1. En qué caso procedería al diseño de una instalación de drenaje en un jardín.

- a) Nunca, porque en jardinería no suelen existir problemas de encharcamiento, y en jardines eficientes, aún menos.
- b) Siempre, porque existe la posibilidad de que en cualquier momento pueda producirse una lluvia intensa que inunde el jardín.
- c) En aquellos casos en los que el drenaje natural del suelo no permita la eliminación de los excesos de agua.
- d) Cuando existan inundaciones frecuentes en la zona, a consecuencia de la crecida de ríos cercanos.

2. El estado de saturación se caracteriza porque el suelo presenta todo su espacio poroso ocupado por agua, de forma que si ésta sigue llegando al suelo, se produce su pérdida, bien en profundidad por percolación, o en superficie por escorrentía si existe pendiente.

Verdadero/Falso

3. Indicar cual de las siguientes afirmaciones sobre los sistemas de drenaje es cierta.

- a) En jardinería es frecuente la utilización de sistemas de drenaje superficial, por contribuir al embellecimiento de la estética del paisaje.
- b) Las tuberías utilizadas en los sistemas de drenaje subterráneo suelen ser de polietileno corrugado y perforado.
- c) Los colectores desembocan en unas tuberías de mayor tamaño denominadas drenes laterales.
- d) En general, los sistemas de drenaje subterráneo suelen ser los más utilizados en jardines y campos de deporte, cuando es necesaria su instalación.

4. Si las tuberías de drenaje se disponen perpendiculares a las curvas de nivel, el sistema de drenaje es:

- a) En peine.
- b) Longitudinal.
- c) Transversal.
- d) En zig-zag.

5. Las rendijas de drenaje son unas bandas transversales a las tuberías, de material permeable, que comunican la superficie del suelo con el relleno de grava de las zanjas, facilitando de esta forma el drenaje del agua.

Verdadero/Falso

6. Por qué razón es importante considerar la profundidad de las raíces de las plantas en el diseño hidráulico de las instalaciones de drenaje.

- a) Porque permiten conocer la profundidad de la capa freática en el perfil del suelo, necesaria para la determinación de la profundidad de los drenes.
- b) Porque permite la estimación del tiempo en el cual la instalación de drenaje reducirá la capa freática hasta la profundidad deseada.
- c) Porque da lugar a la determinación de la conductividad hidráulica del suelo y del espacio poroso drenable.
- d) Su consideración no resulta imprescindible, pero contribuye a un mejor diseño del sistema y a un funcionamiento más adecuado del mismo.

7. La profundidad máxima de colocación de las tuberías laterales, depende de la posición alcanzada por la capa freática, que es función de la profundidad de las raíces de las plantas.

Verdadero/Falso

8.Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta:

- a) Las tuberías de drenaje deben tener cierta pendiente para que el agua pueda circular por su interior.
- b) El diámetro de las tuberías de drenaje debe seleccionarse por debajo del teóricamente necesario.
- c) Para disminuir los costes de la instalación de drenaje, los drenes deben situarse lo más próximo posible unos de otros.
- d) En un terreno llano las tuberías de drenaje pueden alcanzar una longitud de hasta 1000 metros.



ANEJO 1

Espece	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Abelia 'Edward Goucher'</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Abelia floribunda</i>	0.50	4-8	Baja	ArP
= <i>Abelia grandiflora</i>	0.40	2-4	Baja	ArP
<i>Abelia 'Sherwoodii'</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Abies spp.</i>	0.50	2-4	Baja	Con
= <i>Abies cefalonica</i>	0.30			Con
= <i>Abies pinsapo</i>	0.20		Baja	Con
<i>Abutilon hybridum</i>	0.72		Baja	ArP / PF
= <i>Acacia baileyana</i>	0.20		Baja	AP
= <i>Acacia cultriformis</i>	0.30			ArP
= <i>Acacia cyanophylla</i>	0.30	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia cyclops</i>	0.30			AP
= <i>Acacia dealbata</i>	0.18	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia decurrens</i>	0.18	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia karoo</i>	0.30		Baja	AC
= <i>Acacia longifolia</i>	0.20	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia melanoxylon</i>	0.30			AP
= <i>Acacia pendula</i>	0.32	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia podalyriaefolia</i>	0.30			AP
= <i>Acacia pycnantha</i>	0.30			AP
= <i>Acacia retinoides</i>	0.30	4-8	Baja	AP
= <i>Acacia saligna</i>	0.26	8-10	Baja	AP
= <i>Acacia verticillata</i>	0.30			ArP
<i>Acalypha wikesiana</i>	0.50		Alta	ArP / PF
= <i>Acanthus mollis</i>	0.50	4-8	Media	V
= <i>Acer campestre</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Acer granatense</i>	0.50			AC
= <i>Acer monspessulanum</i>	0.50			AC
= <i>Acer negundo</i>	0.50	4-8	Media	AC
= <i>Acer negundo var.violaceum</i>	0.50			AC
<i>Acer saccharinum</i>	0.50	2-4	Alta	AC
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0.50	4-8	Baja	AC
= <i>Achillea ageratum</i>	0.30		Media	V / T
<i>Achillea filipendulina</i>	0.30		Media	V / T
= <i>Achillea millefolium</i>	0.30		Media	V / T
= <i>Achillea odorata</i>	0.30		Media	V / T
<i>Achillea tomentosa</i>	0.30		Media	V / T
<i>Acokanthera venenata</i>	0.50	4-8		ArP
= <i>Adenocarpus decorticans</i>	0.20			ArP
= <i>Aeonium spp.</i>	0.20	8-10	Baja	S
<i>Aesculus carnea</i>	0.50		Baja	AC
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0.50		Baja	AC
<i>Agapanthus africanus</i>	0.50		Media	V / PF
= <i>Agatea coelestis (= Felicia amelloides)</i>	0.50			V/PF
= <i>Agave spp.</i>	0.20	8-10	Baja	S
<i>Ageratum coelestis</i>	0.30			V / PF
= <i>Ailanthus altissima</i>	0.17	8-10	Media	AC
<i>Ajuga reptans</i>	0.65		Media	V / T / PF
= <i>Albizia julibrissin</i>	0.40	4-8	Baja	AC
= <i>Albizia julibrissin 'Ombrella'</i>	0.40			AC
<i>Alnus cordata</i>	0.50		Alta	AC
<i>Alnus glutinosa</i>	0.58	2-4	Alta	AC
<i>Alnus incana</i>	0.60		Alta	AC
<i>Alocasia spp.</i>	0.80		Alta	S
= <i>Aloe vera</i>	0.20	8-10	Baja	S
<i>Aloysia triphylla</i>	0.50		Media	ArC
= <i>Amelanchier canadensis</i>	0.50		Media	ArC
= <i>Amelanchier ovalis</i>	0.50			ArC
= <i>Ampelodesmos mauritanica</i>	0.30			HO
<i>Ampelopsis quinquefolia</i>	0.50			PT
<i>Ampelopsis tricuspidata</i>	0.50			PT
= <i>Andropogon spp.</i>	0.30			HO
<i>Anemone X hybrida</i>	0.50			V / PF



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Anigozanthus flavidus</i>	0.50		Media	V
<i>Anisodontea campensis</i>	0.50			V
<i>Annona cherimola</i>	0.50	< 2	Media	AC
<i>Antigonon leptopus</i>	0.50			PT
⇒ <i>Aphyllantes monspeliensis</i>	0.30			T
⇒ <i>Aptenia cordifolia</i>	0.32			S
<i>Aptenia 'Red Apple'</i>	0.32			S
⇒ <i>Aquilegia spp.</i>	0.40	2-4		V
⇒ <i>Arabis alpina</i>	0.40			T
<i>Aralia elata</i>	0.50		Baja	AC
<i>Araucaria araucana</i>	0.40		Media	Con
<i>Araucaria bidwillii</i>	0.42		Media	Con
⇒ <i>Araucaria heterophylla</i>	0.50		Media	Con
⇒ <i>Arbutus unedo</i>	0.30	2-4	Baja	AP
<i>Archontophoenix alexandre</i>	0.80		Media	Pal
<i>Arctostaphylos densiflora</i>	0.20		Baja	ArP
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	0.20			ArP
<i>Arctotis hybridus</i>	0.38		Baja	PF
<i>Ardisia japonica</i>	0.65		Media	ArP
<i>Aristolochia elegans</i>	0.50		Alta	PT
<i>Aristolochia gigantea</i>	0.80		Alta	PT
⇒ <i>Armeria maritima</i>	0.50		Media	V / T
<i>Artemisia arborescens</i>	0.20	8-10	Baja	ArP
<i>Artemisia absinthium</i>	0.30	8-10	Baja	ArP
⇒ <i>Artemisia herba-alba</i>	0.20	8-10	Baja	ArP
<i>Arundo donax</i>	0.50		Media	HO
⇒ <i>Asclepias curassavica</i>	0.40		Baja	PF
<i>Asparagus spp.</i>	0.50		Media	V
<i>Aspidistra elatior</i>	0.38		Media	V
<i>Asplenium scolopendrium</i>	0.40			H
<i>Aster spp.</i>	0.50		Baja	V / T / PF
<i>Astilbe taqueti 'Superba'</i>	0.80		Alta	V
<i>Athyrium filix-femina</i>	0.74			H
⇒ <i>Athyllis cytisoides</i>	0.50			AC
⇒ <i>Atriplex glauca</i>	0.20	8-10	Baja	ArP
⇒ <i>Atriplex halimus</i>	0.20	8-10	Baja	ArP
<i>Aubrieta deltoidea</i>	0.20		Baja	V / T / PF
<i>Aucuba japonica</i>	0.50		Media	ArP
<i>Azalea mollis</i>	0.40			PF
<i>Azalea pontica</i>	0.40			PF
<i>Azalea japonica</i>	0.40			PF
<i>Azara dentata</i>	0.60		Baja	ArP
<i>Azara microphylla</i>	0.60		Alta	ArP
<i>Bambusa spp.</i>	0.40		Media	B
<i>Banksia integrifolia</i>	0.50		Media	ArP
<i>Banksia speciosa</i>	0.50		Media	ArP
<i>Bauhinia corymbosa</i>	0.50		Media	AC
<i>Bauhinia variegata</i>	0.50		Media	AC
<i>Bauhinia tormentosa</i>	0.40		Media	AC
<i>Beaucarnea (= Nolina) recurvata</i>	0.20	4-8	Baja	S
<i>Beaumontia grandiflora</i>	0.60			PT
<i>Begonia semperflorens</i>	0.50	4-8	Media	V / PF
<i>Bellis perennis</i>	0.40		Baja	V / PF
<i>Beloperone (= Justicia) guttata</i>	0.40			ArP
⇒ <i>Berberis thunbergii</i>	0.40	2-4	Baja	ArC
⇒ <i>Bergenia crassifolia</i>	0.65		Media	V / T / PA
<i>Betula papyrifera</i>	0.40		Alta	AC
<i>Betula utilis</i>	0.40		Media	AC
⇒ <i>Bignonia (=Macfadyena) unguis-cati</i>	0.20			PT
<i>Boronia spp.</i>	0.50			ArP
⇒ <i>Bougainvillea spp.</i>	0.22	8-10	Baja	PT
⇒ <i>Brachychiton acerifolium (= Sterculia acerifolia)</i>	0.30		Media	AC
⇒ <i>Brachychiton populneus (= Sterculia diversifolia)</i>	0.35		Baja	AP

Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Brachycome iberidifolia</i>	0.20			PF
= <i>Brahea armata</i>	0.20		Baja	Pal
<i>Brahea edulis</i>	0.20		Baja	Pal
= <i>Broussonetia papyrifera</i>	0.20		Baja	AC
<i>Brugmansia spp.</i>	0.60			ArC
<i>Brunfelsia pauciflora</i>	0.62			ArP
= <i>Bryophyllum spp.</i>	0.20			S
= <i>Buchloe dactyloides</i>	0.30		Baja	Ces
= <i>Buddleia davidii</i>	0.40		Baja	ArC
= <i>Buddeia madagascariensis</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Buddeia officinalis</i>	0.40		Baja	ArP
= <i>Bupleurum fruticosum</i>	0.40		Baja	ArP
= <i>Butia capitata</i>	0.20		Baja	Pal
= <i>Buxus balearica</i>	0.30		Baja	ArP
<i>Buxus microphylla japonica</i>	0.50	4-8	Baja	ArP
= <i>Buxus sempervirens</i>	0.50	4-8	Baja	ArP
<i>Caesalpinia gilliesii</i>	0.30		Baja	ArC
<i>Calliandra haematocephala</i>	0.60		Baja	AP
<i>Calliandra tweedii</i>	0.50		Baja	AP
<i>Callicarpa bondinieri</i>	0.40		Media	ArC
<i>Callistemon pinifolius</i>	0.20		Media	ArP
= <i>Callistemon rigidus</i> (= <i>C. lanceolatus</i>)	0.30		Media	ArP
<i>Callistemon salignus</i>	0.40	2-4	Baja	ArP
= <i>Callistemon speciosus</i> (= <i>C. citrinus</i>)	0.50		Media	ArP
= <i>Callistemon viminalis</i>	0.38	4-8	Media	ArP
<i>Calluna vulgaris</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Calocedrus decurrens</i>	0.50		Baja	Con
<i>Calycanthus floridus</i>	0.40		Baja	ArC
<i>Camellia japonica</i>	0.62	2-4	Media	ArP / PF
<i>Camellia sasanqua</i>	0.62		Media	ArP / PF
<i>Campanula spp.</i>	0.50	4-8	Media	V / T / PF
= <i>Campsis radicans</i>	0.40		Baja	PT
<i>Canna spp.</i>	0.55		Media	PF
= <i>Capparis spinosa</i>	0.20		Baja	ArP / T
<i>Caragana arborescens</i>	0.20		Baja	AC
<i>Carissa grandiflora</i>	0.42	8-10	Baja	ArP
<i>Carissa macrocarpa</i> (prost.cvs.)	0.42		Baja	ArP
= <i>Carnegiea gigantea</i>	0.17			Cac
<i>Carpentaria acuminata</i>	0.40		Baja	Pal
<i>Carpentera californica</i>	0.28		Alta	ArP
<i>Carpinus betulus 'Fastigiata'</i>	0.35	4-8	Baja	AC
= <i>Carpobrotus spp.</i>	0.24	8-10	Baja	S
<i>Caryopteris X clandonensis</i>	0.50		Media	ArC
<i>Caryota mitis</i>	0.50		Baja	Pal
<i>Caryota urens</i>	0.65		Baja	Pal
<i>Cassia alata</i>	0.40	4-8	Media	AP
<i>Cassia acuminata</i>	0.40		Media	AP
<i>Cassia corymbosa</i>	0.40	4-8	Media	AC
<i>Cassia javanica</i>	0.40		Media	AP
<i>Cassia renigera</i>	0.40		Media	AP
<i>Casuarina sativa</i>	0.40		Baja	AC
= <i>Casuarina cunninghamiana</i>	0.30	4-8	Media	AP
= <i>Casuarina equisetifolia</i>	0.40	4-8	Baja	AP
= <i>Casuarina stricta</i>	0.40			AP
= <i>Catalpa bignonioides</i>	0.40	4-8	Baja	AC
<i>Ceanothus spp.</i>	0.40		Media	ArC
= <i>Cedrus atlantica</i>	0.45		Baja	Con
= <i>Cedrus deodara</i>	0.40		Baja	Con
<i>Cedrus libani</i>	0.20	4-8	Baja	Con
= <i>Celtis australis</i>	0.42		Baja	AC
<i>Centaurea dealbata</i>	0.20		Baja	V / PF
<i>Centaurea macrocephala</i>	0.20		Baja	V / PF
= <i>Centaurea rutifolia 'Candidissima'</i>	0.20		Baja	V / PF



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
⇒ <i>Centranthus ruber</i>	0.22		Baja	V / PF
⇒ <i>Cephalocereus spp.</i>	0.18			Cac
⇒ <i>Cerastium tomentosum</i>	0.50		Media	V / T
⇒ <i>Ceratonia siliqua</i>	0.20		Baja	AP
⇒ <i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	0.45		Media	T / PF
<i>Cercis siliquastrum</i>	0.20	4-8	Baja	AC
⇒ <i>Cereus peruvianus</i>	0.20	8-10	Baja	Cac
<i>Cestrum elegans</i>	0.50		Media	ArP
<i>Cestrum nocturnum</i>	0.50		Media	ArP
<i>Chaenomeles x superba 'Crisom Gold'</i>	0.40		Poco	ArC
<i>Chamaecyparis spp.</i>	0.50		Media	Con
<i>Chamaedorea spp.</i>	0.80		Baja	Pal
<i>Chamaemelum nobile</i>	0.45			PA
⇒ <i>Chamaerops humilis</i>	0.40	4-8	Baja	Pal
<i>Chamaelucium uncinatum</i>	0.32			ArP
<i>Cheiranthus cheiri</i>	0.50	4-8		V / PF
<i>Choisya ternata</i>	0.50		Media	ArP
⇒ <i>Chorisia insignis</i>	0.42	4-8	Baja	AC
⇒ <i>Chorisia speciosa</i>	0.28	4-8	Baja	AC
⇒ <i>Chrysanthemum frutescens</i>	0.50			ArP
⇒ <i>Chrysanthemum (= Leucanthemum) maximum</i>	0.50			PF
⇒ <i>Chrysanthemum parthenium</i>	0.40			V
<i>Cibotium glaucum</i>	0.80	2-4		H
⇒ <i>Cinerea speciosa</i>	0.40			ArP
<i>Cinnamomum camphora</i>	0.50		Media	AP
<i>Cissus antarctica</i>	0.44		Baja	PT
<i>Cissus rhombifolia</i>	0.50		Baja	PT
⇒ <i>Cistus albidus</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Cistus clusii</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Cistus crispus</i>	0.20		Baja	ArP / T
⇒ <i>Cistus landanifer</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Cistus laurifolius</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Cistus monspeliensis</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Cistus salvifolius</i>	0.20		Baja	ArP / T
<i>Citrus spp.</i>	0.50	< 2	Baja	AP
<i>Clematis armandii</i>	0.50		Baja	PT / PA
⇒ <i>Clematis cirrhosa</i>	0.50		Baja	PT / PA
⇒ <i>Clematis flammula</i>	0.50		Baja	PT / PA
<i>Clematis hybrids</i>	0.50		Baja	PT / PA
⇒ <i>Cleome spinosa</i>	0.50	4-8		PF
<i>Clerodendrum thomsoniae</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Clerodendrum trichotomum</i>	0.40		Baja	ArC
<i>Clivia miniata</i>	0.44		Baja	V / T
⇒ <i>Cneorum tricoccon</i>	0.30		Baja	ArP
<i>Cocculus laurifolius</i>	0.50			AP
<i>Coleonema album</i>	0.50			ArP
<i>Coleonema pulchrum</i>	0.50			ArP
⇒ <i>Colutea arborescens</i>	0.20			ArC
⇒ <i>Convolvulus mauritanicus</i>	0.40		Baja	PT
⇒ <i>Convolvulus cneorum</i>	0.20		Baja	ArP
⇒ <i>Coprosma repens</i>	0.50		Baja	ArP / T
<i>Cordyline australis</i>	0.40		Baja	S
<i>Cordyline stricta</i>	0.50		Baja	S
⇒ <i>Coreopsis lanceolata</i>	0.30	4-8	Media	V / PF
⇒ <i>Coreopsis tinctoria</i>	0.30	4-8	Media	V / PF
⇒ <i>Coreopsis verticillata cvs.</i>	0.30	4-8	Media	V / PF
<i>Cornus florida</i>	0.80		Baja	ArC
<i>Cornus stolonifera</i>	0.80		Baja	ArC
<i>Corokia cotoneaster</i>	0.50			ArP
⇒ <i>Coronilla emerus</i>	0.20		Media	AP
⇒ <i>Coronilla minima</i>	0.30		Media	ArP / T
<i>Correa spp.</i>	0.26		Baja	ArP
⇒ <i>Cortaderia selloana</i>	0.18	4-8	Media	HO

Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Corylus avellana contorta</i>	0.50		Baja	ArC
<i>Corylus columna</i>	0.40		Baja	AC
<i>Corylus maxima</i>	0.20		Media	ArC
<i>Cotinus coggygria</i>	0.20		Baja	ArC
⇒ <i>Cotoneaster buxifolia</i>	0.50	< 2	Baja	ArP
⇒ <i>Cotoneaster congestus</i>	0.50	< 2	Baja	ArP
⇒ <i>Cotoneaster horizontalis</i>	0.50	<2	Baja	ArC / T
⇒ <i>Cotoneaster lacteus</i>	0.50	< 2	Baja	ArP
⇒ <i>Cotyledon spp.</i>	0.20			S
⇒ <i>Crassula spp.</i>	0.20		Baja	S
⇒ <i>Craetagus azarolus</i>	0.50		Media	ArC
⇒ <i>Craetagus laevigata</i>	0.50		Media	ArC
⇒ <i>Craetagus monogyne</i>	0.50		Media	ArC
⇒ <i>Craetagus tanacetifolia</i>	0.50		Media	ArC
⇒ <i>Crataegus x carrierei</i>	0.50		Media	ArC
<i>Crinum spp.</i>	0.50			PF
<i>Cryptomeria japonica</i>	0.72		Media	Con
<i>Cuphea micropetala</i>	0.50		Media	ArP
⇒ <i>Cupressocypris x leylandii</i>	0.50		Media	Con
⇒ <i>Cupressus arizonica var. glabra</i>	0.15		Media	Con
⇒ <i>Cupressus cashmeriana</i>	0.30		Baja	Con
⇒ <i>Cupressus glabra</i>	0.30		Baja	Con
⇒ <i>Cupressus lusitanica</i>	0.30		Baja	Con
⇒ <i>Cupressus macrocarpa</i>	0.50		Baja	Con
⇒ <i>Cupressus sempervirens</i>	0.30		Baja	Con
<i>Cycas circinalis</i>	0.40		Baja	Pal
<i>Cycas revoluta</i>	0.50		Baja	Pal
⇒ <i>Cyclamen hederifolium</i>	0.35	4-8		V
<i>Cyclamen persicum hybrids</i>	0.50	4-8		V
<i>Cydonia oblonga</i>	0.20		Baja	AC
⇒ <i>Cynodon dactylon</i>	0.20	4-8	Baja	Ces
<i>Cyperus alternifolius</i>	0.80		Alta	PAC
<i>Cyperus papyrus</i>	0.80		Alta	PAC
⇒ <i>Cytisus x praecox</i>	0.30		Baja	ArP
⇒ <i>Cytisus scoparius</i>	0.30		Baja	ArC
<i>Dahlia spp.</i>	0.65			PF
⇒ <i>Daphne gnidium</i>	0.40			ArP
⇒ <i>Daphne laurifolia</i>	0.40			ArP
<i>Daphne mezereum</i>	0.40		Baja	ArC
⇒ <i>Dasyllirion spp.</i>	0.20	8-10	Baja	S
<i>Datura arborea</i>	0.40		Media	ArP
<i>Datura sanguinea</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Datura suaveolens</i>	0.40		Baja	ArC
⇒ <i>Delonix regia</i>	0.40	AC		
<i>Delphinium spp.</i>	0.50		Baja	V / PA
<i>Deutzia spp.</i>	0.50		Baja	ArC
⇒ <i>Dianthus barbatus</i>	0.50	4-8	Baja	V / PF
<i>Dicksonia antarctica</i>	0.80			H
<i>Dimorphotheca aurantica</i>	0.40		Baja	V / PF
⇒ <i>Dimorphotheca ecklonis</i>	0.40		Baja	V / PF
<i>Diospyros kaki</i>	0.45		Baja	AC
<i>Dombeya x cayeuxii</i>	0.50	4-8	Baja	ArP
⇒ <i>Dracaena draco</i>	0.17		Baja	AP
⇒ <i>Drosanthemum floribundum</i>	0.20	>10		T
<i>Dryopteris erythrosora</i>	0.50			H
<i>Duranta repens</i>	0.50		Baja	ArC
⇒ <i>Echeveria spp.</i>	0.26			S
⇒ <i>Echinocactus spp.</i>	0.16			Cac
⇒ <i>Echium vulgare</i>	0.20		Baja	ArP / PF
⇒ <i>Elaeagnus angustifolia</i>	0.30	8-10	Media	AC
⇒ <i>Elaeagnus commutata</i>	0.30			ArC
<i>Elaeagnus X ebbingei</i>	0.35		Media	ArP
⇒ <i>Elaeagnus pungens</i>	0.20	4-8	Baja	ArP



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
⇒ <i>Ephedra fragilis</i>	0.40			ArP
⇒ <i>Erica arborea</i>	0.50	2-4	Media	ArP
⇒ <i>Erica multiflora</i>	0.50	2-4	Media	ArP
⇒ <i>Erigeron mucronatus</i>	0.40		Media	V / T / PF
⇒ <i>Erigeron karvinskianus</i>	0.45		Media	V / T / PF
⇒ <i>Eriocephalus africanus</i>	0.30			ArP
<i>Erodium x variable</i>	0.20			PF
<i>Erodium chrysanthum</i>	0.45			PF
⇒ <i>Eryobotrya japonica</i>	0.38	< 2	Baja	AP
⇒ <i>Erythrina caffra</i>	0.20		Baja	AC
⇒ <i>Erythrina cista-galli</i>	0.38		Baja	AC
<i>Erythrina falcata</i>	0.20		Baja	AC
<i>Escallonia spp.</i>	0.50		Media	ArP
⇒ <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.28	4-8	Alta	AP
⇒ <i>Eucalyptus ficifolia</i>	0.40		Alta	AP
⇒ <i>Eucalyptus globulus</i>	0.28	2-4	Baja	AP
⇒ <i>Eucalyptus gunnii</i>	0.30			AP
⇒ <i>Eucalyptus leucoxydon</i>	0.30			AP
⇒ <i>Eucalyptus polyanthemos</i>	0.30			AP
⇒ <i>Eucalyptus sideroxydon</i>	0.30	4-8		AP
⇒ <i>Eucalyptus viminalis</i>	0.30			AP
<i>Euonymus europaeus</i>	0.40		Media	ArC
<i>Euonymus fortunei</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Euonymus japonicus</i>	0.40	4-8	Baja	ArP
⇒ <i>Euphorbia candelabrum</i>	0.20		Baja	S
⇒ <i>Euphorbia (= Poinsettia) pulcherrima</i>	0.40		Baja	S
⇒ <i>Euphorbia dendroidea</i>	0.30			S
⇒ <i>Euphorbia myrsinites</i>	0.30		Baja	S
<i>Euphorbia rigida</i>	0.18		Baja	S
⇒ <i>Euphorbia splendens (= E. milii)</i>	0.20			S
⇒ <i>Euphorbia tirucali</i>	0.15		Baja	S
⇒ <i>Euryops pectinatus</i>	0.30		Baja	ArP
<i>Evolvulus convulvuloides</i>	0.20			V / PF
<i>Fagus sylvatica</i>	0.65		Baja	AC
<i>Fatsia japonica</i>	0.56		Media	ArP
⇒ <i>Feijoa sellowiana</i>	0.32	2-4	Baja	AP
⇒ <i>Ferocactus spp.</i>	0.15		Baja	Cac
⇒ <i>Festuca arundinacea</i>	0.50	2-4	Alta	Ces
⇒ <i>Festuca ovina glauca</i>	0.40		Baja	Ces
<i>Ficus benjamina</i>	0.50			AP
⇒ <i>Ficus carica</i>	0.50	4-8	Baja	AC
<i>Ficus elastica</i>	0.50			AP
<i>Ficus macrophylla</i>	0.50		Baja	AP
⇒ <i>Ficus microcarpa (= F. nitida)</i>	0.50			AP
⇒ <i>Ficus pumila (= F. repens)</i>	0.50		Baja	PT
⇒ <i>Ficus rubiginosa</i>	0.50			AP
<i>Forsythia X intermedia</i>	0.40		Media	ArC
⇒ <i>Fouquieria splendens</i>	0.18			S
<i>Fragaria vesca</i>	0.40			T
⇒ <i>Frankenia corymbosa</i>	0.30			T
⇒ <i>Frankenia laevis</i>	0.30			T
⇒ <i>Frankenia pauciflora</i>	0.30			T
⇒ <i>Frankenia thymifolia</i>	0.30			T
<i>Fraxinus americana</i>	0.50			AC
<i>Fraxinus excelsor</i>	0.40		Alta	AC
<i>Fraxinus ornus</i>	0.40		Alta	AC
<i>Fremontodendron spp.</i>	0.13		Baja	ArP
<i>Fuchsia spp.</i>	0.65		Media	ArP
⇒ <i>Furcraea spp.</i>	0.20		Baja	S
⇒ <i>Gaillardia aristata</i>	0.40			V / PF
⇒ <i>Gaillardia grandiflora</i>	0.40		Media	V / PF
⇒ <i>Gaillardia pulchella</i>	0.40		Media	V / PF
<i>Gardenia spp.</i>	0.50	2-4		ArP



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Gaultheria procumbens</i>	0.80		Baja	ArP
= <i>Gazania pavonia</i>	0.50	8-10	Media	V / T
= <i>Gazania splendens</i>	0.50	8-10	Media	V / T
= <i>Gazania x hybrida</i>	0.50	8-10	Media	V / T
= <i>Genista cinerea</i>	0.40		Baja	ArP
= <i>Genista hispanica</i>	0.40		Baja	ArP / T
= <i>Genista ramosissima</i>	0.40		Baja	ArP
= <i>Genista scorpius</i>	0.40		Baja	ArP
= <i>Genista spartioides</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Geranium sanguinum</i>	0.50			PF
= <i>Ginkgo biloba</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Gleditsia triacanthos</i>	0.25	8-10	Alta	AC
= <i>Globularia alypum</i>	0.40			ArP / T
= <i>Globularia cordifolia</i>	0.40			ArP / T
= <i>Graptopetalum spp.</i>	0.26			S
= <i>Grevillea robusta</i>	0.32		Baja	AP
= <i>Grevillea rosmarinifolia</i>	0.20		Media	ArP
= <i>Grevillea themanniana</i>	0.30			ArP
<i>Grewia occidentalis</i>	0.50			ArC
= <i>Gypsophila paniculata</i>	0.38		Baja	PF
<i>Hamamelis virginiana</i>	0.50		Baja	ArC
= <i>Haworthia spp.</i>	0.20			S
<i>Hebe spp.</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Hedera canariensis</i>	0.50	2-4	Baja	PT / T
<i>Hedera colchica</i>	0.40		Baja	PT / T
= <i>Hedera Hix</i>	0.50	2-4	Baja	PT / T
<i>Hedychium gardnerianum</i>	0.72			PF
= <i>Hianthemum nummularium</i>	0.20		Media	ArP / T
= <i>Hychirum bracteatum</i>	0.20			PA
<i>Hiotropum arborescens</i>	0.50		Media	ArP
= <i>Hiotropum peruvianum</i>	0.40			PT
<i>Hleborus spp.</i>	0.50			PF
<i>Hemerocallis spp.</i>	0.50		Media	V / PA / PF
<i>Heuchera sanguinea</i>	0.50			T / PF
<i>Hibbertia scandens</i>	0.50			PT
<i>Hibiscus mutabilis</i>	0.50		Media	ArP
= <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	0.56	2-4	Media	ArP
= <i>Hibiscus syriacus</i>	0.45		Baja	ArC
<i>Hosta spp.</i>	0.50		Media	V
<i>Houttuynia cordata</i>	0.50		Media	V / T
<i>Howea belmoreana</i>	0.50		Baja	Pal
= <i>Howea forsteriana</i>	0.50		Baja	Pal
<i>Hydrangea macrophylla</i>	0.70	8-10	Baja	ArC
= <i>Hypericum balearicum</i>	0.50			ArP / T
= <i>Hypericum calycinum</i>	0.50	4-8	Baja	ArP / T
<i>Hypericum inodorum</i>	0.40		Baja	ArC / T
= <i>Iberis sempervirens</i>	0.50		Media	V / T
<i>Ilex aquifolium</i>	0.45	2-4	Baja	ArP
<i>Impatiens sp.</i>	0.65		Media	V / PF
<i>Ischroma cyanea</i>	0.50		Baja	ArP
= <i>Ipomoea acuminata</i>	0.35			PT
= <i>Iris spp.</i>	0.50		Media	V / PA / PF
<i>Ixora coccinea</i>	0.50			ArP
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.50		Baja	AC
<i>Jasminum azoricum</i>	0.40		Baja	PT
= <i>Jasminum fruticans</i>	0.40		Baja	PT
<i>Jasminum humile</i>	0.44		Baja	PT
<i>Jasminum nitidum</i>	0.44		Baja	PT
<i>Jasminum nudiflorum</i>	0.40		Baja	PT
<i>Jasminum officinalis</i>	0.50		Baja	PT
<i>Jasminum polyanthum</i>	0.50		Baja	PT
<i>Jasminum sambac</i>	0.50		Baja	PT
<i>Jasminum simplicifolium</i>	0.50		Baja	PT



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
⇒ <i>Jubaea chilensis</i>	0.35		Media	Pal
<i>Juglans regia</i>	0.50		Baja	ArC
⇒ <i>Juniperus chinensis</i>	0.35		Media	Con / T
⇒ <i>Juniperus communis</i>	0.35		Media	Con / T
⇒ <i>Juniperus horizontalis</i>	0.35		Media	Con / T
⇒ <i>Juniperus oxycedrus</i>	0.35		Media	Con
⇒ <i>Juniperus phoenicea</i>	0.35		Media	Con
⇒ <i>Juniperus sabina</i>	0.35		Media	Con / T
⇒ <i>Juniperus squamata</i>	0.35		Media	Con / T
⇒ <i>Juniperus thurifera</i>	0.35		Media	Con
⇒ <i>Juniperus virginiana</i>	0.35		Media	Con / T
<i>Justicia carnea</i>	0.74		Media	ArP
⇒ <i>Kalanchoe spp.</i>	0.26	2-4	Baja	S
<i>Kerria japonica</i>	0.50		Baja	ArC
⇒ <i>Kleinia tomentosa</i>	0.30			S
<i>Kniphofia uvaria</i>	0.26		Media	V
⇒ <i>Koeleruteria paniculata</i>	0.50		Baja	AC
<i>Laburnum anagyroides</i>	0.50		Baja	AC
⇒ <i>Lagerstroemia indica</i>	0.40	2-4	Baja	AC
⇒ <i>Lagunaria patersonii</i>	0.20	4-8	Baja	AC
<i>Lamium maculatum</i>	0.40			V / T
⇒ <i>Lampranthus aurantiacus</i>	0.20	>10	Baja	V / T
⇒ <i>Lantana camara</i>	0.26	4-8	Media	ArP
⇒ <i>Lantana montevidensis (= L.sellowiana)</i>	0.26		Baja	ArP / T
<i>Larix dedicua</i>	0.40		Baja	Con
⇒ <i>Lathyrus odoratus</i>	0.40			PT
⇒ <i>Laurus nobilis</i>	0.30		Baja	AP
⇒ <i>Lavandula spp.</i>	0.30		Baja	ArP / PA
<i>Lavatera assurgentiflora</i>	0.32			ArP
⇒ <i>Leonotis (= Phlomis) leonurus</i>	0.30		Baja	ArP
⇒ <i>Leptospermum laevigatum</i>	0.20		Baja	AP
⇒ <i>Leptospermum scoparium</i>	0.35		Baja	ArP
<i>Ligustrum japonicum</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Ligustrum lucidum</i>	0.40	4-8	Baja	ArP
⇒ <i>Limonium cossonianum</i>	0.30			V
⇒ <i>Limonium insigne</i>	0.30			V
⇒ <i>Limonium latifolium</i>	0.30			V
<i>Limonium perezii</i>	0.32		Media	V
⇒ <i>Limonastrum monopetalum</i>	0.20			ArP
⇒ <i>Lippia repens</i>	0.50		Media	V / T
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.50	4-8	Alta	AC
<i>Liriodendron tulipifera</i>	0.56	2-4	Media	AC
<i>Lirope muscari</i>	0.55		Media	V / T
<i>Lirope spicata</i>	0.50			V / T
⇒ <i>Lithodora fruticosa</i>	0.50			V / T
⇒ <i>Lithodora oleifolia</i>	0.50			V / T
⇒ <i>Livistona australis</i>	0.50		Alta	Pal
⇒ <i>Livistona chinensis</i>	0.50		Baja	Pal
<i>Lobelia laxiflora</i>	0.23			V / T
<i>Lobelia richmondensis</i>	0.50			V / T
⇒ <i>Lolium perenne</i>	0.60	4-8		Ces
⇒ <i>Lonicera caprifolium</i>	0.40			PT
⇒ <i>Lonicera etrusca</i>	0.40			PT
<i>Lonicera hildebrandiana</i>	0.50			PT
⇒ <i>Lonicera implexa</i>	0.40			PT
⇒ <i>Lonicera japonica</i>	0.37	4-8	Media	PT
<i>Lonicera nitida</i>	0.40		Baja	ArP
⇒ <i>Lotus corniculatus</i>	0.44			ArP / T
<i>Lysimachia nummularia</i>	0.80		Media	V / T
<i>Macadamia spp.</i>	0.50			AP
<i>Magnolia grandiflora</i>	0.56	2-4	Baja	AP
<i>Magnolia x soulangiana</i>	0.50		Baja	AC
<i>Magnolia stellata</i>	0.50			ArC

Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
= <i>Mahonia aquifolia</i>	0.50	< 2	Baja	ArP / T
<i>Mahonia bealei</i>	0.50			ArP
<i>Mahonia lomariifolia</i>	0.45			ArP
= <i>Mahonia pinnata</i>	0.50			ArP
= <i>Malus sylvestris</i>	0.50			AC
<i>Mandevilla laxa</i>	0.50			PT
<i>Melaleuca armillaris</i>	0.33	4-8		ArP
<i>Melaleuca decussata</i>	0.33	8-10		ArP
= <i>Melaleuca elliptica</i>	0.33	4-8	Media	ArP
<i>Melaleuca fulgens</i>	0.40	4-8		ArP
<i>Melaleuca linariifolia</i>	0.20	4-8		AP
= <i>Melaleuca nesophila</i>	0.20	4-8		AP
<i>Melaleuca squamea</i>	0.40	4-8		ArP
<i>Melaleuca stypHioides</i>	0.32	4-8		AP
= <i>Melia azedarach</i>	0.17	4-8	Baja	AC
<i>Melissa officinalis</i>	0.20			V / T
<i>Mentha spp.</i>	0.40		Media	V / T / PA
= <i>Mesembryanthemum spp.</i>	0.20			S
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	0.80		Alta	Con
= <i>Metrosideros excelsus</i>	0.40		Baja	AP
= <i>Mikania (= Senecio) scandens</i>	0.40			PT
<i>Mimosa pudica</i>	0.20			ArP
<i>Mimulus luteus</i>	0.20		Media	PF
= <i>Miscanthus sinensis</i>	0.50		Media	HO
<i>Monstera deliciosa</i>	0.80		Media	PT
= <i>Morus alba</i>	0.40	8-10	Baja	AC
= <i>Morus nigra</i>	0.40	8-10	Baja	AC
= <i>Muehlenbeckia complexa</i>	0.38		Media	PT
<i>Murraya paniculata</i>	0.58			ArP
<i>Murraya exotica</i>	0.40			ArP
<i>Musa spp.</i>	0.74			ArP
= <i>Myoporum tenuifolium</i>	0.42		Alta	ArP
= <i>Myrica faya</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Myrica pensilvanica</i>	0.40		Baja	ArC
= <i>Myrtus communis</i>	0.35		Baja	ArP
= <i>Nandina domestica</i>	0.35	2-4	Baja	ArP
<i>Nandina domestica 'Purpurea'</i>	0.50	2-4	Baja	ArP
<i>Neodypsis decaryi</i>	0.25			Pal
= <i>Nepeta mussini</i>	0.45			V / T / PA
= <i>Nerium oleander</i>	0.30	4-8	Baja	ArP
= <i>Olea europaea</i>	0.27	4-8	Baja	AP
= <i>Olea europaea var.sylvestris</i>	0.20	4-8	Baja	AP
<i>Oenothera fruticosa</i>	0.20			V
<i>Oenothera macrocarpa</i>	0.20			V
= <i>Oenothera missourensis</i>	0.20			V
= <i>Oenothera tetragona</i>	0.20			V
= <i>Ononis aragonensis</i>	0.30		Baja	ArP
= <i>Ononis fruticosa</i>	0.30		Baja	ArP
= <i>Ononis matrix</i>	0.30		Baja	ArP
= <i>Ophiopogon japonicus</i>	0.70	4-8	Media	V / T
= <i>Opuntia spp.</i>	0.15	4-8	Baja	Ciac
<i>Origanum spp.</i>	0.35	4-8	Alta	V / T / PA
<i>Osmanthus fragrans</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Osmanthus heterophyllus</i>	0.50		Baja	ArP
= <i>Osteospermum spp.</i>	0.26		Baja	V / T
<i>Ostrya carpinifolia</i>	0.40		Media	AC
= <i>Pachypodium magadascariensis</i>	0.20			S
= <i>Paeonia spp.</i>	0.50		Baja	V
= <i>Paliurus spina-christi</i>	0.40			ArC
<i>Pandorea jasminoides</i>	0.50			PT
= <i>Parkinsonia aculeata</i>	0.17	4-8	Baja	AC
= <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	0.50		Media	PT
= <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.50		Media	PT



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
⇒ <i>Paspalum vaginatum</i>	0.30	>10	Alta	Ces
⇒ <i>Passiflora caerulea</i>	0.50	< 2	Baja	PT
⇒ <i>Passiflora quadrangularis</i>	0.50	< 2	Baja	PT
⇒ <i>Pawlonia tomentosa</i>	0.40		Baja	AC
⇒ <i>Pelargonium domesticum</i> (= <i>P.grandiflorum</i>)	0.40	4-8		V / PA / PF
⇒ <i>Pelargonium hortorum</i>	0.38	4-8		V / PA / PF
⇒ <i>Pelargonium peltatum</i>	0.50	4-8		V / PA / PF
⇒ <i>Pelargonium zonale</i>	0.40	4-8		V / PA / PF
⇒ <i>Pennisetum clandestinum</i>	0.20	4-8		Ces
<i>Pennisetum setaceum</i>	0.18	4-8		HO
⇒ <i>Pennisetum villosum</i>	0.20			HO
⇒ <i>Penstemon heterophyllus</i>	0.50		Baja	V
<i>Pentas lanceolata</i>	0.4		Media	ArP
<i>Perovskia</i> spp.	0.50			V / T
<i>Persea americana</i>	0.50	< 2		AP
⇒ <i>Phaseolus caracalla</i>	0.40			PT
⇒ <i>Phalaris arundinacea</i>	0.50	2-4	Alta	HO
<i>Philadelphus coronarius</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Phillyrea latifolia</i>	0.20			AP
<i>Philodendron bipinnatum</i>	0.50			ArP
⇒ <i>Phlomis fruticosa</i>	0.30		Baja	ArP / PA
⇒ <i>Phlox subulata</i>	0.50			V / T
⇒ <i>Phoenix canariensis</i>	0.30	8-10	Media	Pal
⇒ <i>Phoenix dactylifera</i>	0.22	8-10	Baja	Pal
⇒ <i>Phoenix reclinata</i>	0.50		Baja	Pal
<i>Phoenix roebelenii</i>	0.50	8-10	Baja	Pal
⇒ <i>Phormium tenax</i>	0.32		Alta	ArP
<i>Photinia davidiana</i>	0.50		Baja	AP
<i>Photinia serrulata</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Photinia x fraseri</i>	0.50	< 2	Baja	ArP
⇒ <i>Phyllirea angustifolia</i>	0.30			ArP
⇒ <i>Phytolacca dioica</i>	0.40		Media	AC
<i>Picea abies</i>	0.50	2-4	Baja	Con
<i>Picea pungens</i>	0.50	2-4	Baja	Con
<i>Pieris japonica</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Pinus brutia</i>	0.30			Con
⇒ <i>Pinus canariensis</i>	0.35		Baja	Con
⇒ <i>Pinus halepensis</i>	0.20	4-8	Media	Con
<i>Pinus mugo</i>	0.35		Baja	Con
<i>Pinus muricata</i>	0.40			Con
<i>Pinus nigra</i>	0.50		Baja	Con
⇒ <i>Pinus pinaster</i>	0.40		Baja	Con
⇒ <i>Pinus pinea</i>	0.30	8-10	Baja	Con
⇒ <i>Pinus radiata</i>	0.50			Con
⇒ <i>Pinus sylvestris</i>	0.50		Baja	Con
⇒ <i>Pinus thurbergii</i>	0.40			Con
<i>Pistacia atlantica</i>	0.20			ArP
⇒ <i>Pistacia lentiscus</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Pistacia vera</i>	0.35			AC
⇒ <i>Pittosporum crassifolium</i>	0.50			AP
⇒ <i>Pittosporum phillyraeoides</i>	0.38	4-8		AP
⇒ <i>Pittosporum unciulatum</i>	0.30			AP
<i>Pittosporum tenuifolium</i>	0.50		Baja	ArP
⇒ <i>Pittosporum tobira</i>	0.45	4-8	Baja	ArP
⇒ <i>Pittosporum viridiflorum</i>	0.40			AP
⇒ <i>Platanus x hispanica</i>	0.40	4-8		AC
<i>Platanus occidentalis</i>	0.40		Media	AC
⇒ <i>Platanus orientalis</i>	0.40		Media	AC
<i>Platycodon grandiflorus</i>	0.50		Baja	V / T
<i>Plectranthus</i> spp.	0.50			ArP
⇒ <i>Plumbago auriculata</i> (= <i>P.campensis</i>)	0.44		Baja	PT
<i>Plumbago scandens</i>	0.35			ArP
⇒ <i>Plumeria rubra</i>	0.35			ArC



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
<i>Poa annua</i>	0.70	2-4	Media	Ces
<i>Poa pratensis</i>	0.60		Media	Ces
<i>Poa trivialis</i>	0.80	2-4	Alta	Ces
<i>Podocarpus neriifolius</i>	0.50			Con
= <i>Podranea ricasoliana</i>	0.50	4-8		PT
<i>Polygala X myrtifolia</i>	0.42		Baja	ArP
<i>Polystichum setiferum</i>	0.65			H
<i>Populus alba 'Pyramidalis'</i>	0.60			AC
<i>Populus X canadensis</i>	0.74			AC
<i>Populus nigra 'Italica'</i>	0.60		Media	AC
= <i>Portulacaria afra</i>	0.20	4-8		S / PF
= <i>Portulacaria grandiflora</i>	0.20	4-8		S / PF
= <i>Potentilla reptans</i>	0.50		Baja	ArC / T
<i>Primula japonica</i>	0.50		Media	V / T
= <i>Prosopis chilensis</i>	0.30			AP
<i>Protea spp.</i>	0.50			ArP
= <i>Prunus avium</i>	0.40		Baja	AC
= <i>Prunus cerasifera "Antropurpurea"</i>	0.40		Media	AC
= <i>Prunus dulcis</i>	0.15	4-8		AC
<i>Prunus lauroceracus</i>	0.60		Baja	AP
<i>Prunus lusitanica</i>	0.20		Baja	AP
= <i>Prunus mahaleb</i>	0.40		Baja	AC
<i>Prunus persica</i>	0.40		Baja	AC
<i>Prunus serrulata</i>	0.40		Baja	AC
= <i>Prunus spinosa</i>	0.40			ArC
<i>Prunus triloba</i>	0.40		Baja	AC
<i>Pseudopanax linearifolius</i>	0.40			AP
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	0.40		Baja	Con
= <i>Psidium guajava</i>	0.50			ArP
= <i>Psidium littorale</i>	0.50			AP
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	0.80		Alta	AC
= <i>Punica granatum</i>	0.40	4-8	Baja	AC
= <i>Punica granatum nana</i>	0.40	4-8		ArC
= <i>Pyracantha coccinea</i>	0.35	4-8	Baja	ArP
<i>Pyrostegia venusta</i>	0.50		Media	PT
<i>Pyrus communis</i>	0.50	< 2	Baja	AC
= <i>Pyrus salicifolia</i>	0.40		Baja	AC
= <i>Pyrus spinosa</i>	0.40			AC
= <i>Quercus calliprinos</i>	0.40			ArP
= <i>Quercus cerris</i>	0.40			AC
<i>Quercus coccinea</i>	0.50		Alta	AC
= <i>Quercus faginea</i>	0.40			AC
= <i>Quercus ilex</i>	0.40		Baja	AP
= <i>Quercus macrocarpa</i>	0.40			AC
= <i>Quercus pubescens</i>	0.40			AC
<i>Quercus robur</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Quercus rotundifolia</i>	0.40			AP
= <i>Quercus suber</i>	0.20		Baja	AP
<i>Radermachera sinica</i>	0.50			AP
<i>Ranunculus asiaticus</i>	0.50		Media	PF
<i>Ravenea rivularis</i>	0.50		Alta	Pal
= <i>Retama monosperma</i>	0.20			ArP
= <i>Retama sphaerocarpa</i>	0.20			ArP
= <i>Rhamnus alaternus</i>	0.28	4-8	Media	AP
= <i>Rhamnus ludovici-salvatoris</i>	0.30			AP
= <i>Rhamnus lycioides</i>	0.24	4-8		AP
= <i>Rhamnus saxatilis</i>	0.30			ArC
= <i>Raphiolepis indica</i>	0.50			ArP
= <i>Raphiolepis ovata</i>	0.50			ArP
= <i>Rhapis excelsa</i>	0.50		Baja	Pal
<i>Rhododendron spp.</i>	0.65	2-4	Baja	ArP
= <i>Rhus typhina</i>	0.20			AC
<i>Ribes rubrum</i>	0.35			ArC



Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
= <i>Ricinus comunis</i>	0.40		Baja	ArP
<i>Robinia hispida</i>	0.20			ArC
= <i>Robinia pseudoacacia</i>	0.20	8-10	Baja	AC
= <i>Romneya coulteri</i>	0.13		Baja	ArP
<i>Rosa banksiae</i>	0.40		Media	ArC / PF
<i>Rosa californica</i>	0.40			ArC / PF
= <i>Rosa canina</i>	0.40			ArC / PF
<i>Rosa 'Cecile Brunner'</i>	0.40			ArC / PF
= <i>Rosa rugosa</i>	0.40			ArC / PF
= <i>Rosa spinosissima</i>	0.40			ArC / PF
= <i>Rosa virginiana</i>	0.40			ArC / PF
= <i>Rosmarinus officinalis</i>	0.30	4-8	Baja	ArP
= <i>Rudbekia hirta</i>	0.40			V / PF
<i>Rudbekia lacitania</i>	0.40		Media	V
= <i>Ruscus aculeatus</i>	0.40		Media	ArP
<i>Ruscus racemosus</i>	0.40			ArP
<i>Rusellia equisetifolia</i>	0.40			ArP
= <i>Sabal spp.</i>	0.50			Pal
<i>Salix spp.</i>	0.80		Alta	AC
= <i>Salvia aneustifolia</i>	0.30	4-8	Baja	ArP / PA
= <i>Salvia argentea</i>	0.20	4-8	Baja	ArP / PA
= <i>Salvia leucantha</i>	0.30	4-8	Baja	ArP / PA
= <i>Salvia microphylla</i>	0.32	4-8	Baja	ArP / PA
= <i>Salvia officinalis</i>	0.45	4-8	Baja	ArP / PA / PF
= <i>Salvia sclarea</i>	0.30	4-8	Baja	ArP / PA
<i>Sambucus spp.</i>	0.30	8-10	Media	ArC
= <i>Santolina chamaecyparissus</i>	0.20	4-8	Baja	ArP / T
= <i>Saponaria ocyroides</i>	0.35			V / T
<i>Schefflera arboricola</i>	0.50			ArP
= <i>Schinus aroeira</i>	0.50			AP
= <i>Schinus molle</i>	0.50	2-4	Baja	AP
= <i>Schinus terebinthefolius</i>	0.50			AP
= <i>Sedum acre</i>	0.20			S / V / T
= <i>Sedum sediforme</i>	0.20			S / V / T
= <i>Sedum sieboldii</i>	0.20			S / V / T
= <i>Senecio cineraria</i> (= <i>Cineraria maritima</i>)	0.26		Baja	ArP / PF
<i>Senecio petasitis</i>	0.50		Baja	ArP / PF
<i>Senna artemisoides</i>	0'35			ArP
= <i>Sequoia sempervirens</i>	0.80		Baja	Con
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	0.50		Baja	Con
<i>Serissa foetida</i>	0'40			ArP
<i>Sesbania punicea</i>	0'50		Baja	ArP
= <i>Silene spp.</i>	0.30			PF
= <i>Smilax aspera</i>	0.50			PT
= <i>Solandra maxima</i> (= <i>S. hartwegii</i>)	0.50	4-8		PT
= <i>Solanum jasminoides</i>	0.50			PT
= <i>Sophora japonica</i>	0.40		Baja	AC
<i>Sorbus aria</i>	0.40		Baja	AC
= <i>Sorbus aucuparia</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Sorbus domestica</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Sorbus torminalis</i>	0.50		Baja	AC
= <i>Spartium junceum</i>	0.13	4-8	Baja	ArP
<i>Spiraea x bulmalda</i>	0.50	2-4	Baja	ArC
<i>Spiraea x vanhouttei</i>	0.50	2-4	Baja	ArC
<i>Stachys byzantina</i>	0.38		Media	V / T
= <i>Stachys lanata</i>	0.20			V / T
= <i>Stapellia spp.</i>	0.30			S
= <i>Stenotaphrum secundatum</i>	0.50	>10	Baja	Ces
<i>Stephanotis floribunda</i>	0.50	4-8		PT
= <i>Stipa barbata</i>	0.20			HO
= <i>Stipa capillaris</i>	0.20			HO
= <i>Stipa offneri</i>	0.20			HO
= <i>Stipa parviflora</i>	0.20			HO

Especie	Ke	Tolerancia a Salinidad (dS/m)	Tolerancia al encharcamiento	Tipo de especie
= <i>Stipa pennata</i>	0.20			HO
<i>Strelitzia nicolai</i>	0.50		Media	ArP
<i>Strelitzia reginae</i>	0.50		Baja	ArP
<i>Streptosolen jamesonii</i>	0.65			ArP
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	0.40		Baja	Pal
= <i>Syringa vulgaris</i>	0.50		Media	ArC
<i>Symphoricarpus orbiculatus</i>	0.50			ArC
<i>Symphoricarpus racemosus</i>	0.50			ArC
<i>Syzygium paniculatum</i>	0.50	8-10		ArP
<i>Tabebuia chrysantha</i>	0.50			AP
= <i>Tagetes lemmonii</i>	0.30	4-8		V
= <i>Tagetes patula</i>	0.50	4-8		V
= <i>Tamarix africana</i>	0.20	8-10		AC
= <i>Tamarix anglica</i>	0.20	8-10		AC
= <i>Tamarix canariensis</i>	0.20	8-10		AC
= <i>Tamarix gallica</i>	0.16	8-10		AC
<i>Taxodium distichum</i>	0.50		Alta	Con
<i>Taxodium mucronatum</i>	0.50			Con
<i>Taxus baccata</i>	0.50		Baja	Con
<i>Taxus baccata 'Stricta'</i>	0.50			Con
<i>Taxus baccata x media</i>	0.50			Con
<i>Tecoma stans</i>	0.50			AP
= <i>Tecomaria capensis</i>	0.50	4-8		PT
= <i>Tetraclinis articulata</i>	0.50			Con
= <i>Teucrium aragonense</i>	0.20			ArP / T
= <i>Teucrium fruticans</i>	0.26	4-8	Baja	ArP
<i>Thevetia peruviana</i>	0.50			ArP
<i>Thuja occidentalis</i>	0.50	8-10	Baja	Con
<i>Thuja orientalis</i>	0.50	4-8	Baja	Con
<i>Thunbergia alata</i>	0.50			PT
<i>Thunbergia cocinea</i>	0.50			PT
= <i>Thunbergia grandiflora</i>	0.50			PT
= <i>Thymus vulgaris</i>	0.50	8-10	Baja	ArP / T
<i>Tibouchina urvilleana</i>	0.65		Baja	ArP
<i>Tilia americana</i>	0.50		Baja	AC
<i>Tilia cordata</i>	0.5		Media	AC
<i>Tilia platyphyllos</i>	0.50		Baja	AC
<i>Tilia tomentosa</i>	0.50		Baja	AC
<i>Tilia umbraculifera</i>	0.50			AC
= <i>Tipuana tipu</i>	0.50		Baja	AC
<i>Trachospermum jasminoides</i>	0.50	< 2	Media	PT
<i>Trachycarpus fortunei</i>	0.44		Baja	Pal
<i>Tradescantia andersoniana</i>	0.50		Media	V
<i>Trithrinax campestris</i>	0.50			Pal
<i>Ulmus americana</i>	0.50		Media	AC
<i>Ulmus glabra</i>	0.20			AC
<i>Ulmus minor</i>	0.20			AC
= <i>Ulmus parvifolia</i>	0.50			AC
= <i>Ulmus pumila</i>	0.32			AC
<i>Umbellularia californica</i>	0.50			AC
<i>Vaccinium corymbosus</i>	0.50			ArC
<i>Verbena hybrids</i>	0.38			PF / T
= <i>Verbena repens</i>	0.20			PF / T
= <i>Viburnum lantana</i>	0.50			ArC
= <i>Viburnum odoratissimum</i>	0.50			ArP
<i>Viburnum opulus</i>	0.44		Media	ArC
<i>Viburnum rhytidophyllum</i>	0.50		Media	ArP
= <i>Viburnum suspensum</i>	0.50			ArP
= <i>Viburnum tinus</i>	0.50	2-4	Media	ArP
<i>Vinca major</i>	0.50		Media	ArP / T
= <i>Vinca minor</i>	0.50		Media	ArP / T
= <i>Vitex agnus-castus</i>	0.35	4-8	Baja	ArC
<i>Vitis vinifera</i>	0.40			PT



= <i>Washingtonia filifera</i>	0.35	4-8	Media	Pal
= <i>Washingtonia robusta</i>	0.35	4-8	Media	Pal
<i>Weigela florida</i>	0.50		Baja	ArC
= <i>Wigandia caracasana</i>	0.80		Baja	ArP
<i>Wisteria floribunda</i>	0.50		Baja	PT
= <i>Wisteria sinensis</i>	0.50		Baja	PT
= <i>Yucca aloefolia</i>	0.20	8-10	Baja	S / ArP
<i>Yucca elephantipes</i>	0.20	8-10	Baja	S / ArP
= <i>Yucca filamentosa</i>	0.20	8-10	Baja	S / ArP
= <i>Yucca gloriosa</i>	0.20	8-10	Baja	S / ArP
<i>Zamia furfuraceae</i>	0.20		Media	Pal
<i>Zantedeschia aethiopia</i>	0.60			PAC
= <i>Zelkova serrata</i>	0.45		Baja	AC
= <i>Zinia elegans</i>	0.40	4-8		PF
= <i>Ziziphus jujuba</i>	0.35	>10	Baja	AC
= <i>Zoysia sp.</i>	0.50	4-8	Baja	Ces

Tolerancia a Salinidad

Cualitativa	Cuantitativa (dS/cm)
Muy Resistente	>10
Resistente	8-10
Bastante Resistente	4-8
Sensible	2-4
Muy Sensible	<2

Tipo de planta utilizada

Árbol de hoja caduca	AC
Árbol de hoja perenne	AP
Arbusto de hoja caduca	ArC
Arbusto de hoja perenne	ArP
Bambú	B
Cactácea	Cac
Cespitosa	Ces
Conifera	Con
Helecho	H
Hierba ornamental	HO
Palmácea	Pal
Planta acuática	Pac
Planta aromática	PA
Planta de flor	PF
Planta trepadora	PT
Planta Tapizante	T
Planta Vivaz	V
Suculenta	S

= Plantas aptas para la Xerojardinería



ANEJO 2

Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 4 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (L/min)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
20 / 17,4	0,09	1,5	0,025	0,11	0,16
	0,144	2,4	0,04	0,17	0,36
	0,216	3,6	0,06	0,25	0,74
	0,288	4,8	0,08	0,34	1,22
	0,36	6	0,1	0,42	1,80
	0,54	9	0,15	0,63	3,66
	0,72	12	0,2	0,84	6,06
	0,9	15	0,25	1,05	8,96
	1,08	18	0,3	1,26	12,32
	1,44	24	0,4	1,68	20,39
25 / 21	0,54	9	0,15	0,43	1,50
	0,72	12	0,2	0,58	2,22
	0,9	15	0,25	0,72	3,32
	1,08	18	0,3	0,87	4,61
	1,44	24	0,4	1,15	7,74
	1,8	30	0,5	1,44	11,56
	2,16	36	0,6	1,73	16,05
	2,52	42	0,7	2,02	21,19
	2,88	48	0,8	2,31	26,95
	3,24	54	0,9	2,6	33,31
32 / 28	1,08	18	0,3	0,49	1,16
	1,44	24	0,4	0,65	1,95
	1,8	30	0,5	0,81	2,91
	2,16	36	0,6	0,97	4,04
	2,52	42	0,7	1,14	5,33
	2,88	48	0,8	1,3	6,77
	3,24	54	0,9	1,46	8,37
	3,6	60	1	1,62	10,12
	4,32	72	1,2	1,95	14,05
	5,04	84	1,4	2,27	18,55
5,4	90	1,5	2,44	21,00	
40 / 35,2	1,8	30	0,5	0,51	0,97
	2,16	36	0,6	0,62	1,35
	2,52	42	0,7	0,72	1,78
	2,88	48	0,8	0,82	2,26
	3,24	54	0,9	0,92	2,79
	3,6	60	1	1,03	3,37
	4,32	72	1,2	1,23	4,68
	5,04	84	1,4	1,44	6,18
	7,2	120	2	2,06	11,75
	10,8	180	3	3,08	24,38
50 / 44	2,88	48	0,8	0,53	0,77
	3,24	54	0,9	0,59	0,96
	3,6	60	1	0,66	1,16
	4,32	72	1,2	0,79	1,61
	5,04	84	1,4	0,92	2,12
	7,2	120	2	1,32	4,03
	10,8	180	3	1,97	8,35
	14,4	240	4	2,63	14,02
63 / 55,4	5,4	90	1,5	0,62	0,79
	9	150	2,5	1,04	1,99
	12,6	210	3,5	1,45	3,65
	16,2	270	4,5	1,87	5,73
	19,8	330	5,5	2,28	8,23



Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 6 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (L/min)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
20 / 16	0,09	1,5	0,025	0,12	0,24
	0,144	2,4	0,04	0,2	0,54
	0,216	3,6	0,06	0,3	1,10
	0,288	4,8	0,08	0,4	1,82
	0,36	6	0,1	0,5	2,68
	0,54	9	0,15	0,75	5,46
	0,72	12	0,2	0,99	9,03
	0,9	15	0,25	1,24	13,34
	1,08	18	0,3	1,49	18,36
	1,44	24	0,4	1,99	30,37
25 / 20,4	0,54	9	0,15	0,46	1,72
	0,72	12	0,2	0,61	2,55
	0,9	15	0,25	0,76	3,82
	1,08	18	0,3	0,92	5,30
	1,44	24	0,4	1,22	8,89
	1,8	30	0,5	1,53	13,29
	2,16	36	0,6	1,84	18,45
	2,52	42	0,7	2,14	24,35
	2,88	48	0,8	2,45	30,97
	3,24	54	0,9	2,75	38,28
32 / 26,2	1,08	18	0,3	0,56	1,59
	1,44	24	0,4	0,74	2,68
	1,8	30	0,5	0,93	4,00
	2,16	36	0,6	1,11	5,55
	2,52	42	0,7	1,3	7,33
	2,88	48	0,8	1,48	9,32
	3,24	54	0,9	1,67	11,52
	3,6	60	1	1,85	13,92
	4,32	72	1,2	2,23	19,33
	5,04	84	1,4	2,6	25,51
40 / 32,6	1,8	30	0,5	0,60	1,40
	2,16	36	0,6	0,72	1,94
	2,52	42	0,7	0,84	2,57
	2,88	48	0,8	0,96	3,26
	3,24	54	0,9	1,08	4,03
	3,6	60	1	1,20	4,88
	4,32	72	1,2	1,44	6,77
	5,04	84	1,4	1,68	8,94
	7,2	120	2	2,40	16,98
	10,8	180	3	3,59	35,23
50 / 40,8	2,88	48	0,8	0,61	1,11
	3,24	54	0,9	0,69	1,37
	3,6	60	1	0,76	1,66
	4,32	72	1,2	0,92	2,31
	5,04	84	1,4	1,07	3,04
	7,2	120	2	1,53	5,78
	10,8	180	3	2,29	12,00
	14,4	240	4	3,06	20,14
63 / 55,4	5,4	90	1,5	0,72	1,14
	9	150	2,5	1,2	2,85
	12,6	210	3,5	1,69	5,23
	16,2	270	4,5	2,17	8,22
	19,8	330	5,5	2,65	11,79



Pérdidas de carga para tubería de PE. Presión de trabajo: 10 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (L/min)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
20 / 14,4	0,09	1,5	0,025	0,15	0,39
	0,144	2,4	0,04	0,25	0,89
	0,216	3,6	0,06	0,37	1,81
	0,288	4,8	0,08	0,49	3,00
	0,36	6	0,1	0,61	4,43
	0,54	9	0,15	0,92	9,00
	0,72	12	0,2	1,23	14,89
	0,9	15	0,25	1,54	22,01
	1,08	18	0,3	1,84	30,28
	1,44	24	0,4	2,46	50,09
25 / 18	0,54	9	0,15	0,59	3,12
	0,72	12	0,2	0,79	4,66
	0,9	15	0,25	0,98	6,96
	1,08	18	0,3	1,18	9,66
	1,44	24	0,4	1,57	16,22
	1,8	30	0,5	1,96	24,23
	2,16	36	0,6	2,36	33,65
	2,52	42	0,7	2,75	44,41
	2,88	48	0,8	3,14	56,47
	3,24	54	0,9	3,54	69,81
32 / 23,2	1,08	18	0,3	0,71	2,86
	1,44	24	0,4	0,95	4,80
	1,8	30	0,5	1,18	7,17
	2,16	36	0,6	1,42	9,95
	2,52	42	0,7	1,66	13,13
	2,88	48	0,8	1,89	16,70
	3,24	54	0,9	2,13	20,65
	3,6	60	1	2,37	24,96
	4,32	72	1,2	2,84	34,65
	5,04	84	1,4	3,31	45,74
40 / 29	1,8	30	0,5	0,76	2,46
	2,16	36	0,6	0,91	3,41
	2,52	42	0,7	1,06	4,50
	2,88	48	0,8	1,21	5,72
	3,24	54	0,9	1,36	7,07
	3,6	60	1	1,51	8,55
	4,32	72	1,2	1,82	11,87
	5,04	84	1,4	2,12	15,67
	7,2	120	2	3,03	29,78
	10,8	180	3	4,54	61,70
50 / 36,2	2,88	48	0,8	0,78	1,97
	3,24	54	0,9	0,87	2,44
	3,6	60	1	0,97	2,95
	4,32	72	1,2	1,17	4,10
	5,04	84	1,4	1,36	5,41
	7,2	120	2	1,94	10,27
	10,8	180	3	2,91	21,31
	14,4	240	4	3,89	35,77
63 / 45,8	5,4	90	1,5	0,91	1,98
	9	150	2,5	1,52	4,96
	12,6	210	3,5	2,12	9,09
	16,2	270	4,5	2,73	14,30
	19,8	330	5,5	3,34	20,51



Pérdidas de carga para tubería de PVC. Presión de trabajo: 4 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (L/min)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
50 / 48	1,08	18	0,3	0,17	0,09
	1,8	30	0,5	0,28	0,22
	2,52	42	0,7	0,39	0,40
	3,24	54	0,9	0,5	0,63
	5,4	90	1,5	0,83	1,58
	9	150	2,5	1,38	3,96
	12,6	210	3,5	1,93	7,26
	16,2	270	4,5	2,49	11,41
63 / 61	1,8	30	0,5	0,17	0,07
	5,4	90	1,5	0,51	0,50
	9	150	2,5	0,86	1,25
	12,6	210	3,5	1,2	2,30
	16,2	270	4,5	1,54	3,61
	19,8	330	5,5	1,88	5,18
	23,4	390	6,5	2,22	7,00
	75 / 71,4	1,8	30	0,5	0,12
5,4		90	1,5	0,37	0,23
9		150	2,5	0,62	0,59
12,6		210	3,5	0,87	1,08
16,2		270	4,5	1,12	1,70
19,8		330	5,5	1,37	2,43
23,4		390	6,5	1,62	3,29
90 / 86,4		3,6	60	1	0,17
	10,8	180	3	0,51	0,33
	18	300	5	0,85	0,82
	25,2	420	7	1,19	1,50
	32,4	540	9	1,54	2,37
	39,6	660	11	1,88	3,39
	46,8	780	13	2,22	4,59
	54	900	15	2,56	5,93
110 / 105,6	10,8	180	3	0,34	0,12
	18	300	5	0,57	0,31
	25,2	420	7	0,8	0,57
	32,4	540	9	1,03	0,90
	43,2	720	12	1,37	1,52
	57,6	960	16	1,83	2,54
	72	1200	20	2,28	3,80
	125 / 120	18	300	5	0,44
25,2		420	7	0,62	0,31
32,4		540	9	0,8	0,49
43,2		720	12	1,06	0,82
57,6		960	16	1,41	1,38
72		1200	20	1,77	2,06
86,4		1440	24	2,12	2,86
140 / 134,4		21,6	360	6	0,42
	36	600	10	0,7	0,34
	50,4	840	14	0,99	0,63
	64,8	1080	18	1,27	0,99
	79,2	1320	22	1,55	1,42
	93,6	1560	26	1,83	1,92
	108	1800	30	2,11	2,48
	144	2400	40	2,82	4,16
160 / 153,6	21,6	360	6	0,32	0,07
	36	600	10	0,54	0,18
	50,4	840	14	0,76	0,33



64,8	1080	18	0,97	0,52
79,2	1320	22	1,19	0,75
93,6	1560	26	1,4	1,01
108	1800	30	1,62	1,31
144	2400	40	2,16	2,19

Pérdidas de carga para tubería de PVC. Presión de trabajo: 6 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (L/min)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
50 / 46,4	0,72	12	0,2	0,12	0,05
	1,44	24	0,4	0,24	0,17
	2,16	36	0,6	0,35	0,36
	2,88	48	0,8	0,47	0,60
	3,6	60	1	0,59	0,90
	7,2	120	2	1,18	3,12
	14,4	240	3	2,37	10,86
63 / 59,2	1,44	24	0,4	0,15	0,05
	3,6	60	1	0,36	0,28
	7,2	120	2	0,73	0,97
	10,8	180	3	1,09	2,01
	14,4	240	4	1,45	3,37
	21,6	360	6	2,18	7,00
75 / 70,6	1,8	30	0,5	0,13	0,03
	5,4	90	1,5	0,38	0,25
	9	150	2,5	0,64	0,62
	12,6	210	3,5	0,89	1,14
	16,2	270	4,5	1,15	1,79
	19,8	330	5,5	1,4	2,57
	25,2	420	7	1,79	3,97
	32,4	540	9	2,3	6,24
90 / 84,6	3,6	60	1	0,18	0,05
	10,8	180	3	0,53	0,36
	18	300	5	0,89	0,91
	25,2	420	7	1,25	1,66
	32,4	540	9	1,6	2,62
	39,6	660	11	1,96	3,76
	46,8	780	13	2,31	5,07
110 / 103,6	7,2	120	2	0,24	0,07
	14,4	240	4	0,47	0,23
	21,6	360	6	0,71	0,48
	28,8	480	8	0,95	0,80
	36	600	10	1,19	1,20
	50,4	840	14	1,66	2,19
	64,8	1080	18	2,14	3,45
	72	1200	20	2,37	4,17
125 / 117,6	10,8	180	3	0,28	0,07
	18	300	5	0,46	0,19
	25,2	420	7	0,64	0,34
	32,4	540	9	0,83	0,54
	43,2	720	12	1,1	0,90
	57,6	960	16	1,47	1,52
	72	1200	20	1,84	2,27
	86,4	1440	24	2,21	3,15
140 / 131,8	14,4	240	4	0,29	0,07
	21,6	360	6	0,44	0,15
	36	600	10	0,73	0,38



	50,4	840	14	1,03	0,69
	64,8	1080	18	1,32	1,09
	79,2	1320	22	1,61	1,56
	93,6	1560	26	1,91	2,10
	108	1800	30	2,2	2,72
	122,4	2040	34	2,49	3,41
160 / 150,6	18	300	5	0,28	0,06
	28,8	480	8	0,45	0,13
	43,2	720	12	0,67	0,28
	57,6	960	16	0,9	0,46
	72	1200	20	1,12	0,69
	86,4	1440	24	1,35	0,96
	100,8	1680	28	1,57	1,27
	126	2100	35	1,96	1,89
	162	2700	45	2,53	2,98

Pérdidas de carga para tubería de PVC. Presión de trabajo: 10 kg/cm²

Diámetro (mm) exterior/interior	Caudal (m ³ /h)	Caudal (l/min)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de carga (m.c.a. cada 100 m)
50 / 43,2	0,72	12	0,2	0,14	0,07
	1,44	24	0,4	0,27	0,24
	2,16	36	0,6	0,41	0,50
	2,88	48	0,8	0,55	0,84
	3,6	60	1	0,68	1,26
	7,2	120	2	1,36	4,40
	14,4	240	3	2,73	15,31
63 / 57	1,44	24	0,4	0,16	0,06
	3,6	60	1	0,39	0,33
	7,2	120	2	0,78	1,16
	10,8	180	3	1,18	2,41
	14,4	240	4	1,57	4,05
	21,6	360	6	2,35	8,40
75 / 67,8	1,8	30	0,5	0,14	0,04
	5,4	90	1,5	0,42	0,30
	9	150	2,5	0,69	0,76
	12,6	210	3,5	0,97	1,38
	16,2	270	4,5	1,25	2,17
	19,8	330	5,5	1,52	3,12
	25,2	420	7	1,94	4,82
	32,4	540	9	2,49	7,57
90 / 81,4	3,6	60	1	0,19	0,06
	10,8	180	3	0,58	0,44
	18	300	5	0,96	1,09
	25,2	420	7	1,35	2,00
	32,4	540	9	1,73	3,15
	39,6	660	11	2,11	4,52
	46,8	780	13	2,5	6,10
110 / 99,4	7,2	120	2	0,26	0,08
	14,4	240	4	0,52	0,28
	21,6	360	6	0,77	0,58
	28,8	480	8	1,03	0,98
	36	600	10	1,29	1,46
	50,4	840	14	1,8	2,67
	64,8	1080	18	2,32	4,20
	72	1200	20	2,58	5,08



125 / 113	10,8	180	3	0,3	0,09
	18	300	5	0,5	0,23
	25,2	420	7	0,7	0,41
	32,4	540	9	0,9	0,65
	43,2	720	12	1,2	1,09
	57,6	960	16	1,6	1,84
	72	1200	20	1,99	2,75
	86,4	1440	24	2,39	3,81
140 / 126,6	14,4	240	4	0,32	0,09
	21,6	360	6	0,48	0,18
	36	600	10	0,79	0,46
	50,4	840	14	1,11	0,84
	64,8	1080	18	1,43	1,32
	79,2	1320	22	1,75	1,89
	93,6	1560	26	2,07	2,55
	108	1800	30	2,38	3,30
122,4	2040	34	2,7	4,14	
160 / 144,6	18	300	5	0,3	0,07
	28,8	480	8	0,49	0,16
	43,2	720	12	0,73	0,34
	57,6	960	16	0,97	0,56
	72	1200	20	1,22	0,84
	86,4	1440	24	1,46	1,17
	100,8	1680	28	1,71	1,54
	126	2100	35	2,13	2,30
162	2700	45	2,74	3,62	

Nota:

Al seleccionar un diámetro cualquiera se debe tener en cuenta que la velocidad no exceda la máxima preestablecida de 1,5 m/s.



ANEJO 3**ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES (m)**

Profundidad de raíces: 0,25 m

Tipo de especie: Cespitosas

Profundidad de drenaje: ALTA (0,4 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	9,25	16,02	22,65
Arcilloso	1,48	2,56	3,62
Arcillo Limoso	3,14	5,43	7,68
Franco	5,65	9,79	13,85
Franco Arenoso	6,69	11,58	16,38
Franco Arcilloso	5,12	8,87	12,55

Profundidad de raíces: 0,25 m

Tipo de especie: Cespitosas

Profundidad de drenaje: MEDIA (0,25 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	6,61	11,45	16,2
Arcilloso	1,06	1,83	2,59
Arcillo Limoso	2,24	3,88	5,49
Franco	4,04	7	9,9
Franco Arenoso	4,78	8,28	11,71
Franco Arcilloso	3,66	6,34	8,97

Profundidad de raíces: 0,25 m

Tipo de especie: Cespitosas

Profundidad de drenaje: BAJA (0,1 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	3,62	6,26	8,86
Arcilloso	0,58	1	1,42
Arcillo Limoso	1,23	2,12	3
Franco	2,21	3,83	5,42
Franco Arenoso	2,61	4,53	6,4
Franco Arcilloso	2	3,47	4,91

Profundidad de raíces: 0,4 m

Tipo de especie: Tapizantes y vivaces

Profundidad de drenaje: ALTA (0,4 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	8,37	14,49	20,49
Arcilloso	1,34	2,32	3,28
Arcillo Limoso	2,84	4,91	6,95
Franco	5,11	8,86	12,53
Franco Arenoso	6,05	10,48	14,81
Franco Arcilloso	4,63	8,02	11,35



Profundidad de raíces: 0,4 m

Tipo de especie: Tapizantes y vivaces

Profundidad de drenaje: MEDIA (0,25 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja al encharcamiento	Tolerancia media al encharcamiento	Tolerancia alta al encharcamiento
Arenoso	6,08	10,54	14,9
Arcilloso	0,97	1,68	2,38
Arcillo Limoso	2,06	3,57	5,05
Franco	3,72	6,44	9,11
Franco Arenoso	4,4	7,62	10,77
Franco Arcilloso	3,37	5,83	8,25

Profundidad de raíces: 0,4 m

Tipo de especie: Tapizantes y vivaces

Profundidad de drenaje: BAJA (0,1 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja al encharcamiento	Tolerancia media al encharcamiento	Tolerancia alta al encharcamiento
Arenoso	3,45	5,97	8,44
Arcilloso	0,55	0,95	1,35
Arcillo Limoso	1,17	2,02	2,86
Franco	2,11	3,65	5,16
Franco Arenoso	2,49	4,32	6,1
Franco Arcilloso	1,91	3,31	4,67

Profundidad de raíces: 0,65 m

Tipo de especie: Arbustos y tapizantes arbustivas

Profundidad de drenaje: ALTA (0,4 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja al encharcamiento	Tolerancia media al encharcamiento	Tolerancia alta al encharcamiento
Arenoso	7,68	13,29	18,8
Arcilloso	1,23	2,13	3,01
Arcillo Limoso	2,6	4,51	6,38
Franco	4,69	8,13	11,49
Franco Arenoso	5,55	9,61	13,59
Franco Arcilloso	4,25	7,36	10,41

Profundidad de raíces: 0,65 m

Tipo de especie: Arbustos y tapizantes arbustivas

Profundidad de drenaje: MEDIA (0,25 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja al encharcamiento	Tolerancia media al encharcamiento	Tolerancia alta al encharcamiento
Arenoso	5,69	9,68	13,94
Arcilloso	0,91	1,58	2,23
Arcillo Limoso	1,93	3,34	4,73
Franco	3,48	6,03	8,52
Franco Arenoso	4,11	7,13	10,08
Franco Arcilloso	3,15	5,46	7,72



Profundidad de raíces: 0,65 m

Tipo de especie: Arbustos y tapizantes arbustivos

Profundidad de drenaje: BAJA (0,10 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	3,33	5,77	8,16
Arcilloso	0,53	0,92	1,3
Arcillo Limoso	1,13	1,96	2,77
Franco	2,04	3,53	4,99
Franco Arenoso	2,41	4,17	5,9
Franco Arcilloso	1,84	3,19	4,52

Profundidad de raíces: 1 m

Tipo de especie: Árboles

Profundidad de drenaje: ALTA (0,4 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	7,23	12,53	17,72
Arcilloso	1,16	2	2,83
Arcillo Limoso	2,17	4,25	6,01
Franco	4,42	7,66	10,83
Franco Arenoso	5,23	9,06	12,81
Franco Arcilloso	4,01	6,94	9,81

Profundidad de raíces: 1 m

Tipo de especie: Árboles

Profundidad de drenaje: MEDIA (0,25 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	5,45	9,44	13,35
Arcilloso	0,87	1,51	2,13
Arcillo Limoso	1,85	3,2	4,53
Franco	3,33	5,77	8,16
Franco Arenoso	3,94	6,82	9,65
Franco Arcilloso	3,02	5,23	7,39

Profundidad de raíces: 1 m










Tipo de especie: Árboles

Profundidad de drenaje: BAJA (0,10 m)

Tipo de suelo	Espaciamiento entre drenes (m)		
	Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
	al encharcamiento	al encharcamiento	al encharcamiento
Arenoso	3,26	5,65	7,99
Arcilloso	0,52	0,9	1,28
Arcillo Limoso	1,11	1,92	2,71
Franco	1,99	3,45	4,88
Franco Arenoso	2,36	4,08	5,78
Franco Arcilloso	1,81	3,13	4,42



RESPUESTAS A LAS EVALUACIONES

1 unidad didáctica		1. b	4. Falso	7. Falso
		2. c	5. b	8. b
		3. c	6. a	9. Verdadero
2 unidad didáctica		1. Verdadero	4. Verdadero	7. c
		2. d	5. b	8. b
		3. c	6. d	
3 unidad didáctica		1. d	4. b	7. b
		2. a	5. a	8. a
		3. d	6. c	9. c
4 unidad didáctica		1. c	5. a	9. a
		2. b	6. c	10. Falso
		3. Verdadero	7. d	
		4. d	8. Verdadero	
5 unidad didáctica		1. b	4. b	7. c
		2. Falso	5. Verdadero	8. Verdadero
		3. c	6. d	
6 unidad didáctica		1. c	4. d	7. c
		2. b	5. Verdadero	8. Verdadero
		3. Falso	6. a	
7 unidad didáctica		1. Verdadero	4. c	7. c
		2. b	5. d	8. c
		3. Falso	6. Falso	9. b
8 unidad didáctica		1. c	4. Falso	7. Verdadero
		2. Verdadero	5. b	8. d
		3. d	6. a	9. Verdadero
9 unidad didáctica		1. c	4. b	7. Falso
		2. Verdadero	5. Verdadero	8. a
		3. d	6. a	



GLOSARIO

- Alcance:** Es la distancia a la cual un aspersor es capaz de desplazar el agua cuando sale a través de su boquilla. Es muy variable dependiendo del tipo de aspersor y de las condiciones técnicas de trabajo.
- Alcorque:** Cavidad de pequeña profundidad realizado sobre suelo laboreable y delimitado generalmente por una obra de fábrica. Se utiliza fundamentalmente en árboles y arbustos.
- Aromática:** Especie que se caracteriza por aportar al jardín olores característicos y agradables.
- Arqueta:** Compartimento utilizado para albergar y agrupar elementos de los sistemas de riego, como llaves de paso, válvulas, reguladores, etc.
- Aspersor:** Cualquiera de los emisores de riego utilizados en un sistema de riego por aspersión. En jardinería los más utilizados son los aspersores de turbina.
- Automatización a demanda:** Sistema de automatización consistente en la colocación de sensores en el suelo, indicadores del nivel de agotamiento de agua en el mismo, de forma que cuando se sobrepase el nivel preestablecido, emitan una señal al programador para que éste dé lugar al inicio del riego.
- Borboteador o inundador:** Emisor de riego localizado que se caracteriza por trabajar a bajas presiones por lo que emite gotas de gran tamaño, que inundan el área de suelo donde se sitúa.
- Bulbo húmedo:** Zona del suelo que se humedece con el agua que suministra un emisor de riego localizado.
- Cabecera:** En riego por superficie, zona del área a regar donde se aplica el agua.
- Cabezal de riego:** Conjunto de dispositivos instalados al inicio de una instalación de riego, destinados a filtrar, tratar, fertilizar, y medir el agua de riego.
- Calendario de riego en tiempo real:** Tabla de las fechas de realización de los riegos y de las dosis de agua a aplicar durante éstos, en función de datos climáticos medidos en tiempo real.
- Calendario medio de riego:** Tabla de las fechas de realización de los riegos y de las dosis de agua a aplicar durante éstos, a partir de datos climáticos medios de varios años.
- Caudal:** Cantidad de agua que pasa por una conducción en un tiempo determinado.
- Caudal nominal:** Es el caudal que suministra el emisor de riego localizado a la presión para la que se ha diseñado.
- Cespitosa:** Especie de hierba menuda y tupida, generalmente perteneciente a la familia de las gramíneas, que se caracteriza por cubrir el terreno en el que está sembrada en su totalidad.
- Coefficiente de cultivo:** Coeficiente que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo, a medida que éstas se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. Se utiliza en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo.
- Coefficiente de jardín (Kj):** Coeficiente que describe las necesidades hídricas de las plantas del jardín en función de las especies que lo componen, la densidad de plantación y las condiciones microclimáticas de la zona. Se utiliza para el cálculo de la evapotranspiración del jardín.
- Coefficiente de uniformidad:** Índice que permite estimar la forma en que el agua se aplica al suelo. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que se ha infiltrado en todos los puntos del área regada, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada.
- Cola:** En riego por superficie, zona del área a regar donde el agua llega más tarde.
- Concentración:** Cantidad de un elemento por unidad de volumen de agua. Suele expresarse en gramos por litro o en miligramos por litro (partes por millón, ppm).
- Conductividad eléctrica (CE):** Parámetro utilizado para medir la salinidad del agua de riego. Las unidades más utilizadas son milihos/cm (mmhos/cm) o deciSiemens por metro (dS/m), siendo ambas equivalentes.
- Consola de programación:** Dispositivo utilizado en la automatización del riego, que consiste en un pequeño teclado que permite introducir manualmente los datos de programación de riego en el programador, o directamente sobre las electroválvulas.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.):** Parámetro que indica la cantidad de oxígeno, en mg/l, que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica contenida en el agua, durante un tiempo determinado (en general cinco días, DBO₅).
- Diámetro mínimo de paso:** Es la dimensión o tamaño de paso más estrecho que encuentra el agua en su recorrido dentro de un emisor de riego localizado.
- Difusor:** Emisor de riego por aspersión, que no dispone de elementos móviles, utilizado para distribuir el agua en forma de lluvia, formando pequeñas gotas o chorros.
- Dispositivos antivandálicos:** Sistemas de seguridad utilizados para dotar de protección a los elementos que componen los sistemas de riego.
- Dosis de riego:** Cantidad de agua a aplicar con el riego de forma que se satisfagan las necesidades brutas de las plantas.

- Drenar:** Referido al agua del suelo, dejar que se elimine libremente por gravedad sin realizar ninguna presión o succión.
- Eficiencia de aplicación del riego:** Es la relación entre la cantidad de agua que queda en la zona ocupada por las raíces y la cantidad de agua que se aplica con el riego.
- Electroválvula:** Dispositivo utilizado en los sistemas de automatización, que permite controlar el paso del agua de manera automática.
- Elementos singulares:** Dispositivos que permiten el control y la medición de los caudales circulantes y las presiones alcanzadas, y la protección de los elementos que componen la instalación, contribuyendo al correcto funcionamiento de la misma.
- Emisor:** Elemento destinado a aplicar y distribuir el agua sobre la superficie del terreno.
- Erosión:** Arranque, transporte y depósito de partículas del suelo, provocada por factores externos como el agua y el viento.
- Escorrentía:** Es la cantidad de agua aplicada con un determinado método de riego que no se infiltra en el suelo, escurriendo sobre su superficie y por lo tanto perdiéndose.
- Especie autóctona:** Planta original de la zona en la que se encuentra.
- Estructura del suelo:** Propiedad del suelo que hace referencia a la distribución de los agregados y poros que forman parte de la composición del mismo. Influye en la capacidad de retención de agua, y en la velocidad de infiltración de ésta en el suelo.
- Eutrofización:** Proceso por el cual la vegetación acuática o de ribera se desarrolla excesivamente al contener el agua grandes cantidades de nitrógeno y fósforo, principalmente.
- Evaporación:** Proceso por el cual el agua que existe en las capas más superficiales del suelo, y principalmente la que está en contacto directo con el aire exterior, pasa a la atmósfera en forma de vapor.
- Evapotranspiración (ET):** Término con el que se cuantifican, de forma conjunta, los procesos de evaporación directa de agua desde la superficie del suelo y la transpiración del vapor de agua desde la superficie de las hojas.
- Evapotranspiración de referencia (ET_r):** Es la evapotranspiración que produce una superficie extensa de hierba que cubre totalmente el suelo, con una altura de unos 10-15 centímetros, sin falta de agua y en pleno crecimiento. Con ella se evalúan las condiciones climáticas de la zona a la hora de calcular la evaporación de un cultivo.
- Fertilizante:** Compuesto que aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.
- Fertirrigación:** Procedimiento mediante el cual se aportan los fertilizantes a las plantas a través del agua de riego.
- Filtración profunda o percolación:** Cantidad de agua que, después de haberse infiltrado en el suelo, no puede ser retenida por éste y pasa hasta zonas situadas bajo la zona de las raíces. Es, por tanto, agua perdida.
- Fotosíntesis:** Proceso vital que ocurre en las plantas por el que las sustancias inorgánicas que extraen del suelo disueltas en agua (nutrientes minerales) pasan a ser sustancias orgánicas directamente aprovechables, contribuyendo así a sus procesos de crecimiento y formando parte de su estructura.
- Fracción de lavado:** Es el tanto por uno de las necesidades de lavado, es decir, el porcentaje que representa las necesidades dividido por 100.
- Frecuencia de riego:** Número de veces que se riega en un tiempo determinado (semana, quincena, etc.).
- Gotero:** Emisor de riego localizado que suministra un caudal no superior a 16 litros/hora. En ellos se produce una disipación de la presión del agua, por lo que el agua sale gota a gota o en forma de pequeños chorros.
- Gotero autocompensante:** Gotero que lleva incluido un elemento flexible, normalmente una membrana elástica, que se deforma según la presión del agua a la entrada al gotero. Dentro de un determinado intervalo de presiones mantiene el caudal aproximadamente constante.
- Hidrozona:** Zona del jardín compuesta por plantas con necesidades hídricas similares.
- Infiltración:** Proceso por el cual el agua aplicada sobre la superficie del suelo penetra en él pasando de unos poros a otros en muchas direcciones.
- Inyectores:** Dispositivos encargados de la inyección o dosificación de los diferentes productos químicos en la conducción general del riego. Suelen estar accionados por una bomba eléctrica o hidráulica.
- Juntas:** Conjunto de piezas utilizadas para la unión de tubos entre sí o de éstos con las demás piezas de la conducción. Deben tener, como mínimo, las mismas características de resistencia a las presiones interiores que los tubos que unen.
- Lavado de sales:** Operación con la cual se aporta con el riego una cantidad de agua extra para disolver las sales en exceso. Se genera con ello filtración profunda que permite que las sales pasen a capas más profundas del suelo, evitando que afecten negativamente al cultivo.
- Limo:** Partícula mineral del suelo con un tamaño intermedio entre la arena y la arcilla.
- Manómetro:** Medidor de presión. Es esencial colocarlos en distintos puntos de la instalación de riego.
- Marco de riego:** También conocido como marco de los aspersores. Disposición que adoptan los aspersores y los ramales de riego uno respecto de los otros. Los tipos de marcos empleados son en cuadrado, en rectángulo y en triángulo.



Materia orgánica: Conjunto de sustancias orgánicas en diversos grados de descomposición presentes en un suelo.

Microaspersor: Emisor de riego que distribuye el agua en forma de fina lluvia con gotas o pequeños chorros y que disponen de uno o varios elementos giratorios.

Microclima: Tipo de clima existente en una zona que es consecuencia de la modificación del clima general reinante, debido a la exposición al sol, diferencias de altura, o a existencia de coberturas vegetales, por ejemplo.

Motor eléctrico: Dispositivo que transforma la energía proporcionada por la corriente eléctrica en un movimiento giratorio para accionar las bombas.

Necesidades brutas de riego (Nb): Cantidad de agua que realmente ha de aplicarse en un riego como consecuencia de tener en cuenta la eficiencia de aplicación del riego y, en su caso, las necesidades de lavado.

Necesidades de lavado (NL): Cantidad de agua extra que ha de aplicarse con el riego para realizar un lavado adecuado de las sales del suelo que se encuentran en exceso. Se expresa como un porcentaje del agua total aplicada con el riego.

Necesidades netas de riego (Nn): Cantidad de agua que las plantas necesitan como consecuencia de la diferencia entre el agua que éstas evapotranspiran y la cantidad de agua aportada por la lluvia.

Número de mesh: Parámetro utilizado para medir la capacidad de retención de un filtro de malla y de anillas. Se define como el número de orificios de la malla por pulgada lineal o el número de ranuras de las anillas por pulgada.

Nutrientes: Elementos o compuestos químicos presentes en el suelo o aplicados por el hombre, que las plantas absorben disueltos en agua formando parte de su "alimentación".

Obturación: Efecto que se produce al taponarse un orificio o conducto por donde debe pasar el agua de riego.

Palmáceas: Familia botánica a la cual pertenecen las especies de palmeras utilizadas en jardinería.

Pérdidas de carga: Pérdidas de presión en el agua que circula en una conducción a presión, debido a rozamientos con las paredes de las tuberías, paso por conexiones, piezas singulares, etc. También se producen pérdidas de carga en conducciones ascendentes.

pH: Índice que mide la acidez o alcalinidad de un medio. En el caso que aquí se trata, del agua de riego.

Piezas especiales: Piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración del área a regar, como codos, manguitos, tes, juntas, etc.

Poros: Espacio que forma el medio poroso del suelo (junto con las partículas sólidas) y que pueden contener agua, aire o ambos a la vez.

Porosidad: Propiedad física del suelo que indica el volumen de poros con respecto a un volumen de muestra de suelo.

Poza: Cavidad de pequeña profundidad realizada sobre suelo laboreable, cuya misión consiste en delimitar el riego a una porción de suelo que suele coincidir con la zona sombreada por la planta. Se utiliza fundamentalmente en árboles y arbustos.

Presión: Fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de una tubería y los distintos elementos que componen el sistema de riego.

Presión estática: Presión máxima existente en la red mientras no se produce consumo de agua.

Presión dinámica: Presión existente en la red cuando la instalación de riego es puesta en funcionamiento.

Programación integral: Nivel de automatización que permite llevar a cabo el control automático de numerosos procesos tales como la realización del riego a demanda, la fertirrigación, la limpieza de filtros, la detección de anomalías en la instalación y el control de los parámetros químicos del agua, como por ejemplo el pH y la conductividad eléctrica.

Programador: Elemento encargado de dirigir el sistema de automatización de la instalación de riego. Normalmente suele controlar la apertura y el cierre de las electroválvulas, aunque también puede actuar sobre otros elementos de la instalación.

Quimigación: Práctica mediante la cual se incorporan productos agroquímicos al agua de riego, como plaguicidas o productos para la limpieza de los elementos de la instalación y la prevención de posibles obturaciones.

Ramal de aspersión: Conjunto de tuberías que generalmente van unidas entre sí mediante acoples o enganches rápidos, que deriva de la red principal o de alimentación, y donde van conectados los portaaspersores.

Red de drenaje: Conjunto de tuberías y piezas especiales que, enterradas en la zona a regar, permiten evacuar el exceso de agua que constituye la filtración profunda.

Regulador de presión: Elemento de seguridad que se instala en puntos estratégicos del sistema para mantener uniforme la presión de trabajo, y evitar sobrepresiones que puedan causar daño en alguna parte de la instalación.

Riego deficitario: Sistema de manejo del riego que consiste en el aporte de un volumen de agua inferior al calculado en base a la evapotranspiración registrada, con el objetivo de asegurar la supervivencia de la planta.

Salas: Formas en que se encuentran los componentes químicos en el suelo. En contacto con el agua tienden a disolverse, quedando así disponibles para ser absorbidos por las plantas. Una concentración excesiva de sales puede dar lugar a problemas de toxicidad para las plantas.

Salinidad: Medida del contenido de sales.



- Sector de riego:** Superficie que es regada por un conjunto de emisores con las mismas características, que funcionan todos al mismo tiempo.
- Sensor:** Dispositivo que proporcionan información sobre las condiciones ambientales existentes en la zona donde se coloca, o sobre la calidad de la solución nutritiva aportada a las plantas.
- Sistema de automatización:** Conjunto de equipos que permiten la realización automática de los riegos, fundamentalmente programadores y electroválvulas.
- Sistema de bombeo:** Conjunto de elementos de la instalación que aportan la energía necesaria al sistema para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria, de tal manera que haga funcionar los emisores correctamente.
- Sistema de filtrado:** Elementos presentes en el cabezal de riego que se encargan de la eliminación de las partículas que pudieran causar obturaciones en los emisores.
- Sistemas sin hilo:** Sistema de automatización en el cual la comunicación existente entre el programador y las electroválvulas tiene lugar a través de ondas de radio ó por vía telefónica.
- Solape:** Superficie del suelo mojada por dos o más emisores distintos.
- Suelo saturado:** Es aquél que tiene todos los poros llenos de agua y no es capaz de infiltrar más.
- Tapizante:** Planta de hábito rastrero, que se caracteriza por formar un entramado de raíces que mantiene unidos a los agregados del suelo. Se caracteriza por cubrir el terreno y protegerlo frente a la erosión.
- Textura:** Propiedad física del suelo con la que se refleja la proporción de partículas minerales de arena, limo y arcilla que existen en su fracción sólida.
- Tiempo de avance:** Es el tiempo, medido desde que comienza el riego, que el agua tarda en llegar a todos y cada uno de los puntos del área a regar.
- Tiempo de infiltración:** Es el tiempo que el agua está en contacto con el suelo durante el riego y por lo tanto se estará infiltrando en él. Para cada punto, es la diferencia entre el tiempo en que se haya producido el receso y en el que haya llegado el agua a ese lugar.
- Tiempo de receso:** Medido desde el inicio del riego, es el tiempo que tarda toda el agua en desaparecer de la superficie del suelo.
- Tiempo de riego:** Es el tiempo que ha de durar un riego para aplicar en el área a regar la cantidad de agua necesaria para cubrir las necesidades brutas de riego.
- Tolerancia a la salinidad:** Es la capacidad que tiene el cultivo de soportar un exceso de sales en la zona de raíces. Se cuantifica con el valor de conductividad en el agua del suelo que cada cultivo puede soportar sin producirse disminuciones en su rendimiento.
- Toma o boca de riego:** Punto desde el cual un jardín se abastece de agua.
- Tomas manométricas:** Elementos que, situados en sitios estratégicos de la instalación, permiten conectar un manómetro para medir la presión a la que circula el agua por la conducción.
- Topografía:** Relieve del terreno.
- Transpiración:** Proceso por el cual gran parte del agua que la planta extrae del suelo pasa a la atmósfera en forma de vapor a través de los estomas.
- Trepadora:** Planta que se caracteriza por crecer en altura, necesitando de soportes sobre los que se apoya.
- Tubería de aspiración:** Tubería mediante la cual se conduce el agua desde su superficie hasta el eje de la bomba.
- Tubería de impulsión:** Aquella tubería que conduce el agua desde la bomba hasta su destino final.
- Tubería exudante:** Emisor de riego localizado consistente en un tubo poroso que origina la salida del agua lentamente a través de sus microporos. Normalmente funcionan a baja presión.
- Tubería goteadora:** Emisor de riego localizado formado por un tubo que conduce el agua y un laberinto que disipa la presión, produciendo la salida del agua gota a gota a distancias separadas uniformemente.
- Tuberías laterales o laterales:** Son las tuberías que parten de las tuberías terciarias y llevan conectados los emisores de riego localizado.
- Uniformidad de aplicación:** Índice que permite estimar la forma en que el agua se infiltra en el suelo. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que se ha infiltrado en todos los puntos del jardín, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada.
- Válvula:** Elementos utilizados para llevar a cabo el control del caudal en las tuberías, abriendo, cerrando, o permitiendo el paso intermedio del agua.
- Velocidad de infiltración:** Mayor o menor rapidez del agua en penetrar en el suelo.
- Ventosa:** Dispositivos que permiten la introducción o la evacuación de aire del interior de las tuberías, evitando de esta forma su rotura, por las sobrepresiones y depresiones que pudieran ocasionarse durante el funcionamiento del sistema.
- Vivaces:** Plantas perennes cuya parte aérea presenta poca duración, y que se mantienen con vida gracias a sus rizomas, bulbos ó tubérculos.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J.L. y col. 1998. **Vademécum de materiales de riego**. Edipublic, S.L. Valencia.
- Ávila, Ricardo y col. 1996. **Agua, riego y fertirrigación**. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Burés, Silvia. 1999. **Avances en Xerojardinería**. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Cadahía, Carlos. 1998. **Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Cañizo, José A. y González, Rafael. 2001. **Jardines: diseño, proyecto y plantación**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Castañón, Guillermo. 2000. **Ingeniería del riego**. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Cohen, Moisés. 1995. **Calidad de las aguas de riego y utilización de aguas residuales**. Jornadas Técnicas de Xerojardinería. Junta de Andalucía.
- Costelo, L. R. y Jones, K. S. 1994. **Water use classification of landscape species. A guide to the water needs of landscape plants**. California Department of Water Resources publication.
- Diseño del riego en instalaciones deportivas y en grandes áreas**. 2000. Departamento de riego de Riego Verde, S.A. Marbella (Málaga).
- El drenaje de las tierras de regadío**. 1996. Manejo del agua de riego. Manual de campo nº9. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.
- Estudio de un sistema de riego automático**. 2002. Rain Bird Ibérica, S.A. Bobadilla del Monte. Madrid.
- Gómez, Pedro. 1993. **Instalaciones de bombeo para riego y otros usos**. Editorial Agrícola Española.
- Hernández J.E. y col. 2000. **Los jardines de la provincia de Córdoba**. Estudios de Medio Ambiente Provincial. Número 3. Delegación de Medio Ambiente y Protección Civil. Diputación de Córdoba. Córdoba.
- Hernández J.M. y col. 1987. **El riego localizado**. Curso Internacional de Riego Localizado. Tenerife (España). I.N.I.A. Madrid.
- Heywood, V.H. 1985. **Las plantas con flores**. Editorial Reverté. Barcelona.
- Instalaciones públicas comerciales y deportivas**. 1994. Departamento de riego de Riego Verde, S.A. Marbella (Málaga).
- Jornadas Internacionales de Xerojardinería Mediterránea**. 2000. Ponencias. WWF/Adena. Madrid.
- Juan y Seva San Martín, Alberto. 1998. **El jardín mediterráneo: técnica y arte**. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Kusche, Dietrich. 1990. **Técnica arbórea actual**. Editorial Proflor Ibérica. Santander.
- Losada, Alberto. 1995. **El Riego, fundamentos hidráulicos**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Losada, Alberto. 1992. **Riegos: fundamentos hidrológicos. Métodos de aplicación**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Manual de riego para agricultores**. 1999. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Martínez, Julián. 1986. **Drenaje Agrícola**. Series de Ingeniería Rural y Desarrollo Agrario. Manual técnico nº5. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Martínez, Julián. 2000. **Drenaje subterráneo en zonas llanas**. V máster internacional de riego y drenaje. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Merino, Domingo y Ansorena, Javier. 1998. **Césped deportivo: construcción y mantenimiento**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Pescod, M.B. 1992. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Irrigation & Drainage Paper, No. 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma.
- Prieto-Puga, Javier y García-Verdugo, Juan Carlos. 1998. **Plantas ornamentales del jardín meridional**. Monografías 21/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Principios básicos del diseño de riego por aspersión**. 1994. Departamento de riego de Riego Verde, S.A. Marbella (Málaga).
- Rodrigo, Jesús y col. 1994. **Riego localizado**. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Urbano Terrón, Pedro. 1992. **Tratado de Fitotecnia General**. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Seoánez Calvo, Mariano. 1999. **Ingeniería del Medio Ambiente**. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Tarjuelo, José María. 1999. **El riego por aspersión y su tecnología**. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Thompson, Louis M. 1988. **Los suelos y su fertilidad**. Editorial Reverté. Barcelona.
- USGA recommendations for a method of putting green construction**. 1993. USGA Green Section Staff. New York.
- XXVII Congreso Nacional de Parques y Jardines Públicos**. 2000. Ponencias. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- 20 Anni Torsanlorenzo - Catalogo**. 2000. Vivai Torsanlorenzo S.S. Roma.





AGRICULTURA	
GANADERÍA	
PESCA Y ACUICULTURA	
POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA	
FORMACIÓN AGRARIA	
CONGRESOS Y JORNADAS	
R.A.E.A.	



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca